



**Thèse**

**UNIVERSITE F. HOUPHOUET BOIGNY**

**Présenté par :AKADJE**

**UFR  
SCIENCES DE LA TERRE  
ET DES RESSOURCES  
MINIERES**

**AMANI LÉOCADIE**

**MARIE-CLAUDE**

**ANALYSE PAR TELEDETECTION DES  
PRESSIONSANTHROPIQUES SUR UNE ZONE  
D'INTERET ECOLOGIQUE : CASDE LA ZONE  
RAMSAR DE GRAND-BASSAM ET SES  
ENVIRONS**

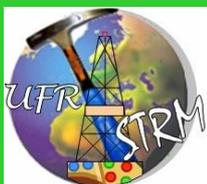
---

**12 Mars 2016**

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE  
UNION-DSCIPLINE-TRAVAIL

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE F. HOUPHOUET BOIGNY



CENTRE UNIVERSITAIRE  
DE RECHERCHE ET D'APPLICATION  
EN TELEDETECTION



N° d'ordre.....

UFR  
SCIENCES DE LA TERRE  
ET DES RESSOURCES  
MINIERES

Laboratoire Associé Francophone  
LAF N° 401  
Ecole Doctorale Africaine de Télédétection  
EDAT - CRUFAOCI

CODESRIA

# THÈSE UNIQUE

*Pour obtenir le titre de*

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ FELIX HOUPHOUET BOIGNY  
EN TÉLÉDÉTECTION ET SYSTÈME D'INFORMATIONS  
GÉOGRAPHIQUES**

*Spécialité : Aménagement et gestion des terres et des écosystèmes  
Option : Géographie*

**Par AKADJE AMANI LÉOCADIE MARIE-CLAUDE**

**THEME**

**ANALYSE PAR TELEDETECTION DES PRESSIONS  
ANTHROPIQUES SUR UNE ZONE D'INTERET ECOLOGIQUE : CAS  
DE LA ZONE RAMSAR DE GRAND-BASSAM ET SES ENVIRONS**

**Soutenue publiquement le 12 Mars 2016 devant le jury composé de :**

<b>M. AKA KOUAME</b>	<i>Professeur, Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY</i>	<b>Président du jury</b>
<b>M. HAUHOUOT ASSEYPO C.</b>	<i>Professeur Titulaire, Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY</i>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>M. KOLI BI ZUELI</b>	<i>Professeur Titulaire, Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY</i>	<b>Rapporteur</b>
<b>M. AFFIAN KOUADIO</b>	<i>Professeur Titulaire, Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY</i>	<b>Examineur</b>
<b>M. BROU YAO TELESOPHORE</b>	<i>Professeur Titulaire, Université de la Réunion</i>	<b>Rapporteur</b>
<b>M. KOUAME FERNAND</b>	<i>Maître de Conférences, Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY</i>	<b>Examineur</b>

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## DEDICACE

A AKADJE Church Johnson, mon père

Et

TITO DADE Dorothée Epse AKADJE, ma mère

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu Tout Puissant, qui dans sa grande bonté, et par son Esprit m'a donné le courage, les capacités intellectuelles, financières et physiques pour mener ce travail jusqu'à son terme.

- Toute ma gratitude va d'abord à l'endroit du Conseil pour le Développement de la Recherche en Sciences Sociales '(CODESRIA) qui m'a fait confiance et a accepté de financer cette thèse pour que les recherches soient fructueuses et utiles pour le développement. Je souhaite que cette institution grandisse d'avantage afin que d'autres comme moi puissent en bénéficier.
- Je remercie le Professeur AFFIAN Kouadio, Vice-Président de L'UNIVERSITE FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY (UFHB) pour son entière implication dans la formation des étudiants.
- Au Pr KOUAME Fernand, Directeur du Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) et de l'Ecole Doctorale Africaine de Télédétection (EDAT), je dis un grand merci pour l'encadrement qui nous a été réservé, dans le centre de recherche, ainsi que pour ses conseils, sa disponibilité et ses encouragements.
- Je remercie le Professeur KOLI BI Zuéli, enseignant-chercheur à l'Institut de Géographie Tropicale pour ses remarques pertinentes et son apport dans la rédaction de ce travail.
- Toute ma gratitude va à l'endroit du Pr HAUHOUOT Asseypo Célestin, et enseignant chercheur à l'Institut de Géographie Tropicale et au CURAT, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette thèse. En tant que Directeur de cette thèse, je lui suis reconnaissante du suivi régulier et formateur durant toutes ces années.
- Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Pr BROU Yao Téléphore, qui a fortement contribué à l'amélioration de ce travail et m'a toujours soutenu dans mes recherches, malgré la distance.
- Au Pr DJAGOUA Éric Valère, je dis un grand merci pour ses encouragements et les conseils avisés qu'il m'a prodigués, depuis mon arrivée au CURAT; que Dieu le garde.
- J'exprime toute ma gratitude au Pr SALEY Bachir, pour son apport et ses encouragements durant la réalisation de ce travail.
- Mes remerciements vont à l'endroit de Dr MOBIO Abaka Brice, Dr KOUAME Adonis, Dr N'DA Diby, Dr DAOUDA Sylla, mes devanciers pour leur accueil à mon arrivée dans le centre, leur aide et leurs conseils ont permis une meilleure conduite de mes travaux.
- Au personnel administratif du CURAT, je dis merci pour l'intérêt porté à ma personne.

- Je remercie mon oncle ADOU Koman Sylvère, diplomate à la CEDEAO à Abuja qui m'a beaucoup soutenu et aidé.
- A Monsieur et Madame AKRE, j'exprime toute ma gratitude pour leur attention à mon égard.
- A Monsieur KOFFI Antoine, ami de mon père, je dis merci ; car grâce à lui j'ai pu visiter des plantations, obtenir des informations et rencontrer des planteurs sur le terrain.
- Je remercie Ba Francis EHOUMAN, le meilleur des amis qui soit sur terre ; qui a toujours été là pour moi, pour tout ce qu'il a fait et continu de faire pour moi et pour ce travail. Je ne l'oublierai jamais. Que Dieu le garde et lui procure beaucoup de chance et de bonheur pour le reste de sa vie.
- A tous les étudiants de la promotion EDAT-7, je dis merci pour l'amitié qui nous lie, pour leur soutien et leur aide. Et surtout bon vent à Dr SAKO Nakouma, Dr AMANI Louis, Dr ZRO BI, Dr KASSI Jean Baptiste, Dr KOUADIO Maffoué Jeanne, Dr ADON Rodrigue, GUEDE Marius, PETE Ange , OKAINGNY, TOURE Aboubacar.
- A mes parents Monsieur et Madame AKADJE, je suis reconnaissante pour mon éducation, le soutien qu'ils m'ont apporté et leur foi en moi. Que Dieu les garde encore longtemps.
- Je remercie mes amis et promotionnaires de l'Institut de Géographie Tropicale, Dr DANGUI Nadi Paul et BAMBBA Yaya, pour leur contribution et leur aide dans l'élaboration de ce travail. Que Dieu lui-même les récompense.
- Je remercie Guy BOUSSOUGOU, étudiant en année de thèse, à l'Université de la Réunion, qui n'a pas hésité à travailler avec moi sur instruction de son directeur de thèse, Pr BROU YAO, malgré la distance et le grand décalage horaire.
- A mes frères et sœurs, Dorcas, Harold, Anselme, Karen-Yannick, je dis merci pour leur soutien et leurs prières. Et à Dr AKADJE Corinne épouse KABO, qui est bien plus qu'une cousine, ma jumelle de cœur, je dis félicitations. Car nous y sommes arrivées toutes les deux.
- A mon époux KONAN Ange-Paul, je lui suis reconnaissante pour son soutien et ses encouragements. Que Dieu nous garde longtemps.
- A ma petite Princesse KONAN Mia-Immanuella, pour qui je n'ai pas eu beaucoup de temps ces dernières années, à cause de mes recherches, je dédie aussi cette thèse, en espérant qu'en grandissant, elle profitera des fruits de ce travail et aura aussi l'amour de la recherche.
- Enfin, à tous ceux que je n'ai pas cités et qui m'ont apporté leur aide et leur soutien au cours de cette étude, je témoigne toute ma reconnaissance.

<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>Pages</b>
DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIERES	vi
Liste des sigles et acronymes	xi
Liste des figures	xii
Liste des illustrations	xiv
Liste des tableaux	xvii
RESUME	xvi
ABSTRACT	xviii
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	1
PROBLÉMATIQUE	2
<b>OBJECTIFS</b>	4
<b><u>PREMIÈRE PARTIE : GENERALITES</u></b>	5
<b>CHAPITRE 1 : DIVERSITE DES MILIEUX PROPICES AUX ACTIVITES HUMAINES</b>	6
<b>1.1. Le milieu physique</b>	6
1.1.1. La géologie et la pédologie	6
1.1.2. Les caractéristiques géomorphologiques du sud- est ivoirien	6
1.1.3. Un Climat chaud et humide	8
1.1.4. Un vaste système hydrographique	10
1.1.5. Des sols fortement désaturés, dans le sud-est ivoirien	12
1.1.6. La végétation du sud-est ivoirien	13
<b>1.2. Les activités humaines dans ce milieu humide</b>	15
1.2.1. Une population en pleine croissance	15
1.2.2. Les activités humaines	15
1.2.3. Activités humaines et dégradation des milieux naturels	15
<b>Conclusion partielle</b>	17
<b>CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTERATURE</b>	19
<b>2.1. Les zones humides, des milieux très importants pour leurs ressources naturelles</b>	19

2.1.1. Définitions des zones humides	19
2.1.2. Caractéristiques importantes des zones humides	22
<b>2.2. Les menaces sur les milieux humides</b>	24
2.2.1. L'utilisation du sol l'un des principaux facteurs de transformation des milieux naturels	24
2.2.2. Exploitation des mangroves pour le prélèvement de flore et de faune	31
2.2.3. La régression des zones humides un problème imminent	33
<b>2.3. Méthode d'étude des zones humides</b>	37
2.3.1. Description de la végétation par découpage en strate	37
2.3.2. Cartographie d'occupation du sol et dynamique des zones humides	39
<b>Conclusion partielle</b>	52
<b><u>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES</u></b>	53
<b>CHAPITRE 3 : MATERIEL</b>	54
<b>3.1. Les différentes images satellites</b>	54
3.1.1. Choix des images satellites	57
3.1.2. Des résolutions spatiales adaptées aux études à petite et moyenne échelle	57
3.1.3. Que dire de la qualité des images ?	58
3.1.4. Choix des bandes	59
3.1.5. Les images de Google Earth	60
<b>3.2. Les supports cartographiques</b>	60
3.2.1. Les cartes sur support en papier	60
3.2.2. Les cartes numériques	61
<b>3.3. La zone RAMSAR et ses environs</b>	61
<b>3.4. Le matériel de terrain</b>	61
<b>3.5. Les logiciels de traitement des données</b>	61
<b>Conclusion partielle</b>	61
<b>CHAPITRE 4 : APPROCHE METHODOLOGIQUE</b>	63
<b>4.1. Cartographie de l'occupation du sol à différentes dates</b>	63
4.1.1. Amélioration de la perception des objets sur les images satellites	63
4.1.1.1 Correction géométrique des images	63

4.1.1.2. Correction radiométrique des images	64
4.1.1.3. Rehaussement des contrastes d'image pour améliorer les analyses visuelles et numériques	65
4.1.1.4. Extraction et génération de masque sur la zone d'étude	67
4.1.1.5. Traitement des images satellites	68
4.1.2. Procédure d'extraction des données d'occupation du sol	75
4.1.2.1. Pré-classification de l'occupation du sol	75
4.1.2.2. Collecte de données sur le terrain	79
4.1.2.3. Classification de l'occupation du sol	89
<b>4.2. Intégration des données dans un SIG</b>	94
4.2.1. Correction post classification: Les zones masquées	94
4.2.2. Analyse de la dynamique de l'occupation à l'aide du SIG	94
4.2.2.1. L'intégration des données dans un environnement SIG	95
4.2.2.2. L'exploitation de la base de données	96
<b>4.3. Techniques SIG pour évaluer les pressions sur le milieu</b>	97
4.3.1. Constitution d'une base de données	100
4.3.1.1. Les variables à expliquer	100
4.3.1.2. Les variables explicatives	100
4.3.2. Modélisation de l'occupation du sol par analyse spatiale	105
4.3.3. La modélisation prédictive	106
4.3.3.1. La base de données	106
4.3.3.2. L'analyse des changements	107
4.3.3.3. La construction des scénarii	107
4.3.3.4. Des hypothèses à la projection	108
4.3.3.5. Validation et évaluation du modèle	108
4.3.3.6. Prédiction de l'occupation du sol en 2030	108
<b>Conclusion partielle</b>	108

## **TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSIONS**

<b>CHAPITRE 5 : CARTOGRAPHIE ET DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA ZONE RAMSAR ET DE SES ENVIRONS</b>	110
<b>5.1. Cartographie et évaluation des types d'occupation du sol entre 1986 et 2013</b>	110
5.1.1. Caractéristiques de l'occupation du sol dans la zone de Grand-Bassam	110
5.1.2. La matrice de confusion des classifications	110
5.1.3. Etat de l'occupation des sols en 1986, 2000 et 2013	114
5.1.3.1. L'occupation du sol en 1986	114
5.1.3.2. L'occupation du sol en 2000	116
5.1.3.3. L'occupation du sol en 2013	119
5.1.4. Discussion	119
<b>5.2. Dynamique de l'occupation du sol la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs entre 1986 et 2013</b>	121
5.2.1. Changement d'affectation des sols entre 1986 et 2000	121
5.2.1.1. Les zones de stabilité	121
5.2.1.2. Dégradation et destruction des forêts	122
5.2.1.3. Les autres changements d'affectation	122
5.2.2. Changement d'affectation des sols entre 2000 et 2013	124
5.2.2.1. Les zones de stabilité	124
5.2.2.2. Dégradation et destruction des forêts	124
5.2.2.3. Les autres changements d'affectation	127
5.2.3. Tendances d'évolution du milieu entre 1986 et 2013	129
5.2.3.1. Régression des milieux naturels sur 27 ans	129
5.2.3.2. Régression des cultures vivrières de 1986 à 2013	129
5.2.3.3. Accroissement de l'habitat	129
5.2.3.4. L'évolution des cultures de rente	129
5.2.3.5. Les sols nus en perte de superficies	131
5.2.4. Discussion	131
<b>5.3. Modèle de transformation de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs</b>	132

5.3.1. Importance de la modélisation des mutations de l'espace	132
5.3.2. Modèle de la dynamique du paysage dans la zone de grand-Bassam et ses environs	132
5.3.2.1. Niveau 1	132
5.3.2.1. Niveau 2	133
5.3.3. Discussion	134
<b>Conclusion partielle</b>	136
<b>CHAPITRE 6: EVALUATION DE LA PRESSION HUMAINE SUR LE MILIEU</b>	137
<b>6.1. Approche spatiale du risque de déforestation</b>	137
6.1.1. Variables et occupation du sol	138
6.1.1.1 La proximité du réseau hydrographique dans la dynamique de déforestation	138
6.1.1.2. La proximité du réseau Routier dans la dynamique de déforestation	141
6.1.1.3. La proximité des localités	144
6.1.2. Cartographie des risques de déforestation	147
6.1.2.1. Carte des risques de déforestation	147
6.1.2.2. Croisement et analyse des différentes cartes des risques de déforestation	150
6.1.3. Discussion	154
<b>6.2. Simulation prédictive de l'occupation du sol en 2030</b>	155
6.2.1. La calibration du modèle	155
6.2.2. Occupation du sol simulée en 2013	159
6.2.3. Simulation prédictive en 2030	164
6.2.4. Discussion	164
<b>Conclusion partielle</b>	167
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	168
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	170
<b>ANNEXE</b>	189
<b>ARTICLES ISSUS DE LA THESE</b>	196

## **LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES**

ATEN	Atelier des Espaces Naturels
AVRIL	Association pour la mise en Valeur des Vivrières et les Initiatives Locales
CCCE	Comité Canadien de Classification Ecologique (1987)
CDB	Convention de la Diversité Biologique
CESTA	Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière Languedoc-Roussillon
GB	Grand-Bassam
IDEE	Intervenir pour le Développement Ecologique et l'Environnement en Casamance
PBI	Programme Biologique International
PCS	Point de Contrôle au Sol
SIG	Système d'Informations Géographique
UICN	Union Mondiale pour la Nature
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : La zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs	7
Figure 2 : Système hydrographique du sud- est ivoirien	11
Figure 3 : Image brute et image de la zone d'étude en 1986	55
Figure 4 : Image de 2013 avant et après correction atmosphérique	66
Figure 5 : Histogramme de la bande 4 et seuillage pour la création d'un masque	66
Figure 6 : Analyse en composante principale de l'image du 18 janvier 1986	71
Figure 7 : Valeurs des ACP de l'image de 2013	73
Figure 8 : Images de l'indice de Brillance des sols (Brighness Index) de 1986, 2000, 2013	73
Figure 9 : Composition colorée de l'image de 1986 (canaux ACP1, ACP2, NDVI)	76
Figure 10 : Carte des Points de contrôle au Sol	81
Figure 11 : Digitalisation du thème d'occupation du sol d'un masque sur Google Earth	81
Figure 12 : Points de contrôle au sol et relevés d'occupation et d'utilisation du sol (8 au 10 novembre 2013)	84
Figure 13 : Synthèse des traitements de télédétection et cartographie de l'occupation du sol	99
Figure 14 : Périmètre d'Exploitation Forestière de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs	102
Figure 15 : Zones tampons autour de ( <i>a : Localités ; b ; réseau routier ; c : Plan d'eau</i> )	104
Figure 16 : Carte d'occupation du sol en 1986 dans la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs	115
Figure 17 : Situation de l'occupation du sol en 1986	117
Figure 18 : Situation de l'occupation du sol en 2000	117
Figure 19 : Situation de l'occupation du sol en 2013	117
Figure 20 : Carte d'occupation du sol en 2000 dans la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs	118
Figure 21 : Carte d'occupation du sol en 2013 dans la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs	120
Figure 22 : Changement d'affectation des sols entre 1986 et 2000	123
Figure 23 : Changement d'affectation des sols entre 2000 et 2013	126
Figure 24 : Evolution des unités d'occupation du sol sur les périodes 1986-2000 et 2000-2013	128
Figure 25 : Evolution des unités d'occupation du sol sur les périodes 1986-2000	128
Figure 26 : Répartition des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2013	128

Figure 27: Représentation graphique des mutations entre 1986 et 2013	135
Figure 28: Forêt dégradée entre 1986 et 2000, en fonction de la proximité avec le réseau hydrographique	139
Figure 29 : Forêt dégradée entre 2000 et 2013, en fonction de la proximité avec le réseau hydrographique	139
Figure 30 : Déforestation en fonction de la proximité du réseau routier entre 1986 et 2000	142
Figure 31 : Déforestation en fonction de la proximité du réseau routier entre 200 et 2013	142
Figure 32 : Déforestation en fonction de la proximité des localités entre 1986 et 2000	145
Figure 33 : Déforestation en fonction de la proximité des localités entre 2000 et 2013	145
Figure 34 : Risque de déforestation en fonction de la proximité des localités en 2013	148
Figure 35 : Risque de déforestation en fonction de la proximité des routes en 2013	148
Figure 36 : Risque de déforestation des forêts en fonction de la proximité du réseau hydrographique	151
Figure 37 : Représentation spatial du croisement des critères de déforestation spécifiés	151
Figure 38 : Carte de simulation du risque de dégradation par analyse spatiale	153
Figure 39 : Carte reclassée des de toutes la transition d'occupation du sol entre 1986 et 2000	156
Figure 40 : Représentation des relation entre les changements d'occupation du sol et les variables explicatives	156
Figure 41 : Potentiel de transition des sol vers un autre type d'occupation du sol	160
Figure 42 : Carte de vulnérabilité des types d'occupation du sol simulé en 2013	160
Figure 43 : Comparaison des occupations des sols réelles et simulées en 2013	163
Figure 44 : Prédiction de l'occupation du sol en 2030	166

## **LISTE DES ILLUSTRATIONS**

Photo 1 :	Jachère à Domolon	84
Photo 2 :	Forêt reconstituée à Abatta	84
Photo 3 :	Rizière en premier plan et hévéaculture sur les versants vers Vossokro	84
Photo 4 :	Cocoteraie en pleine urbanisation à Biabou	84
Photo 5 :	Sous-bois d'une forêt dense près de Motobé	87
Photo 6 :	Forêt secondaire à Akouré	87
Photo 7 :	Forêt marécageuse de Kodjoboué	87
Photo 8 :	Sol gorgé d'eau dans la forêt humide de Kodjoboué	87
Photo 9 :	Sous-bois de la forêt humide de Kodjoboué	88
Photo 10 :	Alentours de la forêt de Kodjoboué	88
Photo 11 :	Un marécage	88
Photo 12 :	Zone très humide (rizière)	88
Photo 13 :	Mangrove au bord de la lagune Ebrié	88
Photo 14 :	Mangrove sur les bords de la lagune Kodjoboué	88
Photo 15 :	Cocoteraie du CNRA à Maffibré	90
Photo 16 :	Forêt marécageuse en destruction	90
Photo 17 :	Palmeraie du CNRA à la station de la Mé sur la route d'Alépé	90
Photo 18 :	Sous-bois d'une cocoteraie dans une zone marécageuse à Grand-Bassam	90
Photo 19 :	Nouvelle plantation de produits maraichers dans un bas-fond	91
Photo 20 :	Plantation de manioc	91
Photo 21 :	Riziculture à perte de vue sur la route d'Assinie	91
Photo 22 :	Complexe de jachère avec palmiers	91
Photo 23 :	Complexe de jachère avec bananiers	91
Photo 24 :	Constructions dans une zone marécageuse	92
Photo 25 :	Entretien avec cultivateur dans sa rizière entre Moossou et Alépé	98
Photo 26 :	Entretien avec agriculteur dans sa plantation d'hévéa à Bonoua	98
Photo 27 :	Séance de travail avec Monsieur Koffi Antoine, encadreur à la CNPH et le chef du village de Djiminikro	98

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I :	Caractéristiques du climat dans le sud-est ivoirien	9
Tableau II :	Recherche de scénarii pour renseigner les changements de processus de surface et méthodologie à appliquer	47
Tableau III :	Caractéristiques des données satellites utilisées	56
Tableau IV :	Valeurs des composantes principales de l'image du 5 juin 2013	73
Tableau V :	Nomenclature des thèmes à cartographier	76
Tableau VI :	Répartition des échantillons	82
Tableau VII :	Extrait de la liste des points de contrôle au sol	82
Tableau VIII	Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986	111
Tableau IX :	Matrice de confusion de la classification de l'image de 2000	111
Tableau X :	Matrice de confusion de la classification de l'image de 2013	113
Tableau XI :	Statistiques de la qualité des classifications	113
Tableau XII :	Etat de l'occupation du sol dans la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs	113
Tableau XIII :	Tendance d'évolution des types d'affectation au sol entre 1986 et 2013	125
Tableau XIV :	Matrice de transition des surfaces des types d'occupation du sol à Grand-Bassam et ses environs entre 1986 et 2000 (en hectares)	125
Tableau XV :	Matrice de transition des surfaces des types d'occupation du sol à Grand – Bassam et ses environs entre 2000 et 2013	130
Tableau XVI	Forêt détruite par rapport à la proximité avec l'hydrographie entre 1986 et 2000	140
Tableau XVII :	Forêt détruite par rapport à la proximité avec l'hydrographie entre 2000 et 2013	140
Tableau XVIII :	Foret détruite par rapport à la proximité du réseau routier, entre 1986 et 2000	143
Tableau XIX :	Foret détruite par rapport à la proximité au réseau routier, entre 2000 et 2013	143
Tableau XX	Forêt détruite par rapport aux localités entre 1986 et 2000	146
Tableau XXI	Foret détruite par rapport aux localités entre 2000 et 2013	146
Tableau XXII	Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité au réseau routier	149

Tableau XXIII	Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité aux localités	149
Tableau XXIV	Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité au réseau hydrographique	149
Tableau XXV	Poids des niveaux de défrichement	152
Tableau XXVI	Evaluation du risque de déforestation	152
Tableau XXVII	Transitions et sous-modèles de changement	158
Tableau XXVIII	Variable explicite pour la transition DEFORESTATION	158
Tableau XXIX	Matrice de Markov	162
Tableau XXX:	Superficies des types d'occupation du sol simulés en 2013 et 2030	162

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## RESUME

Sous les pressions anthropiques, plusieurs hectares de forêts disparaissent chaque année, en Côte d'Ivoire, et particulièrement celles des zones humides. Cette déforestation présente de nombreuses conséquences, dont la perte de la biodiversité. Pour mieux comprendre cette réduction des surfaces forestières, la présente étude a été initiée. Elle se propose, d'abord, de caractériser et cartographier l'occupation du sol de la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs, ensuite d'étudier la dynamique de l'occupation du sol. Pour anticiper sur les décisions de gestion durable des ressources naturelles, cette étude se propose pour terminer d'évaluer les pressions qui s'exerceront, à long terme, sur la zone humide.

Pour ce faire, les travaux ont portés sur la classification supervisée des images satellitaires LANDSAT TM 1986, LANDSAT ETM+ de 2000 et LANDSAT OLI de 2013, qui a abouti à une cartographie multi date de la zone Ramsar de Grand-Bassam et ses environs. L'analyse diachronique de ces données d'occupation du sol, dans un système d'informations géographiques (SIG) a révélé une extension des cultures pérennes, au détriment des forêts. Celles-ci ont fortement régressé sur ces 27 années. Une Cartographie de l'occupation du sol en 2030, a été ensuite simulée, à l'aide du module Land Change Modeler, en se basant sur l'analyse des changements entre des cartes d'occupation du sol de 1986 et 2000. Cette simulation de l'occupation du sol, a révélé une extension des cultures pérennes et de l'habitat au détriment des forêts dans le futur. Celles-ci seront en forte croissance respectivement à 42,11% et 14,74%.

**Mots clés :** *Télédétection, Occupation du sol, Dynamique, Modélisation, Zone humide RAMSAR, Grand-Bassam.*

## **ABSTRACT**

In Côte d'Ivoire, several hectares of forest, mainly wetlands, disappear each year due to human pressure. Loss of biodiversity is one of the many consequences of that deforestation phenomenon. Hence this study has been conducted in order to better understand this forest areas ongoing depletion. It consisted in identifying and mapping the use of land in the RAMSAR area of Grand Bassam and surroundings, then studying its dynamics and eventually assessing further pressure exerted in the long run on wetlands so as to anticipate natural resources sustainable management decisions.

To do this, the works were carried out by supervised classification of LANDSAT TM 1986, LANDSAT ETM+ 2000 and LANDSAT OLI 2013 satellites images. This survey generated multi-dated mapping of the RAMSAR area of Grand-Bassam and its surroundings. The diachronic analysis of these land use data with a Geographic Information System (GIS) has shown an extension of perennial crops at the expense of forests. These have been sharply falling over the 27 past years. A mapping of land use in 2030, was then simulated using the Land Change Modeler module based on the analysis of changes between land use maps of 1986 and 2000. This simulation of land use, revealed an extension of perennial crops and housing at the expense of forests in the future. These will sharply increase at 42.11% and 14.74% respectively.

**Key words:** Remote sensing, Land use, Dynamics, Modeling, RAMSAR Wetland, Grand-Bassam.

## INTRODUCTION GENERALE

De tout temps, les zones humides ont attiré les populations. La majeure partie de l'humanité vit près des côtes ou des fleuves et l'eau est omniprésente dans les traditions culturelles et sociales. Il est difficile de donner une définition universelle (YIN et LU, 2006) principalement en raison de la grande diversité des types de zones humides, de la variabilité de leur durée d'inondation et de leur évolution au cours du temps. Il est cependant admis de tous, qu'elles sont des interfaces entre milieux terrestres et milieux aquatiques proprement dits.

Les zones humides sont précieuses à la fois pour leurs fonctions hydrologiques et biologiques (BERGONZINI, 2000). Ainsi, elles contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau. Elles jouent un rôle déterminant dans la régulation des régimes hydrologiques (épanchement des crues). Ne couvrant que 6,4 % de la surface des continents, elles sont vitales pour l'humanité et constituent un important réservoir de biodiversité. Elles hébergent 12 à 15 % du nombre d'espèces animales de la planète (hors océans), dont 35 à 40 % des vertébrés, 40 % des poissons, 100 % des amphibiens et 25 % des mollusques. En France par exemple, les zones humides abritent 30% des espèces végétales remarquables et menacées et 50% des espèces d'oiseaux (DAVRANCHE, 2008). Outre ces fonctions, elles offrent de nombreux services à la communauté en étant le support de diverses activités économiques et culturelles (exploitation des ressources cynégétiques, halieutiques, agricoles, touristiques) (SKINNER et ZALEWSKI, 1995 ; OZESMI et BAUER, 2002). Elles assurent 25 % de l'alimentation mondiale à travers les activités de pêche, d'agriculture et de chasse. Elles contribuent ainsi au développement des sociétés et à leur bien-être. La préservation et le développement durable des zones humides relèvent donc d'enjeux liés à la rentabilité économique de la gestion de l'espace et de ses ressources.

C'est dans ce cadre de préservation et de conservation de la biodiversité et des milieux naturels humides que la convention sur les zones humides, appelée convention RAMSAR, a été ratifiée en Iran, en 1971, par 168 états dont la Côte d'Ivoire et entrée en vigueur le 21 décembre 1975. C'est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

La convention de RAMSAR sur les zones humides a été conçue comme un moyen d'attirer l'attention internationale sur le rythme et la gravité de la disparition des habitats des zones humides, disparition due, en partie, à la méconnaissance de leurs importantes fonctions.

Les gouvernements qui adhèrent à la Convention expriment ainsi leur volonté de contribuer activement à inverser la tendance historique à la dégradation et à la disparition des zones humides. Cet accord concerne 2220 sites d'une superficie totale de 214 207 401,74 Ha.

La détermination du gouvernement ivoirien, en faveur de la diversité biologique, s'est traduite par l'adoption de la loi n° 2002-102 du 11 février 2002 relative à la création, à la gestion et au financement des parcs nationaux et des réserves naturelles (Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 2002).

En effet, la Côte d'Ivoire en plus d'entretenir depuis son indépendance un vaste réseau d'aires protégées couvrant une superficie totale de 2 103 030 ha soit 6,52% du territoire national (N'DA, 2007), elle a ratifié la convention de RAMSAR, pour lutter contre le déclin de la biodiversité en général et des zones humides en particulier.

Son engagement pour cet accord lui a valu l'inscription, en 2005, de six (6) de ses espaces humides côtiers dans le vaste réseau des sites RAMSAR. Ce sont les îles Ehotilés, La Forêt humide de N'Ganda N'Ganda, le parc National d'Azagny, la zone humide de Fresco, l'île Dagbégo à Sassandra et la zone humide de Grand-Bassam qui fait l'objet de nos recherches.

Ce site RAMSAR de Grand-Bassam constitue avec ses environs une zone en proie aux activités humaines. Devant l'ampleur de sa dégradation, il est important de lever le doute qui pèse sur son évolution réelle et de connaître les phénomènes régissant sa dynamique. Cette préoccupation se justifie par le besoin de mettre en place une politique de gestion durable de la diversité biologique. Pour contribuer à cette politique de gestion, la présente étude s'intitulera: *«Analyse par Télédétection des pressions anthropiques sur une zone d'intérêt écologique : Cas de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs»*.

## **PROBLEMATIQUE**

La zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs se compose de divers milieux, dont les plus significatifs sont les zones humides. De ce fait, les enjeux y sont considérables, aussi bien du point de vue environnemental, que du point de vue humain.

Le Sud - Est ivoirien est une région pionnière de l'économie de plantation, avec l'introduction du café par Arthur VERDIER, au bord de la lagune Aby, en 1862. Quelques années plus tard, ce fut le tour du cacao. Le binôme café-cacao est devenu le pilier de l'économie régionale. Il dévore les terres et attire dans la région beaucoup d'immigrants. Certains deviennent des travailleurs agricoles; d'autres s'insèrent dans la communauté de pêcheurs. Ces

dernières décennies, l'avènement de l'hévéaculture, a motivé la mise en exploitation de grandes surfaces dans cette zone. Aussi de nombreuses parcelles de petits paysans sont affectées à l'hévéaculture, réduisant les productions de produits vivriers pour l'alimentation des populations. Les activités rurales, et particulièrement l'économie de plantation et la pêche, sont potentiellement des instruments capables de transformer les espaces naturels (HAUHOUOT, 2004). A ce titre, elles peuvent, si on en fait un usage irrationnel, menacer la survie même des écosystèmes. L'hévéaculture occupe de grands espaces et participe à la transformation, voire à la destruction et du milieu naturel.

Cette région de la Côte d'Ivoire connaît, ces dernières années, une urbanisation galopante, due à de nombreux facteurs. Sa situation géographique à la périphérie de la ville d'Abidjan, ville capitale est l'un des facteurs qui a engendré cette croissance rapide de l'urbanisation. La cherté de la vie, l'insuffisance des offres de logement et leurs coûts très élevés, à Abidjan, ont favorisé la ruée des populations vers les villes périphériques, notamment dans la zone sud-est de la Côte d'Ivoire. De nombreuses aires naturelles, dans cette région, ont fait place, à des milieux anthropisés (KOFFI, 2012).

La crise politico-militaire qu'a connue la Côte d'Ivoire, a favorisé des migrations de populations, du nord, vers les zones côtières. Cet afflux de populations a accentué les pressions sur les espaces ruraux entraînant de profondes transformations dans le milieu. En effet, dans cette région, la croissance démographique a atteint une hausse exceptionnelle suite aux actions conjuguées des migrations et de la croissance démographique naturelle. En dix ans, le poids démographique a doublé ou triplé dans certaines localités. Le poids démographique des localités s'est affirmé. Cette forte concentration s'explique par un taux d'accroissement naturel exceptionnel (3,4 %) et une forte immigration rurale (HAUHOUOT, 2004).

Les zones humides sont par excellence, des zones de cultures de produits vivriers. Mais, avec cette hausse de la population, le manque de terres arables pour l'agriculture et les techniques culturales archaïques entraînent de fortes pressions sur les espaces naturels à Grand-Bassam et ses environs.

Cette zone considérée comme un espace rural et lieu de travail des populations est au cœur d'activités génératrices de revenus. Aussi, la pêche, la chasse, la cueillette, l'agriculture, l'exploitation forestière, l'artisanat y sont, en général, exercées sans soucis de gestion durable des milieux naturels. Ces activités portent atteinte à la préservation de la biodiversité (KOFFI, 2012) qui a valu à grand Bassam d'être un site RAMSAR.

De fait, les pressions anthropiques sont au cœur de cette étude, Comment s'exercent-elles, dans cette zone RAMSAR qui bénéficie pourtant d'un statut, qui invite à une gestion rationnelle des ressources naturelles? Quels changements se sont opérés dans ce milieu? Il est donc opportun d'étudier de façon approfondie ces pressions anthropiques pour concevoir une politique adaptée de préservation ou de gestion durable du milieu. Nous aidant des possibilités techniques offertes par la télédétection, notre démarche scientifique vise plusieurs objectifs.

## **Objectifs de l'étude**

### **▪ L'objectif général**

Evaluer les pressions humaines sur la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs.

Pour cela, ce travail sera sous-tendu par plusieurs objectifs spécifiques bien déterminés.

### **▪ Les objectifs spécifiques**

1. Evaluer et Cartographier l'extension des types d'occupation du sol à différentes dates (1986, 2000 et 2013)
2. Analyser les mutations de l'occupation du sol entre 1986 et 2013
3. Evaluer la pression humaine sur le milieu à moyen et long terme.

Pour plus de lisibilité, ce document qui rapporte la démarche et les conclusions des recherches s'articulera autour de plusieurs parties :

- Une introduction générale qui présentera le contexte de ces recherches, la problématique qui y est liée et les différents objectifs à atteindre.
- Une première partie présentera la zone d'étude et passera en revue les travaux du genre ou sur la zone pour montrer les acquis et les insuffisances que cette présente thèse devrait combler
- Puis, une deuxième partie, mettra en évidence les matériels utilisés et la méthodologie qui a été implémentée pour ce sujet,
- Ensuite une troisième partie présentera les résultats obtenus qui seront discutés,
- Une conclusion mettra un terme aux recherches. Elle fera une synthèse du travail élaboré et ouvrira des perspectives sur de futures recherches.

**Première Partie :**  
**GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE**

## **CHAPITRE 1 : DIVERSITE DES MILIEUX DANS LA ZONE RAMSAR ET SES ENVIRONS PROPICE AUX ACTIVITES HUMAINES**

Situés sur le littoral, au Sud-est de la Côte d'Ivoire, la zone RAMSAR de Grand Bassam et ses environs se trouvent à environ 15 km à l'Est de la ville d'Abidjan. Ils couvrent une surface de 138 902 hectares.

La zone humide de Grand-Bassam, du nom de la ville qu'elle longe, est située, entre le cordon littoral, au sud, l'Ile Vitré au nord-ouest et le bas cours du fleuve Comoé ; précisément entre les 3°32'51'' et 3°56'14'' de Longitude ouest et les 5°10'50'' et 5°27'27'' de Latitude nord. Elle se prolonge à la jonction estuarienne du fleuve Comoé, de la lagune Ebrié et de la lagune Potou. Elle s'ouvre sur l'Océan Atlantique, au sud, par le grau de la Comoé. Elle se situe dans les départements de Grand-Bassam (sous-préfecture de Bonoua et de grand-Bassam) dans la région du sud Comoé et d'Alépé (sous-préfecture d'Oghlwapo et d'Alépé) dans la région de la Mé pour sa région est et Abidjan (sous-préfecture de Bingerville, commune de Port-Bouët) dans le district autonome d'Abidjan pour sa partie ouest (Figure 1).

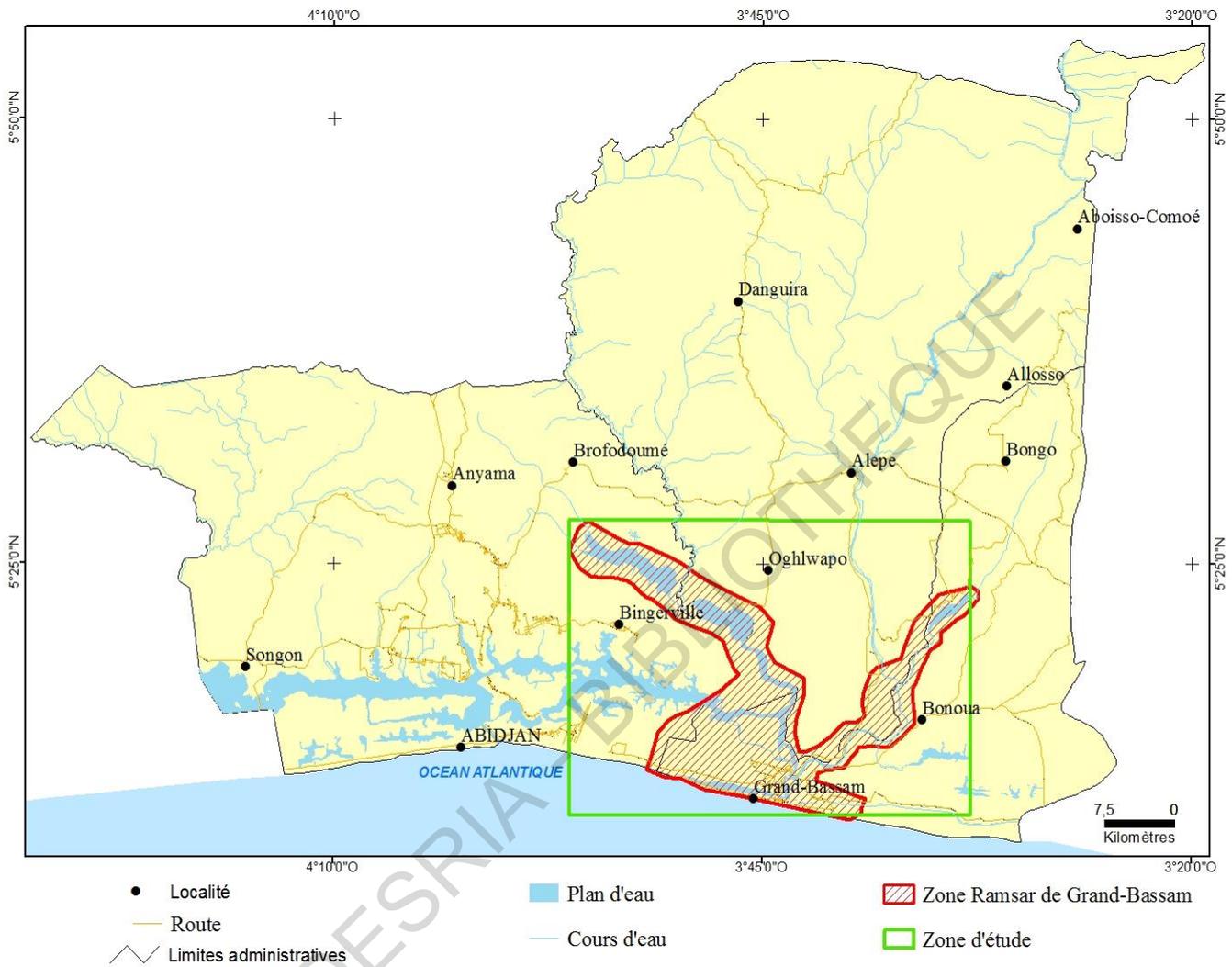
### **1.1. Le milieu physique**

#### **1.1.1. La géologie et la pédologie**

Le sud-est côtier se localise dans la zone centrale du bassin sédimentaire avec des formations âgées du Crétacé inférieur à Quaternaire. Ce sont d'une part, au Nord, des sables tertiaires (Mio-Pliocène ou Continental Terminal) répartis sur une bande de 20 à 30 km de large parallèlement à la côte, qui forment des plateaux dominant les lagunes de 30 à 40 m (Laboratoire de Télédétection et de l'Analyse spatiale Appliquée à l'Hydrogéologie, 2009). Ces sables jouent un rôle important dans la géologie et la pédologie de la zone forestière proche du littoral. D'autre part, le cordon littoral quaternaire plus ou moins développé (0,1 à 8 km), plus au Sud, est formé de cordons marins sableux successifs qui ont isolés un certain nombre de lagunes (DABIN et *al*, 1960). On observe à l'Est de ces cordons et rides de sable marins, moyens à grossiers-roux, une génération de cordons de sable moyen à fin, blanc jaunâtre.

#### **1.1.2. Les caractéristiques géomorphologiques du sud- est ivoirien**

Cette zone humide appartient à l'étroit cordon littoral de très basse altitude qui constitue une barrière pour l'ensemble des lagunes Ebrié, Potou et le fleuve Comoé.



**Figure 1: La zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs**

Le littoral est faillé transversalement et longitudinalement, ce qui détermine des compartiments de grandes proportions. (PERRAUD, 1971).

Les plaines alluviales sont de faible extension et se localisent autour des lagunes ou sur le cordon littoral qui sépare celui-ci de la mer (ROUGERIE, 1977). De bas plateaux se situent aux alentours des plaines avec des altitudes entre 8 et 12 m (BAMBA, 2007).

Ce cordon est périodiquement submergé lors des fortes marées d'équinoxe qui se déroulent en mars et en septembre. L'exutoire du complexe des lagunes est constamment menacé par le dépôt d'importants atterrissements apportés par la dérive littorale Ouest-Est du Golfe de Guinée (HAUHOUOT, 2002). Lieu d'échanges constants entre les eaux douces et les eaux marines, il s'est développé en amont de cet exutoire par envasement, des dépôts fluviaux et lagunaires.

### **1.1.3. Un climat chaud et humide**

La zone sud-est de la Côte D'ivoire est soumise à un climat équatorial de transition appelé localement climat Attiéen. Il se définit par un climat chaud et pluvieux avec une abondance de précipitations (2100 mm de pluie en moyenne par an), une forte humidité (toujours supérieure à 80 %) et par des températures élevées, mais pas excessives, constantes tout le long de l'année (Tableau I).

Ainsi, selon ELDIN (1971) le régime climatique se caractérise par quatre saisons alternativement pluvieuses et sèches:

- une première saison des pluies d'avril à juillet. Des alizés humides en provenance de l'Océan soufflent sur le Sud du pays et provoquent de fréquents grains et de nombreux orages. C'est ce qu'on nomme la mousson ou grande saison des pluies. Le mois de juin est tout particulièrement pluvieux en bordure de mer.
- une petite saison sèche de juillet à septembre, les pluies cessent mais le ciel peut rester couvert ;
- une seconde saison des pluies de septembre à novembre, très irrégulière avec quelques petites précipitations;
- une grande saison sèche de décembre à mars, rendue plutôt agréable par les alizés du nord (Harmattan).

**TABLEAU I: Caractéristiques du climat dans le sud-est ivoirien**

<b>Régime climatique</b>	<b>4 saisons- Harmattan, pendant O à 1 mois</b>
Pluviométrie (mm)	1600 à 2 500
Déficit hydrique cumulé (mm)	150 à 250
Durée de la grande saison sèche	3 à 4
Durée annuelle d'insolation (heure)	1800 à 2100
Moyenne annuelle de température (°C)	26 à 27
Valeurs annuelles limites des températures. mini et maxi. Mens. moy. (°C)	21 à 33
Moyenne annuelle de tension de vapeur d'eau (mbar)	27 à 28
Valeurs annuelles limites des moy. Mens. De tension de vapeur d'eau (mbar)	25 à 30

*Source : Eldin M, 1971*

#### **1.1.4. Un vaste système hydrographique**

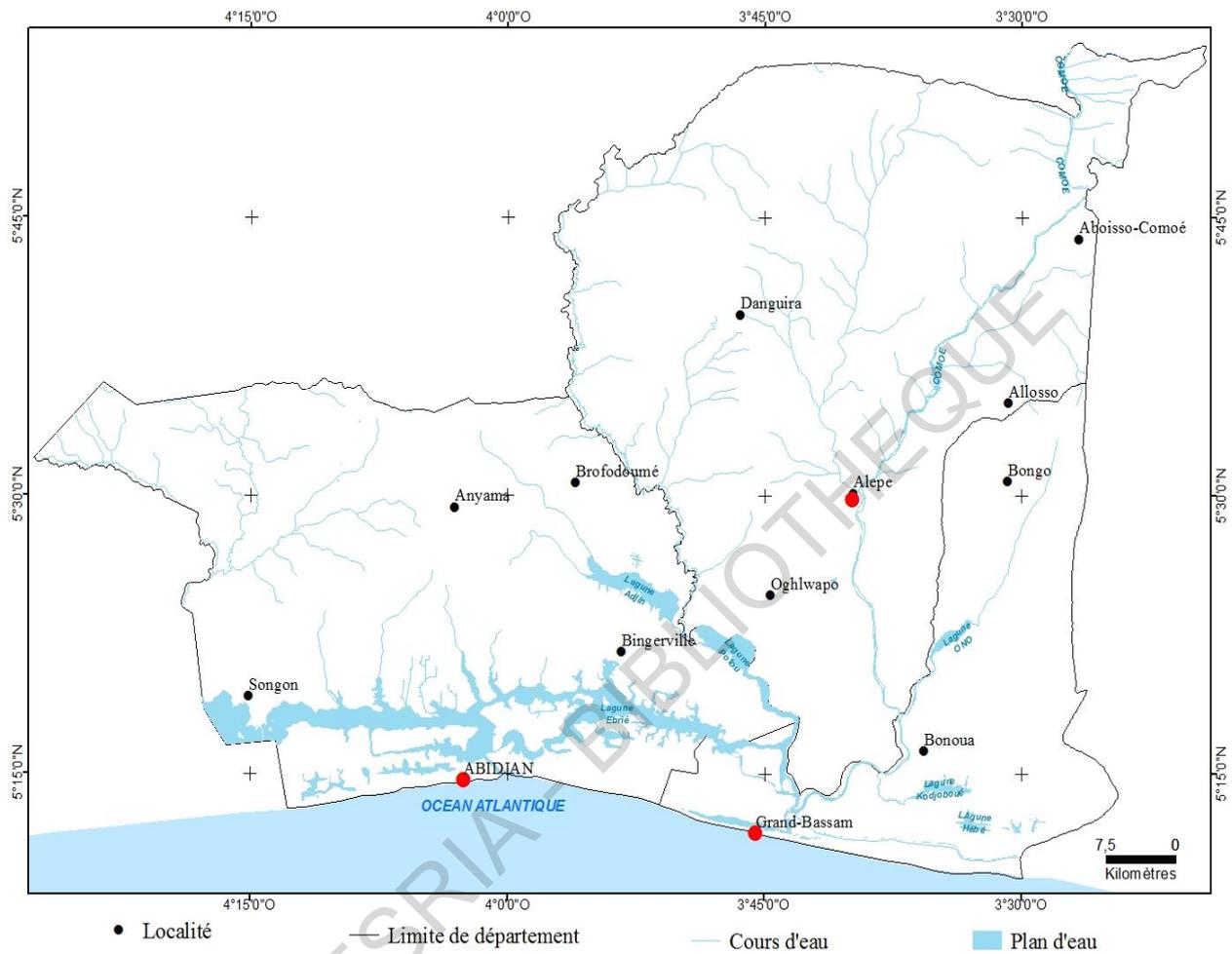
Le sud-est littoral ivoirien regorge de nombreux plans d'eau. Outre l'océan atlantique au sud, un grand complexe lagunaire irrigue la zone. C'est le système lagunaire Ebrié avec les lagunes, Ono, Adjin, Potou, Kodjoboué, Hébé) (Figure 2).

Le fleuve Comoé et la lagune Ebrié confluent dans la zone humide de Grand Bassam, pour former le plus vaste estuaire du littoral Ivoirien. Cet estuaire bifide, assez singulier, est alimenté par le fleuve Comoé qui draine du Nord au Sud, 78000 Km<sup>2</sup>, selon un régime tropical de transition à crue unique (Septembre-Octobre) et par le système lagunaire Ebrié et des rivières forestières (exemple de la Mé) à crue dédoublées (Juin-Juillet et Octobre-Novembre). L'évolution de cet estuaire se résume en deux états transitoires, la période avant le percement du canal de Vridi en 1951 où seule l'embouchure du fleuve Comoé à Bassam évacuait en mer et la période après l'ouverture dudit canal qui a entraîné de profondes modifications hydrologiques (KOULAI, 2012).

Le système lagunaire Ebrié est relié au système lagunaire Aby par le Canal d'Assinie ouvert en 1942. La région est caractérisée par des cours d'eau avec deux crues en Mai - Juillet et Octobre-Novembre. Une saison d'étiage se situe de Janvier à Mars. L'intrusion des eaux marines et des eaux continentales dans les eaux lagunaires influence directement les variations spatio-temporelles de l'hydrologie et de l'hydrochimie de ces milieux lagunaires et des milieux voisins y compris les eaux de la zone humide.

Etant comprise entre les complexes lagunaire Ebrié, le fleuve Comoé, le Canal d'Assinie et la mer, la zone humide littorale de Grand-Bassam constitue un réceptacle tampon des eaux douces (superficielles) d'origine continentale, des précipitations et des eaux saumâtres (superficielles et souterraines) d'origine lagunaire et des eaux salées d'origine marine. De part cette position, elle joue un rôle important dans l'équilibre hydrique, atténue l'évaporation, maintient et enrichit les plaines d'inondation et les nappes phréatiques.

De ce fait, elle contribue au maintien et au développement des communautés végétales, freine les processus d'érosion en captant les sédiments en provenance du continent, stabilise les rives marines en réduisant l'érosion côtière et surtout participe aux échanges entre les milieux continentaux, les milieux saumâtres et marins par le biais des canaux et des passes, communicant d'une part la mer aux lagunes, et d'autre part les lagunes entre elles.



**Figure 2 : Système hydrographique du sud- est ivoirien**

L'influence conjuguée des eaux marines et des eaux douces joue sur la plupart des paramètres physico-chimiques du milieu, qui sont responsables de la répartition des organismes vivants.

Situé au Nord de la commune de Grand-Bassam, le système Potou - Aghien est alimenté par les eaux de la rivière côtière Mé (une rivière côtière de 140 km de long couvrant un bassin versant de 4 300 km<sup>2</sup>). Il est le prolongement à l'intérieur des terres de la partie orientale de la lagune Ebrié.

Depuis Moosou (embouchure du fleuve Comoé) jusqu'au bras reliant Aghien et Potou s'est développée une mangrove à Rhizophora. La rivière Mé croise les deux lagunes au niveau du bras d'eau qui les relie. De part et d'autre de la rivière s'est développée une forêt de terre ferme.

La Lagune ONO, plan d'eau situé à l'Est du site, se jette dans le fleuve Comoé avant d'atteindre l'océan Atlantique. ONO est plus un lac qu'une lagune.

Ces vastes plan d'eau sont le support des communications dans cette région et favorise la pêche et certaines cultures.

#### **1.1.5. Des sols fortement dessaturés, dans le sud-est ivoirien**

Ils sont constitués de sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols brunifiés, des sols ferrallitiques et surtout des sols hydromorphes qui, pour le site de GB sont salés. Ces formations hydromorphes se retrouvent le long des principaux cours d'eau du Comoé et des lagunes, dans les zones à topographie basse et facilement inondable. Les matériaux pédologiques sont essentiellement alluviaux souvent tourbeux. La végétation rencontrée sur ces sols est caractérisée par des groupements spontanés de palmiers raphia, des mangroves à palétuviers, avec l'absence d'une strate supérieure haute ; ce type de végétation garde un caractère forestier.

Cependant, dans l'ensemble, les sols sableux côtiers dominent dans presque toute la région. En effet, dans tout l'Est (PERRAUD, 1971), les sols présents le long du littoral sont formés sur des sables marins récents ou actuels et ne couvrent que quelques centaines de mètres de large. Ces sables, peu évolués en surface avec un léger enrichissement en matière organique, sont très pauvres en sels minéraux, la nappe phréatique est profonde.

Des pseudo-podzols de nappe se signalent en zone lagunaire (lagune Ébrié), sur le cordon littoral entre mer et lagune. Ce sont des sols très perméables, sur les sables grossiers, avec présence permanente d'une nappe phréatique à faible profondeur. Seul l'horizon humifère possède quelques éléments minéraux (LE LOEUFF et *al*, 1971). Sur les rives des estuaires, les sédiments meubles d'origine fluviale donnent des sols hydromorphes à Gley, salés, soumis au régime des marées. Ces sols sont pour la plupart fortement dessaturés.

### **1.1.6. La végétation du sud-est ivoirien**

#### **1.1.6.1. Les types de végétation**

La zone humide qui appartient au secteur littoral du grand domaine phytogéographique guinéen est caractérisée par divers types de végétations marécageuses et littorales (SANKARE et *al*, 1991). Leur structure et leur composition spécifique sont conditionnées par les caractéristiques édaphiques du substrat (granulométrie, degré d'hydromorphie), et par la salinité des eaux d'immersion.

Tout le secteur littoral est très habité ; de ce fait, les formations végétales primitives, notamment la forêt, ont laissé la place à des cultures et ne couvrent plus qu'une faible surface. GUILMUMET et ADJANOHOUN (1971)

- La forêt littorale est présente sur tous les types de sols ; elle comporte une strate arborée lâche et une strate arbustive dense et riche. Le recouvrement herbacé est très faible, parfois inexistant. Par rapport à la forêt dense équatoriale typique, cette formation est remarquable par l'absence de nombreuses espèces, exclues par des conditions édaphiques extrêmes. De rares fragments de forêt subsistent encore au-delà de Grand-Bassam vers la lagune Aby.

- Les savanes littorales sont établies sur les pseudopodzols à horizon humique pratiquement inexistant et où la nappe phréatique remonte jusqu'en surface une partie de l'année. Le peuplement herbacé à trois strates est peu recouvrant et surtout composé de graminées ; la végétation ligneuse est insignifiante. Des zones de savane, entre les lagunes Ebrié et Ouladdine et sur la moitié Est du parcours du canal d'Assinie.

- les mangroves ne sont présentes que dans les estuaires, sur les sols hydromorphes salés à gley résultant de l'accumulation d'alluvions, et soumis à l'influence des marées. Les palétuviers rouges à racines-échasses *Rhizophora racemosa* s'observent en bordure de mer et

fixent le sédiment. Plus près de terre s'installent les palétuviers blancs à pneumatophores *Avicennia africana*.

#### **1.1.6.2. Une flore remarquablement riche dans la zone humide de Grand-Bassam**

La mangrove de la zone humide est représentée par deux des trois espèces de palétuviers de Côte-d'Ivoire, les palétuviers *Rhizophora racemosa* (Palétuvier rouge) qui colonise les zones de front à faible salinité, entre lagune et continent et *Avicennia germinans* (Palétuvier blanc). La troisième espèce de palétuvier *Conocarpus erectus* (Palétuvier gris) aurait été inventoriée dans la zone par Aké Assi en 1958. Aujourd'hui, elle a complètement disparu des zones côtières de l'Est.

La formation marécageuse se compose essentiellement des fougères (*Nephrolepis biserrata* et *Caeratopteris cornuta*) ; elle est considérée comme une formation résultant de la dégradation de la raphiale climatique. Dans les secteurs non anthropisés, les espèces dominantes sont *Mitragyna ciliata* (RUBIACEAE), *Symphonia globulifera* (GUTTIFERACEAE) et *Raphia hookeri* (ARECACEAE) et les espèces accompagnatrices *Ficus congensis* (Figuier), *F. ovata* (MORACEAE), *Crudia klaini* (CAESALPINIACEAE).

De nombreuses espèces de plantes ont été introduites accidentellement. Le baobab (*Adansonia digitata*) demeure la plus remarquable des plantes introduites accidentellement.

On observe une communauté naturelle de plantes indigènes dans les régions voisines du site. Au nord, sur les rives Est et Ouest de la rivière Mé, s'est développée une importante forêt constituée de grands arbres tels que *Symphonia globulifera* (GUTTIFERAE), *Uapaca heudelotti* (EUPHORBIACEAE), *Cathormion altissimum* (MIMOSACEAE). La partie Est de la rive de cette rivière est constituée de la forêt classée de N'guéchié.

Une communauté de plantes cultivées se situe dans les environs de la zone humide. Au Nord Est du site, vers l'embouchure de la rivière Amia, la forêt marécageuse naturelle a fait place à une succession de plantations d'ananas (*Ananas comosus*), de manioc (*Manihot esculenta*), de maraîchers et de rizières.

## **1.2. Les activités humaines dans ce milieu humide**

Le secteur littoral est très habité, même quand l'arrière-pays est désert. La zone d'étude se compose de nombreuses localités dont les plus importantes sont Oglwapo, Bonoua, Bingerville, Grand-Bassam et la commune de Port-Bouët.

### **1.2.1. Une population en pleine croissance**

La zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs, à la périphérie de la ville d'Abidjan est en passe de devenir un quartier dortoir pour les populations. Ce phénomène se traduit par une augmentation de sa population (estimé par le recensement de 1998 à 58 307 et 78 682 habitants respectivement pour Grand-Bassam et Bonoua). Cette augmentation rapide de population s'explique d'une part par une forte proportion d'autochtone ; et d'autre part, par un apport de populations allogènes dans les années 70 à 80 composées d'Ivoiriens et de non Ivoiriens (notamment les Burkinabés et les Maliens). Les flux de population vers cette zone sont liés à la richesse de l'environnement agricole de la zone. Les immigrants représentent 45 % de la population totale et 75% de la population agricole (HAUHOUOT, 2002). Dans la région, la population vit en majorité en zone rurale ; les agriculteurs représentent 70 % de la population totale. Ces chiffres montrent l'importance de l'agriculture dans l'économie régionale mais aussi, d'une certaine façon, la pression démographique que cela entraîne sur les milieux naturels. La population comprend en son sein 47 % de personnes actives dont une majorité s'emploie à transformer le milieu naturel en plantations.

### **1.2.2. Les activités humaines**

Les activités principales dans cette zone sont la pêche, l'agriculture et le tourisme. Les milieux naturels dans la zone révèlent des disponibilités locales en terres. De ce fait, les défrichements déjà opérés sont importants. Les espaces humanisés sont très importants. La plus grande partie est constituée de cultures et de jachères. Et la pression agricole est particulièrement forte sur les rives lagunaires.

#### **1.2.3.1. L'agriculture**

Deux sous-ensembles peuvent être distingués. Le premier concerne les plantations industrielles. L'agro-industrie est dominée par la Palmindustrie qui gère des plantations industrielles de coco et de palmier à huile notamment à Eloka et Irho Lamé. Les graines de palmes sont transformées en huile sur place par les usines. Palmindustrie achète et traite aussi la production des planteurs individuels des localités proches. A l'instar de la Palmindustrie, d'autres sociétés privées exploitent des plantations industrielles dans la région.

Le second sous-ensemble concerne les plantations villageoises de culture de rente et de vivriers. Les cultures de rente exploitées sont variées et nombreuses : le café, le cacao, l'hévéa, le palmier à huile, le coco, l'ananas. Le café et le cacao constituent un binôme majoritairement exploité dans ces zones (HAUHOUOT, 2004).

Les cultures vivrières sont développées de manière extensive sur brûlis, pour la consommation des exploitants agricoles. La production vivrière est influencée par l'origine ethno-linguistique des exploitants. Les populations autochtones pratiquent surtout la culture du manioc et de la banane plantain. Les allochtones s'intéressent surtout aux céréales (riz, maïs). Ils exploitent aussi des cultures maraîchères (gombo, piment, laitue et chou). Il y a, en revanche, des cultures qui échappent à ce clivage. L'igname, le taro et la patate douce sont exploités à la fois par les deux types de communautés.

D'une façon générale, les plantes vivrières sont cultivées avec des outils traditionnels sur des surfaces modestes. Peu de terres sont disponibles pour ce genre de culture ; la majorité des terres est mobilisée par les cultures de rente qui procurent plus de gains aux paysans ; celles-ci sont donc le facteur majeur de transformation de l'espace autour des complexes lagunaires dans les zones humides, aux dépens des savanes lagunaires et du domaine classé.

A l'intérieur des terres, le café, le cacao, le palmier à l'huile et hévéa sont les moteurs de la transformation des espaces naturels. Par contre, sur le littoral, les cocoteraies ont remplacé la végétation naturelle sur des milliers d'hectares.

### **1.2.3.2. Le tourisme**

Le tourisme, se développe depuis plusieurs décennies de façon étonnante. Ce développement du tourisme a abouti à une urbanisation tout azimut qui entraîne un réaménagement de l'espace, surtout en bordure des cours d'eau. Ceci est source de mutation de l'espace.

Le tourisme et les loisirs balnéaires sont mieux lotis. Une vingtaine d'hôtels (dont plus de la moitié sur le front de mer) offrent une capacité de 350 chambres. Les taux de remplissage atteignent des records en fin de semaine (60%). Cependant, les troubles sociopolitiques récents, ponctués par un coup d'état en décembre 1999, ont fait chuter les taux de remplissage à moins de 10%.

Le tourisme et les loisirs balnéaires dont sont friands les Abidjanais drainent beaucoup de gens pendant les week-ends sur la plage entre Azureti et Mondoukou. Ce dernier site est un mince cordon sableux interposé entre un bras lagunaire, ancien chenal du fleuve Comoé, et la mer. Ce cordon est traversé par une route submersible, périodiquement balayée par les fortes vagues de houles exceptionnelles qui viennent mourir en arrière, dans la lagune.

### **1.2.3. Activités humaines et dégradation des milieux naturels**

L'influence humaine est particulièrement importante et se fait sentir en de nombreux domaines, dans les changements qui s'opèrent dans le milieu naturel, notamment dans cette partie de la Côte d'Ivoire.

#### **1.2.3.1. La pêche**

Actuellement, la pêche en mer est peu pratiquée par les Ivoiriens qui s'adonnent plutôt à la pêche lagunaire et à l'agriculture. La nature offre par ailleurs d'énormes potentialités que les populations s'efforcent d'exploiter. Vu les importants plans d'eau (lagune, fleuve) et la présence de l'océan Atlantique, la pêche occupe plus d'un millier d'artisans et une flotte de 368 embarcations qui déversent plus de 1000 t de produits halieutiques sur le marché local et celui d'Abidjan (Profil environnemental, 2000).

En effet, la pêche intensive pratiquée par les populations dans la zone humide, zone de reproduction des poissons, contribue à l'épuisement de leurs stocks.

#### **1.2.3.2. L'exploitation et la commercialisation du bois**

La coupe du bois est un indicateur intéressant de la pression exercée sur les écosystèmes forestiers. Malheureusement, on ne dispose d'aucune information, ni sur le cubage exploité par espèce, ni sur le cubage exporté par espèce. Aussi l'aménagement de l'estuaire de Comoé est

un problème crucial pour le site RAMSAR de Grand-Bassam. Les enjeux de la remise en fonction de l'estuaire du Comoé à Bassam dépassent le seul problème des hydrophytes.

L'ouverture ou la fermeture de la passe a des effets sur la faune. Elle donne lieu à une modification de la répartition des poissons et des crustacés dans l'estuaire et les lagunes proches. En cas d'ouverture, pénètrent en lagune les espèces tolérant une montée du taux de salinité : le hareng de lagune, la carpe blanche, le *Psettus sebae*, le *Cynoglossus senegalensis*, le *Lutjanus goreensis*, le *Lichia glauca* (MOULOD, 1995). Certaines ont un grand intérêt commercial. La communication entre la mer et la lagune est indispensable pour les besoins de reproduction de certaines espèces. Le mullet, par exemple, vit et se reproduit en mer mais les œufs et les alevins se développent en lagune.

L'aménagement de l'estuaire de la Comoé a aussi des incidences sur les plans d'eau. En effet, cet aménagement conjugué par l'effet des courants et des vents a changer l'écoulement des lagunes Aghien et Potou (HAUHOUOT, 2002). Des effets sur l'évolution du trait de côte sont très probables.

Dans le même ordre d'idée, la persistance de la sécheresse ou simplement la réduction des précipitations et les modifications climatiques contribueraient aussi à la disparition progressive de nombreuses mares du site et par ricochet contribueraient à la disparition de certaines espèces végétales et animales (FDR, 2005).

### CONCLUSION PARTIELLE

La zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs se caractérisent par un milieu naturel constitué d'un vaste système hydrographique. C'est un milieu chaud et humide de type équatorial de transition avec des précipitations abondantes. Ses sols sont fortement dessaturés et sableux pour la plupart, avec une nappe phréatique peut profonde sur laquelle pousse de la végétation de divers types. Cette végétation abrite de nombreuses espèces floristique et faunique dont certaines sont en voie de disparition ou sont protégées.

## **CHAPITRE 2: REVUE DE LITTERATURE**

L'évolution des milieux de grande importance écologique est un problème préoccupant pour l'homme, au cours des dernières années. Pour étudier cette évolution, il serait nécessaire de comprendre différents concepts reliés, entre autres, aux zones d'importance écologique et à leur régression.

Ce chapitre présente une synthèse de la littérature, portant sur plusieurs notions jugées pertinentes pour cette thèse ; et différentes approches thématiques et méthodologiques y sont abordées.

De nombreux travaux ont été longtemps consacrés à la dynamique des milieux humides en Europe. Prenant conscience de la situation de disparition des zones humides, dans les pays du sud, de plus en plus, de chercheurs et de projets d'études se consacrent aux milieux humides en Afrique. Cet intérêt soutenu par les divers projets de gestion durable des ressources naturelles. En effet, l'Afrique en général, et la Côte d'Ivoire en particulier, regorge de ressources naturelles nombreuses menacées de disparition.

Dans un souci de clarté, nous avons opté pour une analyse de cette littérature. Ainsi, nous analyserons successivement les travaux liés à la définition des zones humides, ensuite les pressions anthropiques exercés sur ces zones et leurs conséquences sur le milieu. Une analyse sera faite, enfin, sur les différentes méthodologies abordées, dans le but d'élaborer une synthèse qui va permettre d'exposer les acquis, mais aussi les insuffisances sur le sujet.

### **2.1. Les zones humides, des milieux très importants pour leurs ressources naturelles**

#### **2.1.1. Définitions des zones humides**

Largement utilisé à partir de la fin des années soixante, le terme "wetland" apparu sous cette forme pour la première fois aux états Unis, au début du dix-septième siècle, selon BOULE (1994) a donné l'expression "Zone humide" en français ; les canadiens préférant une traduction plus littérale parlent de "terre humide". Le terme a été introduit en France à la fin des années 1960, par les scientifiques et protecteurs de la nature. Son approbation par la communauté scientifique date des années 1970. Définir légalement les zones humides répond à un triple besoin (CIZEL et *al.*, 2010), qui est de :

- cerner le plus précisément possible des milieux écologiquement très différents des uns des autres mais qui partagent tous trois éléments communs, à savoir une faible profondeur d'eau ; des sols de compositions spécifiques ; la présence d'organismes vivants adaptés pour y séjourner temporairement ou en permanence ;
- pouvoir leur appliquer des textes de protection spécifique et créer des délimitations spécifiques;
- mettre fin à une pluralité de définitions dont aucune ne parvient réellement à s'imposer.

Le Programme Biologique International (PBI), dans son rapport MAB-UNESCO de 1974, définit la zone humide comme une zone dominée par des plantes herbacées particulières, dont la production se situe surtout au-dessus du niveau de l'eau tandis qu'elles reçoivent des quantités d'eau qui seraient excessives pour la plupart des végétaux présentant des organes aériens. Quelques années plus tard, cette définition fut jugée imparfaite par les auteurs qui en ont trouvés une autre : « Une zone humide est toute zone de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques où la nappe phréatique est proche de la surface du sol, sa surface est couverte d'eau peu profonde, de façon permanente ou temporaire ». Cette définition ne fait toujours pas l'unanimité. Pour le Comité Canadien de Classification Ecologique (CCCE, 1987), les zones humides sont des terres saturées d'eau assez longtemps pour favoriser les processus de milieux humides ou aquatiques : sols mal drainés, végétations hydrophytes et diverses formes d'activités adaptées à ce milieu. Les définitions du PBI ou du CCCE sont brèves et s'en tiennent à quelques éléments comme l'omniprésence de l'eau et une végétation adaptée à ces conditions. Les termes tels que «près de» ou «assez longtemps» montrent bien une volonté de rester dans les grandes lignes. Ces définitions ne sont pas suffisamment précises pour établir des identifications rigoureuses. Mais l'avantage de l'absence de détails est qu'elles peuvent correspondre à un grand nombre de zones humides de par le monde.

Les définitions de Saintes-Maries-de-la-Mer (HOFFMANN, 1964), de l'UICN, et du groupe zones humides de l'UNESCO ne prennent en compte que l'élément «eau». Elles précisent la hauteur de la nappe phréatique et l'aspect temporaire de son affleurement. JOUANIN (1972), dans PENN AR BED, ne prend en compte que les aspects fonctionnels chimiques et biologiques des zones humides en soulignant leur productivité écologique. RAMADE (1993) centre sa définition sur les utilisations et menaces qui s'appliquent aux zones humides. La définition du Canadian Registry s'appuie sur les conséquences biologiques directes

de la présence d'eau dans toute la hauteur de sol. MANAUD et MONBET (1980) insistent sur l'aspect fonctionnel. Leurs définitions ne se limitent qu'à quelques aspects des zones humides. Elles ne sont donc pas représentatives de toutes les zones humides à l'échelle mondiale.

La définition de RAMSAR apporte un élément de mesure précis puisqu'elle pose un seuil maximum de six mètres de hauteur d'eau. Beaucoup de définitions proposent une liste de zones humides souvent basées sur les formations végétales, en ce qu'elles reflètent la particularité du biotope. La convention de RAMSAR, traité intergouvernemental qui sert de cadre à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources adopte une optique plus large pour définir les zones humides à savoir les marais, et marécages, les lacs et cours d'eau, les prairies humides et les tourbières, les oasis, estuaires, deltas et étendues à marée, zones marines proches du rivage, mangroves et récifs coralliens sans oublier les sites artificiels tels que les bassins de piscicultures, les rizières ; les réservoirs et les marais salants. Au sens de la présente Convention (1971) , « les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. » La difficulté de ces définitions est d'établir des listes répondant à tous les cas de figure existant de par le monde. Le groupe de travail du CESTA estime que l'ambiguïté des définitions provoque une incompréhension entre les partenaires de l'aménagement ; d'où leur remarque sur la difficulté d'aménager les zones humides.

Néanmoins, L'énoncé de RAMSAR reste la définition de référence, car reconnue par un grand nombre d'États qui ont ratifié la convention. Elle sert de base pour la protection des zones humides remarquables existantes de par le monde. Elle est notamment retenue par les spécialistes des oiseaux, car la présence d'eau libre ou liée au substrat et à la végétation et le caractère temporaire de certaines zones humides leur semblent essentiels.

Les zones humides ne se définissent pas de la même façon, selon le lieu où la discipline, mais elles ont des caractéristiques communes. En effet, elles sont situées à interface entre le milieu terrestre et les milieux aquatiques proprement dits (nappe phréatique, cours d'eau, étang, mer...) avec la présence de l'eau et la faible profondeur de celle-ci ; et jouent un rôle primordial dans la nature.

### 2.1.2. Caractéristiques importantes des zones humides

Les zones humides sont aussi identifiées par un certain nombre de caractéristiques. Elles sont relativement rares: elles ne représentent que 2 % soit 900 millions d'hectares de la surface terrestre du globe (BRAAKHEKKE et MARCHAND, 1987). Elles présentent naturellement une diversité importante de biotopes, inclus au sein du gradient allant du milieu franchement aquatique à celui de franchement sec, Une zone humide est donc, en fait, une véritable mosaïque de milieux humides différents possédant entre eux d'étroites relations hydrauliques et biocénologiques. Elles possèdent une grande originalité par rapport aux autres territoires. La présence d'eau confère en effet aux biotopes qu'elles abritent des caractéristiques suffisamment particulières et fortes pour que les biocénoses qui les peuplent leur soient tout à fait spécifiques.

A cause des changements climatiques, de nombreux scientifiques ont porté leurs recherches sur les fonctions climatiques des zones humides. Ils ont conclu qu'elles participent à la régulation des microclimats. Les précipitations et la température atmosphérique peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau au travers des terrains et de la végétation (évapotranspiration) qui caractérisent les zones humides. L'IDEE Casamance (2008) dans son étude sur les mangroves a affirmé que les mangroves sont aussi l'un des meilleurs moyens naturels de combattre le réchauffement planétaire, parce qu'elles ont une grande capacité de piégeage et de séquestration du carbone de l'atmosphère dans leur substrat marécageux. D'après le numéro de février 2007 de National Géographique, «Les mangroves sont des usines à carbone... » Les recherches du Docteur ONG, de l'université Sams de Malaisie, ont appris que les couches de terre et de tourbe qui constituent le substrat de la mangrove contiennent un grand volume de carbone qui atteint 10 % au plus. Et la disparition massive des zones humides côtières entraîne un impact énorme et invisible.

L'Association pour la mise en Valeur des Rivières et les Initiatives Locales (AVRIL) (2008) s'est intéressée dans ses travaux, sur les fonctions hydrologiques des zones humides. Elle affirme que les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau. Elles ont, en effet, un pouvoir épurateur, jouant tout à la fois le rôle de filtre physique (elles favorisent les dépôts de sédiments y compris le piégeage d'éléments toxiques tels que les métaux lourds, la rétention des matières en suspension...) et de filtre biologique. Les zones humides régulent les régimes hydrologiques. Elles sont, en effet, comme des éponges, qui "absorbent" momentanément l'excès d'eau de pluie pour le restituer progressivement, lors des périodes de sécheresse, dans le milieu naturel (fleuves et rivières situés en aval). Elles diminuent

ainsi l'intensité des crues et soutiennent les débits des cours d'eau en période d'étiage (basses eaux).

En plus de leurs nombreuses fonctions, qui intéressent les scientifiques au plus haut point, les zones humides rendent d'énormes services à la société. Les services rendus sont dû à la biodiversité de ces milieux. Elles fournissent, au niveau mondial, des avantages économiques considérables : alimentation en eau (quantité et qualité), pêcheries (les 2/3 des poissons pêchés dans le monde en dépendent), agriculture (rizières...), bois d'œuvre, ressources énergétiques (tourbe et litière), faune et flore sauvages, transport, possibilités de loisirs et de tourisme (<http://www.gers.equipement-agriculture.gouv.fr/1-importance-des-zones-humides-a4961.html>). Cette richesse présente deux dimensions principales. Grâce à l'abondance de l'eau et des matières nutritives, les milieux humides connaissent généralement une production biologique intense et abritent un très grand nombre d'espèces animales et végétales. Ils présentent donc une grande diversité d'espèces originales par rapport aux milieux voisins. En 2000, environ 1,8 millions d'espèces étaient connues ; en majorité, des espèces de petites dimensions, comme les insectes, mais les scientifiques évaluent le nombre d'espèces existant à environ 13 millions (certaines estimations variant entre 3 à 100 millions d'espèces) (ALBALA, 2008). Parmi ces espèces et étant donné le faible développement de ces zones, beaucoup sont rares, en voie de régression ou de disparition (ATEN, 2011). L'originalité et la diversité des biotopes et des biocénoses des zones humides, en font également des secteurs de haut intérêt paysager. Les zones humides ont une productivité biologique très remarquable et les scientifiques incluent les marais parmi les milieux les plus productifs de la planète. Elles constituent un fabuleux réservoir de biodiversité ou diversité biologique, offrant aux espèces animales et végétales qui y sont inféodées, les fonctions essentielles à la vie des organismes : l'alimentation (concentration d'éléments nutritifs) ; la reproduction grâce à la présence de ressources alimentaires variées et à la diversité des habitats ; la fonction d'abri, de refuge et de repos notamment pour les poissons et les oiseaux (AVRIL, 2008). C'est une fonction des zones humides qui a été au centre de bons nombre de recherches et d'études. En effet, la biodiversité est un concept de plus en plus prôné, et la définition de sa formulation ne date que des années quatre-vingt-dix notamment lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Centre Régional de la Propriété Forestière de Languedoc-Roussillon (CRPF), 2005). Selon la CRPF de Languedoc-Roussillon, la biodiversité suscite tant d'intérêts car ses enjeux sont multiples. En effet, elle présente des enjeux Écologiques : les interactions entre les espèces et le milieu humide sont

indispensables pour leur propre survie. Pour les enjeux économiques, la richesse en ressources naturelles permet une diversification des revenus par la production de bois (de chauffage, d'œuvre...), la chasse, la pêche, l'apiculture, la cueillette (les vertus thérapeutiques de certaines espèces sont utilisées par les laboratoires pharmaceutiques). La biodiversité est source d'enjeux sociaux. En effet, des activités et revenus diversifiés contribuent au maintien du tissu rural. La création de paysages différents est favorisée, ce qui peut générer des activités de loisirs variées. Et la biodiversité des zones humides aide dans la recherche de l'auto - suffisance alimentaire. De nombreux Etats ont ratifié les accords sur la convention de la diversité biologique (CDB) qui a pour objectifs la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques. La Côte d'Ivoire n'est pas en reste de cette convention. Par son adhésion à la CDB, elle prend des engagements devant la communauté internationale par rapport à la conservation de la diversité biologique (Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 2005) et espère qu'à l'horizon 2025, la diversité biologique de la Côte d'Ivoire soit gérée de manière durable, en vue de l'équilibre des écosystèmes, de l'amélioration de la qualité de vie des populations actuelles et de la préservation de l'héritage des générations futures, en tenant compte de la dynamique sous régionale et des dimensions régionale et mondiale.

## **2.2. Les menaces sur les milieux humides**

Les milieux humides rendent de nombreux services aux sociétés humaines et contribuent ainsi à leur développement et leur bien-être. Ces dernières, ont toujours modifié leur habitat, soit pour le rendre plus facile à vivre, soit pour y produire plus, ou pour le rendre plus conforme à leur vision du monde.

### **2.2.1. L'utilisation du sol l'un des principaux facteurs de transformation des milieux naturels**

L'utilisation du sol est la transformation par l'homme des milieux « naturels » en un environnement aménagé. Il a des impacts multiples sur les ressources abiotiques (sol et eaux) et biotiques (flore et faune). A l'échelle mondiale, l'utilisation du sol est l'un des principaux facteurs à l'origine de la déforestation et des changements climatiques (THERIAULT et *al*, 2011). L'utilisation du sol regroupe plusieurs facteurs. En effet, puisqu'elles sont très utilisées, ces zones humides évoluent et subissent des mutations qui sont soit des recompositions

spatiales, soit des pertes de surface tout simplement (KOFFI, 2012). Koffi dans ses travaux de recherches a expliqué que les facteurs à la base de ces mutations étaient de deux ordres. Il s'agit des facteurs naturels et des facteurs anthropiques. Cette thèse est soutenue par CIBIEN et *al.* (2008) qui, parlant des facteurs naturels, affirment que les changements globaux, notamment climatiques, sont à l'origine de bouleversements de la biodiversité et des milieux naturels. En Afrique centrale par exemple, les enregistrements sédimentaires et polliniques, ainsi que l'étude de restes végétaux prélevés dans des sites archéologiques, révèlent qu'une nouvelle perturbation est intervenue il y a 2 500 ans. Celle-ci, nettement plus importante que la précédente, a fortement touché tous les milieux forestiers de l'Afrique centrale, provoquant l'extension des arbres pionniers et des plantes herbacées, caractéristiques des forêts dégradées et des savanes. La forte érosion associée à ce phénomène indique qu'il a été causé par une dominance des pluies orageuses et un certain raccourcissement de la saison humide. L'érosion due à un tel régime des pluies durant plusieurs siècles a causé la mise en relief de nombreux anciens sols qui ont été en même temps « lessivés », provoquant ainsi un fort enrichissement en aluminium et en potassium des sédiments transportés par le fleuve Congo. C'est la découverte de cette concentration très élevée dans les dépôts sous-marins du fleuve Congo qui aurait conduit à émettre l'hypothèse erronée d'une intervention « anthropique » pour expliquer la déforestation de l'Afrique centrale. Les activités humaines actuelles ont souvent un impact dévastateur sur l'environnement dû à la forte emprise géographique des populations. Pour autant, dans le passé, ces activités ne doivent pas forcément être incriminées, notamment dans le bouleversement écologique majeur qui a affecté les milieux forestiers d'Afrique centrale entre 2 500 et 2 000 ans avant l'Actuel. En effet, les travaux des archéologues et paléontologues démontrent que le peuplement des Bantous avait été très réduit durant cette période et donc insuffisant pour provoquer une perturbation aussi forte. Seule une profonde modification du régime climatique sur l'ensemble de la sous-région a été capable de causer une telle transformation du paysage (IRD, 2012). Pour MORAND (2003), il est important d'intégrer dans la gestion et l'amélioration de la planification de ces aires les différents scénarii des changements climatiques imminents qui auront des effets potentiels sur la biodiversité. Mais l'homme reste le transformateur par excellence du milieu par ces activités. Les pressions sur les zones humides, d'origine humaine, créent des dysfonctionnements parfois en chaîne. Les perturbations peuvent être temporaires ou modifier à plus long terme la dynamique des écosystèmes, voire engendrer leur disparition.

### 2.2.1.1. L'agriculture le facteur majeur des mutations en zone humide

L'agriculture est le premier élément de l'utilisation du sol qui figure parmi les menaces les plus critiques des changements du milieu naturel en général. Avec l'extension de l'agriculture, de nombreux milieux humides ont été transformés en terre arable, au cours du siècle dernier par drainage, assèchement et remblaiement. En Côte d'Ivoire, Au cours des années subséquentes à 1960, l'exploitation de ces zones à des fins de développement a eu pour conséquence la disparition des  $\frac{3}{4}$  de la couverture forestière du pays que les reboisements de l'ordre de 150 000 hectares ne peuvent compenser. La forêt primaire humide, la plus riche et qui abrite une grande diversité floristique et faunique est passée malheureusement de 16 millions d'hectares au début du siècle dernier à 9 millions d'hectares en 1965 et à 3 millions d'hectares en 1991. Le besoin en terre pour les cultures de rente (Café, cacao, hévéa, palmier, ananas,...) a contribué à une pression, sur ces zones. Les défrichements destinés à l'agriculture de subsistance notamment les cultures de subsistances ne sont pas non plus sans conséquences pour le milieu naturel humide. ADEMOLA-OUATTARA et al (1999) soutient que plus fondamentalement, c'est au niveau des choix politiques et économiques d'un développement basé sur les cultures d'exportation qu'il faut chercher les causes de la déforestation en générale en Côte d'Ivoire. La modification des différents écosystèmes par l'agriculture a entraîné la dispersion des espèces animales qui dépendent du couvert naturel. Cette situation met en évidence la menace que la destruction du milieu naturel fait peser sur la vie des différentes espèces animales. Elle est la plus grande source de pression sur la diversité biologique, notamment au regard des superficies exploitées. Outre la disparition physique des zones humides que peut occasionner l'agriculture intensive, celle-ci contribue lourdement à détériorer les écosystèmes liés à l'eau notamment par les pollutions diffuses et ponctuelles dues aux intrants agricoles : traitement phytosanitaire, épandage de fumures animales, amendement et engrais. Ces pollutions sont responsables d'intoxication (empoisonnement d'organismes, accumulation dans les chaînes) et de dysfonctionnement trophiques (eutrophisation, "blooms", marées vertes...) (Conservation de la nature, 2010).

### **2.2.1.2. L'urbanisation et la hausse démographique, des facteurs transformateurs des milieux naturels**

De l'utilisation du sol, Le développement urbain est l'autre cause majeure de destruction des zones humides. L'accroissement rapide des besoins en terres du fait de la croissance démographique rapide et de l'urbanisation spontanée augmente la pression sur les ressources naturelles et provoque leur destruction. Ce phénomène est indexé au sein du paradigme environnementaliste comme étant l'un des fléaux écologiques majeurs auquel la Terre est confrontée (ROSSI, 1999). Elle s'accroît aujourd'hui. Actuellement, l'urbanisation consomme environ 60 000 hectares par an en France (Plan national en faveur des zones humides, à venir, 2012). L'urbanisation et les aménagements associés se traduisent par une imperméabilisation des sols, des remblaiements, drainages, etc. qui entraînent la perte pure et simple de milieux humides ou leur perturbation. Les opérations conduites dans le cadre de politiques d'aménagement aboutissent parfois à la régression des zones humides. Outre la destruction des zones humides sous l'emprise des constructions, quelques effets de l'urbanisation peuvent être retenus, notamment la modification des approvisionnements en eau et des écoulements dans les zones humides par la création de nouveaux réseaux, le mitage et le cloisonnement de l'espace qui créent des ruptures dans les connexions écologiques, perturbant le bon fonctionnement des milieux aquatiques et des espèces qui y vivent et la pollution accidentelles ou diffuses le long des voies de circulation ([www.zones-humides.eaufrance.fr/](http://www.zones-humides.eaufrance.fr/), 2012).

La pression urbaine résulte de la croissance démographique mais, surtout, du déploiement accéléré des activités dans un contexte favorable d'économie libérale. Selon le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM, 2002), on constate un recul accéléré des zones de forêts et de leurs ressources dans les zones littorales en Afrique sous l'effet de l'action de l'homme, notamment des changements d'affectation des espaces (déforestation, drainage, irrigation), de la fragmentation des espaces naturels, de l'exploitation minière des écosystèmes, de la spécialisation des productions et de la destruction des systèmes de régulation des grands équilibres. Le développement de l'urbanisation, la croissance de la population et les aménagements correspondants (lotissements, routes, zones d'activités, parking, décharges...) ont un impact majeur sur le milieu naturel en général et les zones humides en particulier (DPN, 2001 et 2002). Les plus fortes baisses de terres humides se concentrent là où sont recensées les plus

importantes augmentations de population. PRIGENT *et al.* (2012), chercheuse à l'Observatoire de Paris affirme que la corrélation entre forte augmentation de la population et diminution des zones humides est bien établie. Cette diminution a surtout affecté les zones tropicales et subtropicales.

En Côte d'Ivoire, la disparition des espaces naturels sur le littoral s'est intensifiée sous l'effet conjugué de la croissance démographique et des modes de production non durables dans les milieux urbains. Phénomène modeste au début des années 1960, l'urbanisation est désormais une donnée particulièrement sensible de toute stratégie nationale de développement sectoriel ou global. En effet, essentiellement rurale, il y a 30 ans, la société ivoirienne s'urbanise à un rythme soutenu. On observe depuis 30 ans une véritable densification du réseau de villes. Ainsi, au cours de la période 1965 à 1988, le nombre de villes de 4.000 à plus de 50.000 habitants est passé de 54 000 à 174 000 habitants (Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 2002). Ces villes, petites, moyennes ou grandes sont les nœuds de l'organisation de l'espace. En effet, d'une part, les infrastructures structurantes et les équipements ont été implantés pour permettre aux villes de jouer leur rôle d'activateur économique et social d'une aire d'influence et, d'autre part, le développement de l'économie moderne dans les villes en fait de véritables zones d'attraction pour les populations en quête d'un mieux-être. La démographie dans les villes, sous l'action conjuguée de l'immigration et de l'exode rural, est particulièrement explosive. La population urbaine, naguère marginale, représente aujourd'hui 45% de la population totale. Les projections démographiques, fondées sur la corrélation positive entre urbanisation et développement économique, prévoient, pour la période 1988-2000, une croissance annuelle de 5,2%. L'expansion des agglomérations urbaines, notamment la croissance démographique, l'occupation accrue de l'espace et le développement des activités économiques (Agriculture, Industrie, Commerce, Artisanat, Secteur Informel), ont un impact négatif sur la conservation des zones forestières humides et la diversité biologique. Car en effet, la dynamique la plus marquée du développement urbain a été observée en zone forestière et plus particulièrement sur la frange littorale où se concentre plus de 50% des zones humides.

Pour abonder dans le même ordre d'idées, HAUHOUOT (2004) révèle qu'en dix ans, dans le sud-est littoral de la Côte d'Ivoire, le poids démographique a doublé dans la ville de Maféré et triplé à Adiaké. Le poids démographique des localités qui forment une guirlande autour de la lagune Aby s'est affirmé. Cette forte concentration s'explique par un taux

d'accroissement naturel exceptionnel (3,4 %) et une forte immigration rurale et une population à majorité agricole (70 % de la population). Tous ces chiffres montrent le poids de la démographique sur les milieux naturels en général et humides en particulier.

Les aménagements urbains jouent aussi un rôle dans les mutations du milieu. L'impact du réseau routier sur la diversité biologique et la fragmentation des milieux naturels est à rechercher généralement au niveau de l'ouverture des routes. Si la mise en place de la procédure d'études d'impact des projets de développement permet aujourd'hui d'atténuer les impacts des routes importantes, les ouvertures de pistes dans le cadre de l'exploitation forestière contribuent en revanche à éroder ces milieux déjà si fragiles; il en est de même pour la création de pistes agricoles et des routes du réseau secondaire. En outre, ces pistes constituent des voies d'accès pour la destruction des écosystèmes naturels. C'est à l'occasion de la construction de la « route côtière » en Côte d'Ivoire (UICN, 2008) que les impacts négatifs des travaux sur des biotopes sensibles ont été mis en évidence. Pour l'ouverture de piste agricole, il n'existe pas d'étude préalable. Ces dernières sont le plus souvent à l'origine de la dégradation du stock de ressources naturelles, dans la mesure où elles rendent facilement exploitables des ressources qui, auparavant n'étaient pas accessibles aux populations. Le même problème se pose au niveau des pistes agricoles aménagées par les sociétés parapubliques ou les gros planteurs dans le cadre de la création des plantations industrielles. Les engins de travaux publics sont utilisés pour ouvrir des pistes et préparer les terres dans des zones auparavant enclavées. Ces pistes favorisent l'afflux des populations allogènes généralement peu respectueuses du milieu naturel.

D'autres formes d'urbanisation comme les campings, les résidences secondaires, les aires de loisir ou les parkings ...sont situés à proximité ou empiètent sur ces milieux.

La construction de barrages et ouvrages d'art entraînent d'énormes conséquences sur la zone humide dont la première est la perte en superficie. En Côte d'Ivoire par exemple, environ 9.850 hectares de terres sont aménagées autour des 572 barrages de volumes très variés réalisés sur l'ensemble du territoire (ORSTOM, 1993). La réalisation des retenues d'eau qui n'est pas seulement le fait des pouvoirs publics est aussi la conséquence d'initiatives individuelles ou privées qui se concrétise souvent par la construction de barrages à des fins diverses, à telle enseigne qu'on assiste à une certaine anarchie dans la réalisation de ces ouvrages dont la plupart se font sans dossier technique ou étude d'impact sur l'environnement. Cette situation est néfaste à certains écosystèmes importants situés en amont (inondation) ou en aval (assèchement) des ouvrages. Les variations importantes de régimes hydrographiques dans une zone donnée

peuvent être un problème préoccupant pour le maintien de la qualité écologique des écosystèmes humides et aquatiques.

De même que l'implantation anarchique des barrages, le pompage de l'eau en amont des ouvrages existants par des tiers pour des besoins extérieurs (installation d'usines après réalisation du barrage) affecte la gestion de l'eau dans le bassin versant. C'est le cas du barrage de Kossou qui a été conçu pour une capacité de 27.675.000.000 mètre cube pour produire 450 Gigawatt-heure d'énergie électrique, en comptant sur un apport annuel de 4,76 milliards de mètre cube. Après une douzaine d'années de fonctionnement, il est constaté une diminution de 25% de l'écoulement annuel de son bassin versant (Bandama). La révision de l'étude hydrologique a montré que cette incidence est due non seulement aux variations climatiques, mais aussi en partie aux prélèvements en amont (complexes agro industriels, périmètres hydro-agricoles, nombreux petits barrages) qui peuvent être chiffrés à 200 millions de mètre cube par an (Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 2002). La baisse de la pluviométrie associée aux aménagements des cours d'eau (barrages hydroélectriques, barrages hydro-agricoles) pour l'industrie, l'agriculture, l'alimentation en eau potable, contribuent énormément à la fermeture des principaux canaux communiquant les lagunes à la mer. A Grand-Bassam, la passe est complètement fermée suite à la baisse du débit du fleuve Comoé et aussi à cause de l'ouverture du canal de Vridi qui a détourné une partie du cours du fleuve Comoé, diminuant de ce fait le débit de ce dernier vers son ancienne embouchure à Grand-Bassam (AKADJE, 2011). Les conséquences directes de ces fermetures sont les modifications des paramètres hydrodynamiques et hydro-biologiques et particulièrement la salinité. Dans la plupart des cas, ces milieux deviennent plus ou moins stagnants, moins salés et très envasés. Les mollusques réagissent généralement par rapport à ces changements (SANKARE et *al.* 1991 ; SANKARE et *al.*, 1998). C'est ainsi que les espèces les plus tolérantes restent stables ou prolifèrent, les autres voient leur effectif diminuer selon leur capacité à intégrer les variations des paramètres environnementaux.

A ces facteurs de pression de l'urbanisation sur les milieux humides s'ajoute l'extraction de sable et remblaiement. Afin de répondre en partie aux besoins des populations, par manque de terres pour l'urbanisation et la construction certains sites ont été remblayés et transformés en quartiers. C'est le cas des quartiers de Marcory, Koumassi et Treichville à Abidjan. Certaines parties de ces quartiers étaient occupées par des mangroves, des baies ou des marécages car directement en contact avec la lagune Ebrié. Par exemple, la zone d'Abidjan a procédé en 1997

au remblaiement de la baie de Cocody dans le souci de réduire les mauvaises odeurs libérées dans la zone en saisons chaudes, conséquence de la putréfaction des matières organiques rejetées dans la baie. Ces pratiques et techniques réduisent les superficies des milieux humides.

Par ailleurs, des extractions de sable sont aussi observées dans différentes baies lagunaires, à l'échelle mondiale. L'extraction de sable constitue une menace pour deux nombreuses espèces marines et lagunaires. Ainsi, différentes études ont mis en évidence comment l'extraction de sable dans les baies lagunaires est une menace grave pour la conservation et l'utilisation du sable des mollusques aquatiques. Les baies et les hauts fonds des lagunes sont les biotopes privilégiés pour le développement des organismes benthiques et particulièrement les mollusques. Cette particularité tient du fait que ces milieux sont riches en nourriture (PLANTE-CUNNY, 1977). Lors de l'extraction de sable ou de remblaiement, les animaux, par manque d'oxygène et de nourriture meurent. Ces actions contribuent ainsi directement à la dégradation de l'habitat des mollusques et à leur destruction. La remise en suspension permanente du sédiment fin, après l'extraction de sable par le moindre courant ou ruissellement, contribue à l'augmentation de la turbidité, à la détérioration de la qualité des eaux (ce qui interagit avec l'activité d'alimentation et de respiration des mollusques, obligeant ces derniers à fournir plus d'énergie pour mener les actions précitées) et au recouvrement permanent des mollusques sédentaires.

### **2.2.2. Exploitation des mangroves pour le prélèvement de flore et de faune**

Les mangroves comptent parmi les habitats les plus menacés au monde. Les industries de charbon et de bois ont eu de sévères impacts sur les forêts de palétuviers. L'expansion rapide de l'aquaculture (surtout de crevettes) représente la plus grande menace. Des milliers d'hectares de forêt de palétuviers ont été détruits pour faire place aux étangs de crevettes artificielles (IDEE Casamance, 2008).

Le fonctionnement de ces écosystèmes décrit par plusieurs auteurs, repose sur la production organique. Cette production organique est utilisée par de nombreux organismes dont l'homme. Ces milieux sont des sources de nourriture pour l'homme qui prélève des espèces animales, végétales et halieutiques pour sa subsistance. Malheureusement, ils connaissent actuellement diverses menaces avec pour conséquence immédiate la destruction de ces biotopes. développent des activités liées à la coupe de bois de palétuviers pour en faire du bois

de chauffe, de bois pour la construction, la pêche, le tannage, la cuisson des aliments, le fumage de poissons ou de crustacés (SANKARE et *al.*, 1998).

La chasse traditionnelle a constitué, par le passé pour les paysans, une source importante pour couvrir leurs besoins en alimentation carnée, ainsi qu'à d'autres utilisations (sacrifices, fêtes, règlement de litiges, etc.). Pour FARAU (2012), les chasseurs (en particulier de gibier d'eau) apparaissent comme des protagonistes majeurs, tant par les prélèvements qu'ils opèrent, différenciés selon les espèces, que par les aménagements massifs de certains biotopes, favorisant l'installation et/ou la reproduction des espèces qu'ils convoitent. Aujourd'hui, en Afrique, avec les difficultés financières que connaît le paysan, la chasse traditionnelle est devenue pour lui une source de revenus. Les moyens utilisés vont des armes artisanales (flèches et arcs, lances, filets, etc.), des fosses, aux produits toxiques et aux fusils de calibre 12 (DIRECTION DE LA PROTECTION DE LA NATURE, 2001). Le braconnage commercial est pratiqué comme une activité professionnelle par certains chasseurs dont il est la source principale de revenus. La demande en animaux sauvages exotiques est croissante surtout en Côte d'Ivoire. Certaines espèces sont plus demandées que d'autres : singes ; céphalophes ; etc. Le commerce de la faune sauvage étant réglementé par la convention de Washington (CITES) ratifiée par la Côte d'Ivoire, des réseaux clandestins illégaux se sont développés. Les utilisateurs de la faune sauvage sont très nombreux, que ce soit en Côte d'Ivoire ou à l'extérieur : les laboratoires de recherche biomédicale ; nucléaire ou militaire ; les acheteurs particuliers ; amateurs ou collectionneurs et les parcs zoologiques.

La plus sérieuse menace sur la diversité biologique des oiseaux vient de la disparition de leurs habitats, sous l'effet de la destruction des zones humides. Ainsi, les espèces d'oiseaux forestières ne peuvent subsister sans la forêt et s'avèrent sensibles aux variations du milieu. (ERARD, 1990). Beaucoup d'entre elles sont écologiquement très spécialisées et ne résistent pas à de mineures modifications de leur habitat.

Toutes ses actions de dégradation sont engendrées par l'homme, le plus redoutable des prédateurs. Et les pertes de surfaces et la dégradation des milieux humides semblent principalement liées à des interventions sur les sols ou des changements de pratiques culturelles : drainage, assèchement, comblement, intensification agricole ou sylvicole, déprise agricole, abandon de l'entretien. Cela a pour conséquence des dynamiques paysagères, qui ont engendré de profondes modifications au niveau de l'occupation du sol et de la biodiversité ; et ce, à n'importe quelle échelle (CIBIEN et *al.*, 2008).

### **2.2.3. La régression des zones humides un problème imminent**

Les questions environnementales, spécifiquement celles qui concernent la gestion des zones humides et leur dynamique posent un véritable problème surtout en milieu tropical humide. Ces dernières décennies, elles bénéficient d'un intérêt sans cesse croissant de la part des communautés nationales et internationales et sont au cœur des débats mondiaux. Cela se reflète par le grand nombre d'articles qui y sont consacrés dans les revues scientifiques et de presse, les nombreux cris d'alarmes des organismes non gouvernementaux tels WWF, Greenpeace, organismes de conférences internationales sur le sujet, la ratification d'accords ou de traités tels que Kyoto en 1977.

Cependant, la transformation de l'environnement constante en raison de facteurs naturels et des interventions faites par l'homme pour produire de la nourriture, se loger, construire des infrastructures ou produire ou échanger des marchandises est source d'intérêts. Ces intérêts laissent de sérieuses marques dans ces milieux sensibles qui sont « qualité ». Le problème de la régression des milieux naturels, notamment les zones humides et forestières est de plus en plus inquiétant face aux nombreux enjeux majeurs qu'ils représentent pour l'avenir de la planète.

Bien qu'étant d'un intérêt biocénétique et économique souvent primordial tant en Europe que dans les pays du tiers monde, elles ont depuis toujours suscité une réaction de rejet chez la majorité des peuples et ont fait l'objet de nombreux travaux destinés à leur assèchement et leur disparition. En France, l'édit d'Henri IV de 1599 incita à assécher "tous les palus de France" et les quelques milliers d'hectares ayant fait l'objet d'un drainage depuis la dernière guerre. La part des zones humides, déjà réduite, tend donc toujours à s'amenuiser (ATEN, 2012). Du fait de leur productivité considérable, elles ont longtemps été considérées comme des ressources intarissables et souvent comme des zones insalubres et pestilentielles ! Deux raisons qui ont servi de prétexte à leur destruction continue. Au vingtième siècle, l'avènement de l'industrialisation et de l'agriculture intensive, associé à l'urbanisation et aux pressions du tourisme a abouti à la rupture du lien entre l'homme et les zones humides et à leur destruction massive. De ce fait, chaque année, 1,6 millions d'hectares de forêts naturelles dans les milieux humides sont détruites, ou converties en plantations forestières et au cours des vingt dernières années 300 millions d'hectares ont été transformés dans la zone de forêts tropicales (WWF, 2003).

Au cours du dernier siècle, plus de la moitié des milieux humides a été détruite. Ces milieux sont encore aujourd'hui menacés. Une étude réalisée par des chercheurs du CNRS et de l'Institut de recherche pour le développement, publiée dans la revue *Geophysical Research Letters*, démontre que l'étendue des zones humides comme les marais et les tourbières a été réduite de 6% en 15 ans (1993-2007) sur l'ensemble du globe, soit une perte de zones humides de 330.000 kilomètre carrés, sous la pression démographique (TEN BRINK et *al.*, 2013), surtout dans les régions tropicales et subtropicales. La zone des 30 degrés autour de l'équateur représenterait 57% du déclin total, qui était dans ces régions de 7%. De nombreuses études réalisées dans différentes parties du monde débouchent sur le même constat : les milieux humides connaissent depuis quelques décennies une diminution importante de leurs surfaces. Des sites vastes et prestigieux ont totalement disparu. Et cette situation est généralisée, car les zones humides figurent parmi les habitats les plus menacés du monde à cause de la surexploitation, de la pollution, du drainage et du développement non durable. Les milieux humides qui subsistent connaissent souvent une dégradation de leur qualité : assèchement progressif, perturbation de la végétation. En effet, selon le bureau de la convention de RAMSAR (1998) de nombreux pays de par le monde ont perdu plus de 50% de leurs zones humides.

En occident, le phénomène est le même. Notamment en France où une enquête nationale à dire d'experts a été menée en 2011 par le ministère en charge de l'Écologie sur des zones humides de métropole et d'outre-mer, territoires à enjeux pour la biodiversité. Le constat est que si pour 11 % d'entre elles, la situation s'améliore, pour 48 %, elle se dégrade entre 2000 et 2010. Cette dégradation résulte davantage d'une altération de l'état de conservation des milieux humides présents dans les sites que d'une diminution de leurs superficies (CGDD, 2012).

Mais, l'ampleur de ces régressions des milieux humides a suscité une grande prise de consciences, depuis déjà longtemps. Cela a permis la création de laboratoires, de recherches, de publications de livres et d'articles tous voués à la recherche de solutions à ce problème (KOFFI, 2012). Ce qui explique selon ATTA (2009) que la déforestation qui avait atteint son maximum dans le monde tempéré au début du siècle dernier (1900), alors qu'elle était relativement limitée dans le monde tropical humide, à une tendance à l'inverse depuis ces cinquante dernières années. En effet, les surfaces boisées augmentent dans les pays industrialisés et tempérés à travers des phénomènes de reforestation naturelle et des opérations

de reboisement (LANLY, 1992). Et dans les pays tropicaux, la tendance inverse tend à s'accélérer.

De nombreuses forêts humides sont présentes en Afrique de l'ouest. Elles sont soumises à de nombreuses menaces depuis des décennies (FAO 2009). Dans cette région, les facteurs humains s'imposent dans la régression des zones humides. C'est le cas de la Côte d'Ivoire qui n'est pas en reste de cette régression qui perturbe les structures et ébranle les élans de développement de la plupart des pays en voie de développement forestier. Considérée au siècle dernier comme un pays densément forestier (ROUGERIE, 1964), et possédant la biodiversité la plus importante de toute l'Afrique de l'Ouest (UNEP, 2008), la Côte d'Ivoire connaît un taux de déboisement des plus élevée du monde. A cause de son agriculture extensive, elle a perdu près de 90% de ces forêts qui comprennent les zones humides. Certains auteurs comme MYERS (1991) la classent comme le pays d'Afrique tropicale ayant connu la plus grande déforestation, ces dernières décennies, derrière le Nigéria (61%) et le Cameroun (25%). Selon la FAO (2001), les zones humides régressent à un taux de 1% par an en Côte d'Ivoire. La dégradation des milieux et la perte des superficies des zones humides est donc un problème à l'échelle globale, régionale et locale.

Certains auteurs relèvent des doutes sur la dégradation continuelle de ces milieux. Ils trouvent même trop alarmistes et foncièrement exagérés les estimations provenant de ces organismes internationaux, soi-disant spécialisés. Pourtant, ils ont recours à des estimations trop souvent basées sur une simple compilation de données rarement mises à jour et souvent spatialement fragmentaire. Ces données sont recueillies auprès des organismes gouvernementaux qui ne sont pas toujours spécialisés voire suffisamment outillés. Certains comme FAIRHEAD et LEACH (1998) invitent même à reconsidérer les résultats très souvent publiés par ces organismes spécialisés, particulièrement ceux de la FAO.

En effet, Dans son étude sur les mangroves ouest-africaines, CORNIER-SALEM (1994,1999) relève que l'on ne dispose pas de présomptions sur la dégradation généralisée des mangroves par manque d'études sérieuses et fiables. Alors, à la suite des études qu'elle a réalisées, dans les années 1990, ses conclusion sont sans équivoque : « A l'encontre de ces présomptions, des études à des échelles plus fines comparant l'état de la mangrove à différentes périodes concluent non à un recul de celle-ci, mais au contraire à leur progression, ou à tout le moins à leur dynamique progressive». Elle marque un point non moins important qui est

l'échelle de temps, car des changements varient en fonction du temps, moindre sur un millénaire, elles peuvent paraître rapide sur quelques années.

Des travaux, sur la base des relevés floristiques, d'études diachroniques et d'analyses des héritages quaternaires, ont émis l'idée que la forêt tropicale humide avançait depuis la reprise d'un climat humide, après la fin du dernier inter pluvial du Quaternaire récent (YOUTA, 1998). Aussi l'échelle d'observation compterait pour beaucoup dans ces analyses. Cette évolution positive est aussi remarquée dans la réserve écologique de Lamto, en Côte d'Ivoire où toutes les expériences de mise en défense des savanes pré-forestières ont conduit à un reboisement, (VUATTOUX, 1970). C'est aussi le cas du marais de Heinsch, au Luxembourg. Le complexe de végétations sur tourbe de cette partie est resté similaire, avec les mêmes groupements végétaux depuis plus de 30 ans (VAN ROSSUM *et al.*, 2012). Sa gestion par les Réserves naturelles-RNOB (Natagora), (HERREMANS 1991; VERTE 2007), a permis la conservation des unités de végétation les plus originales. Seulement, la préservation à long terme de cette flore remarquable dans la partie centrale du marais n'est toutefois pas garantie car, les parcelles de cette partie du marais faisaient l'objet d'une convention (bail emphytéotique) avec les Réserves naturelles-RNOB (Natagora) pour leur gestion, mais celle-ci a pris fin en 2005 et n'a pas été reconduite depuis. Aussi, l'institut français de l'environnement a, pour sa part, livré les principaux résultats d'une enquête sur les tendances d'évolution de 2,4 millions d'hectares entre 1990 et 2000. Les superficies ne régressent plus mais se sont stabilisées. Une étude similaire entre 1960 et 1980, a révélé une tendance contraire, c'est à dire une régression généralisée de ces milieux.

En France, après une enquête sur l'analyse de l'évolution des zones humides entre 2000 et 2010, les experts estiment que 40 % des sites ont un avenir stable ou favorable, 5 % un avenir défavorable, et 48 % un avenir incertain. Pour eux la tendance est plus à la stabilité (CGDD, 2012). L'évolution des zones humides suit globalement la même tendance que sur la décennie 1990-2000 et de ce fait les perspectives d'évolution des zones humides pour la décennie 2010-2020 semblent difficiles à évaluer.

En Afrique en générale et en Côte d'Ivoire en particulier, peu d'études se sont intéressées aux zones humides, entraînant un manque crucial de données sur le sujet. En effet, en Côte d'Ivoire les études portent sur les grands ensembles forestiers en générale, celles portant sur les zones humides sont au stade embryonnaire. Au regard de ces contradictions qui subsistent entre les différentes sources d'estimation, au regard de ces constats locaux de stabilité

ou de progression des milieux humides et au regard de ses absences de données, il se pose un véritable problème sur la tendance et sur le chiffrage exact de la dynamique.

Les sources d'un tel problème peuvent provenir en partie d'une définition du terme zones humides pas toujours unanime. C'est en cela qu'en début de cette revue de littérature un effort a été fait pour éclairer sur le terme et trouver une définition qui rassemble. Les sources d'un tel problème peuvent aussi provenir des légendes souvent restrictives : ou encore de méthodologies d'estimation employées, pas toujours communes ou harmonisées.

### **2.3. Méthodologie utilisée dans l'étude des zones humides**

Trois grands axes d'études se dégagent de la littérature pour l'inventaire et l'étude des zones humides ; ce sont la description de la végétation, la dynamique et la cartographie de l'occupation du sol, et la modélisation des milieux humides.

#### **2.3.1. Description de la végétation par découpage en strate**

Depuis bien longtemps l'étude des zones humides en particulier et du milieu naturel en général a porté sur la description de la végétation. Elle porte sur les unités thématiques et particulièrement, l'organisation spatiale des différents types de végétations a souvent été décrite visuellement. Cette description des peuplements a été faite autour des descripteurs que sont la hauteur, le recouvrement et le stress hydrique de la végétation. Elle est très souvent couplée avec l'inventaire floristique (N'DA, 2007). Ce sont de nombreuses études qui ont pour but de décrire le paysage et d'évaluer la diversité du milieu et de dresser une liste exhaustive de toutes les espèces vivantes dans un milieu bien défini afin de le connaître. Ces études qui étaient menées au départ par les botanistes sont devenues des études pluridisciplinaires (ORSTOM, 1978). De nombreux chercheurs ont mené des recherches du genre. Notamment AKE - ASSI (2001 et 2002) qui a dressé une liste exhaustive de la végétation en Côte d'Ivoire. HAMMADA *et al.* en 2004 a analysé la biodiversité des zones humides du Maroc. Il en a déterminé la flore rare, ou celle qui est menacée et la flore halophile. Des inventaires floristiques et fauniques ont été réalisés. N'DA (2007) a décrit la végétation de forêt et y a dressé une liste des espèces qui s'y trouvent, afin de déterminer la structuration de la végétation et d'évaluer sa richesse floristique. C'est aussi le cas de l'étude de la FAO en 2005, sur les mangroves en Côte d'Ivoire. Elle a établi une liste des différentes espèces floristiques du sud ivoirien. Toutes ces études se

servent, en général, de la technique de la description de la végétation, par strate et des relevés itinérants et des relevés de surfaces.

N'DA (2007) a également utilisé ces techniques pour effectuer des relevés sur 196 parcelles. Il affirme que ces relevés sont un apport à la spatialisation de la flore de sa zone d'étude. Il a relevé des espèces observées au hasard. Puis, dans un second temps, à l'aide des placettes posées au hasard dans les parcelles, toutes les espèces présentes ont été relevées. Il a également noté, les diamètres à hauteur de poitrine (dbh), En 2011, SAKO en a fait de même dans ses travaux sur les îles Ehotilé, en Côte d'Ivoire. Sa description des peuplements a été faite autour des descripteurs que sont la hauteur, le recouvrement et le stress hydrique de la végétation.

Le constat fait des résultats d'inventaire est que tous les inventaires présentent trois (3) catégories d'espèces que sont les espèces spécifiques et représentatives de la zone, les espèces protégées, rares et/ou menacées et les espèces nouvelles qui sont en générale introduite dans le milieu du fait des actions des espèces anthropiques. Mais, l'état des connaissances sur l'existence des espèces et sur les niveaux de conservation de leurs populations est très incomplet. Les sources d'information disponibles permettent cependant d'inventorier un certain nombre d'espèces menacées et de donner un aperçu succinct de la richesse et de la vulnérabilité de la diversité biologique (OATES, 1986 ; UICN, 1990 et MARTIN, 1991). Pour pouvoir protéger efficacement les zones humides, il est nécessaire de les inventorier, afin de les intégrer aux documents d'urbanisme. En effet, l'inventaire permet de mieux connaître la localisation, le fonctionnement, le rôle et les caractéristiques des zones humides. L'ensemble de ces caractéristiques donne aux zones humides un caractère naturel fort, un rôle à la fois socio-économique et écologique évident.

De nombreux chercheurs ont trouvé des limites à ces techniques. Elles ne permettent pas toujours une très bonne description du milieu et les listes de relevé ne sont pas exhaustives. Aussi, ce sont des techniques de description et de relevé difficile à appliquer dans tous les types de milieux, notamment les zones humides, qui sont difficiles d'accès pour leurs marécages et zones inondées. Elle donne la description du milieu mais pas son extension, et elle ne peut le quantifier.

## **2.3.2. Cartographie d'occupation du sol et dynamique des zones humides**

### **2.3.2.1. La télédétection**

Depuis les années 70, tous les milieux ont subi d'énormes transformations dues au climat ou aux actions humaines en Côte d'Ivoire (OSWALD, 2005). A partir de cette période, le besoin de cartographier l'occupation et l'utilisation des sols et connaître l'étendue des différents milieux s'est fait sentir, afin d'appréhender leur évolution. Par ailleurs, la complexité des facteurs en jeu dans ce milieu aidant, les méthodes traditionnelles de cartographie très contraignantes, utilisant les boussoles laisse place à de nouvelles techniques dont la première est la photo - interprétation pour la cartographie de l'occupation du sol. Dans notre recherche documentaire, peu d'écrits ont porté sur la cartographie des zones humides dans les années 70. Ce n'est qu'à partir de ces dernières décennies qu'un point d'honneur a été mis en Afrique en général et en Côte d'Ivoire en particulier, sur l'importance de la conservation des milieux humide. Ce qui a suscité un engouement pour les chercheurs. Mais, les limites des méthodes de photo-interprétation pour la production d'une donnée d'occupation des sols à grande échelle et sur des territoires étendus sont bien connues: délais de traitement, hétérogénéité de l'interprétation, capacité de mise à jour décennales qui les rend peu opérationnelles dans un contexte de suivi à court terme (LE BERRE et *al.*, 2005). C'est ainsi que la télédétection est entrée en ligne de compte.

La télédétection est un outil de cartographie et de suivi du milieu. Elle permet une observation homogène, exhaustive, répéter et sans interférence de l'ensemble d'un système écologique à une échelle donnée (KONAN, 2007 et AKADJE, 2005). Elle est à la base de nombreuses thèses (KOLI BI, 1990 ; OSWALD, 2004 ; N'DA, HAUHOUOT et *al.* ,2011 ; AKADJE 2009...). Elle est aussi utilisée par de nombreuses structures telles que le BNETD, le CCT, le CNTIG la SODEFOR, le CURAT, l'IGT en Côte d'Ivoire qui ont recourent à l'imagerie satellite pour la réalisation de travaux d'inventaire ou d'appréciation des changements, pour des cartographies thématiques, dans le cadre de projet de développement, d'aménagement...Elle s'avère particulièrement utiles pour les études de ces écosystèmes difficilement pénétrables. Appliquée aux zones humides, les études de télédétection prennent en compte différents types de capteur et des méthodes variées. Outre les photographies aériennes la télédétection utilise différents types de capteurs. Ainsi ROBIN *et al.* en 2010 ont cartographié la mangrove du delta de la Mahajamba dans le nord de Madagascar à l'aide d'image SPOT5 de 2.5, et 10m de résolution. Les chercheurs ont, pour la première fois,

cartographié les zones humides et leur dynamique temporelle à l'échelle du globe, entre 1993 et 2007, en combinant et analysant simultanément un très grand nombre d'observations issues de satellites (COURT, 2012)

OSZWALD (2004) s'est servi des images satellite SPOT HRV, imagerie de haute résolution (20m). Le recours aux images LANDSAT lui a permis d'accéder à une information radiométrique plus large, facilitant la discrimination de la végétation et l'extension de la période d'analyse par rapport aux images SPOT. A ces données à haute résolution spatiale s'ajoutent les images satellites à basse résolution spatiale (résolution spatiale de 1km) issues du capteur Végétation embarqué sur SPOT 4 qui permet le suivi de la végétation sur une grande étendue. Mais elle est restée inadaptée pour des études à grande échelle. En effet, il note une perte d'informations, pour les parcelles discriminées aux échelles plus (1 km de résolution). Pour DAVRANCHE (2008), le mode multispectral de SPOT 5 avec ses quatre bandes spectrales couvrant le visible et l'infrarouge moyen est un point essentiel pour le monitoring des zones humides. En effet, des études ont montré que des canaux dans le moyen infrarouge sont utiles pour discriminer la végétation et l'humidité des sols et apporter une meilleure discrimination des différents types de zones humides (FGDC, 1992 ; JENSEN *et al.*, 1993).

La résolution des images satellitaires constitue un élément essentiel à la précision cartographique des modifications environnementales. Ainsi, pour le suivi des petites formes éoliennes comme des indicateurs des dynamiques du paysage, VENARD *et al.* (2009) ont eu besoin d'images de Très Haute Résolution spatiale pour leur caractérisation. Le coût élevé de ses images a conduit à explorer le potentiel de la plate-forme Google Earth pour l'exploitation des images qu'elle propose à la visualisation. Pour eux Google Earth apparaît dès lors comme une belle opportunité de mener des recherches, qu'elles soient préliminaires ou au cœur du projet, à moindre coût et avec des résultats satisfaisants. Néanmoins quelques limites sont à retenir sur leur faible résolution et l'impossibilité d'effectuer des études diachroniques, sauf en obtenant par d'autres biais des images plus anciennes la couverture incomplète offerte par Google Earth en images hautes résolution spatiale, limite les possibilités d'étude sur des secteurs précis.

Concernant le traitement d'images satellites, les méthodes varient. Certains travaux sont réalisés à partir d'images brutes (AFFIDEGNON *et al.*, 1998) ; et d'autres à partir de néo canaux dont chaque indice (ACP, NDVI, IP, IB,...) est adapté à une problématique de recherche (BARIOU *et al.*, 1985). C'est ainsi que KWASSI *et al.* (2005) et KOFFI (2012), à l'aide des

images LANDSAT TM et LANDSAT ETM+ pour la cartographie de zones humides. Ils ont utilisé des images LANDSAT de moyenne résolution. Ils ont créé des compositions colorées à l'aide de plusieurs indices dont l'indice d'humidité (celui de Tasseled Cap), indice essentiel dans la cartographie des milieux humides qui a permis de mettre en exergue ces milieux. De nombreux autres auteurs ont utilisé cet indice pour la cartographie des zones humides (KONAN, 2008). Mais SAKO (2011), dans ses travaux sur les îles Ehotilés n'en a pas fait cas.

Pour la cartographie de l'occupation du sol de zone humide, de nombreuses études ont utilisé les méthodes classiques de la télédétection. Traditionnellement, l'estimation du taux de couverture de la végétation à partir de l'imagerie satellitaire se fait soit à l'aide de la classification conventionnelle soit à l'aide d'indices de végétation (CYR *et al.*, 1995 ; BIARD et BARET, 1997; HILL *et al.*, 1998 ; ARSENAULT and BONN, 2001). Les résultats obtenus par ces indices sont souvent entachés d'erreurs en raison de la contamination due à l'atmosphère et aux sols sous-jacents (BANNARI *et al.*, 1999). L'effet de ces derniers domine surtout dans les milieux où la végétation est plus au moins éparse (ELMORE *et al.*, 2000 ; HOSTERT *et al.*, 2003). Par ailleurs, les nouveaux développements des outils de la télédétection constituent un atout pour quantifier et identifier les différentes espèces du couvert végétal (CLARK *et al.*, 1995). Ainsi, la cartographie des espèces végétales a bénéficié de la mise au point de nouvelles approches, les unes basées sur l'intelligence artificielle telles que les réseaux de neurones et les automates cellulaires, les autres basées sur la similarité spectrale, le traitement d'image par la méthode orienté-objet, les systèmes multi-agents qui restent tous rarement usités. Alors que de telles techniques, souvent post-classificatoires, permettent à partir de l'intégration du SIG à la première donnée de classification d'affiner les résultats et de se rapprocher de plus près de la vérité de terrain afin d'obtenir des résultats statistiques sûrs et probants, base d'un chiffrage exact sur les surfaces concernées (ATTA, 2009).

Néanmoins, les études d'ANDRIEU *et al.* (2008), ont utilisé l'une des Procédures de traitement par classification emboîtée séparant les pixels en un nombre de classes suffisamment important pour procéder à l'élaboration de la carte par regroupement de ces classes (ACKERMANN *et al.*, 2007 ; THAMPANYA *et al.*, 2006 ; MOREAU, 2004). Elle a été utilisée en raison de sa souplesse, qui s'avère très utile pour qui ne dispose pas d'une banque de données de terrain issue d'une étude exploratoire car elle permet d'ajuster, pas à pas, les

résultats de la classification à la nomenclature thématique prédéfinie des classifications non dirigées.

Certaines études cartographiques ont porté sur l'approche orientée-objet. Elle passe par la segmentation des images, puis par la classification de l'image segmentée (SYLLA, 2012). SPARFEL *et al.* (2008) ont utilisé la segmentation multi-résolution qui est l'un des algorithmes de la segmentation proposé par le logiciel Definiens. Elle autorise d'une part une analyse multi-échelle de l'image et d'autre part l'utilisation de données de source et de nature diverses (BAATZ et SCHÄPE, 2000). L'objectif de la segmentation multi-résolution est d'approcher au mieux la structuration scalaire de la formation végétale mangrove. Avec des performances le plus souvent supérieures, la démarche orientée-objet offre des avantages considérables sur les classifications classiques pixel à pixel. L'analyse centrée sur l'objet limite pour des images à haute et très haute résolution l'effet «poivre et sel» que l'on peut trouver avec une approche centrée sur le pixel. L'utilisateur est également totalement maître des procédures de classification des objets grâce aux fonctions d'appartenance, contrairement à une classification supervisée basée sur le pixel où le processus de classification est inféodé aux parcelles d'entraînement, et uniquement à celles-ci. Grâce à elle, une nette amélioration de la cartographie de la ressource mangrove devient possible, ainsi que l'affinage de la nomenclature généralement utilisée à un niveau scalaire donné (ROBIN *et al.*, 2010). Mais la procédure de la segmentation est complexe dans la mesure où elle intègre différents niveaux d'analyse hiérarchisés, s'apparente à la photo interprétation. elle implique une connaissance experte des objets et de nombreux tests nécessaires à la détermination des paramètres de segmentation optimaux (SCHIEWE *et al.*, 2001). Globalement, l'approche de classification contextuelle apporte de meilleurs résultats que l'approche pixel basée sur la seule dimension thématique de l'image (RAKOTONIAINA *et al.*, 2010). Selon YAN *et al.* (2006) et ZHOU *et al.* 2008). Avec l'arrivée des images à très haute résolution spatiale, l'utilisation d'une nouvelle approche intégrant cette notion de contexte et appelée par la communauté scientifique « classification orientée-objet», est incontournable pour les futurs traitements de ces types d'images.

Ces méthodes appliquées à des milieux équivalents donnent parfois des résultats différents. Ceci atteste de l'importance du choix des données et des méthodes utilisées pour chaque type d'écosystème (BLASCO *et al.* 1998).

### 2.3.2.2. L'intérêt du Système Informations Géographiques (SIG)

De plus en plus l'évolution des zones humides suscite un intérêt poussé. En effet, même la dégradation du milieu est un fait indéniable, elle reste difficile à cerner avec précision, comme en témoignent les résultats parfois contradictoires des évaluations des pertes en superficies forestières (OZER, 2004). Cette situation souligne d'une part, les difficultés à la fois techniques et économiques à mettre en œuvre un suivi véritable de l'évolution spatio-temporelle de la dégradation environnementale à petite échelle en milieu tropical (HOUNTONDJI, 2008). Et d'autre part, ces lacunes alimentent d'avantage le débat autour de la gravité des processus de perte de la biodiversité en Afrique de l'Ouest (LEPERS *et al.* 2005; ARIORI *et al.*, 2005). Comment et avec quels outils évaluer de manière objective et fiable l'extension du phénomène de dégradation des ressources végétales?

Pour aborder cette préoccupation, la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement tenue à Stockholm en 1972, a suggéré l'utilisation de la télédétection et des SIG comme outils de « suivi global direct ». L'acquisition d'images par les satellites d'observation de la Terre depuis le début des années soixante-dix a amené la communauté internationale à percevoir la télédétection comme une source d'informations renouvelables permettant d'évaluer régulièrement les atteintes aux écosystèmes naturels, parallèlement aux inventaires forestiers effectués par les pays membres de l'Organisation des Nations Unies sur l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Suite à cette conférence, plusieurs projets de cartographie ont été initiés sous l'impulsion d'organismes de coopération et d'appui au développement (FAO, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Union Européenne, etc.).

C'est ainsi que de nombreuses études de dynamique d'occupation et d'utilisation des sols ont été implémentées partout notamment en Afrique et particulièrement en Côte d'Ivoire. Des études se sont faites sur des milieux divers. AKADJE, en 2005, a étudié l'évolution de la végétation dans la réserve écologique de Lamto. OSWALD (2005) lui a étudié la dynamique des formations agro-forestières en Côte d'Ivoire. Ces études permettent de détecter les changements du milieu. L'analyse de ces changements se fait par analyse spatiale, à l'aide d'un SIG. Ainsi, l'analyse de la dynamique d'occupation et d'utilisation des sols contribue à fournir des éléments pertinents pour l'établissement de diagnostics et l'élaboration de perspectives environnementales ; car Il ne s'agit pas de s'en tenir à une description de terrain par respect de la démarche classique de l'écologue ou du forestier, mais plutôt de détecter, suivre et expliquer

l'évolution ou les mutations qui s'opèrent au niveau des biomes étudiés, puis de procéder à leur cartographie afin de faciliter la prise en compte des tendances actuelles pour les projections futures. De la sorte, nous intégrons la télédétection dans le raisonnement et la démarche de l'environnementaliste. Malheureusement, en Côte d'Ivoire les études sur les zones humides sont peu nombreuses et sont ciblées à quelques zones (Ehotilé...). Il faudrait les étendre afin de mener une politique globale de gestion et ou de conservation.

Depuis les dix dernières années, l'étude de l'évolution du paysage est l'apanage de la modélisation et de ses avatars. L'étude des paysages et de leur évolution requiert, avant la modélisation, une analyse géographique et systémique. Mais qu'est-ce que la modélisation.

#### **2.3.2.2.1. Définition de la modélisation**

Un modèle est une représentation simplifiée d'une réalité. Il correspond aussi à un processus mathématique qui représente un phénomène écologique, climatique ... BONITZER (1993) identifie trois points essentiels :

- le modèle est un processus que l'on connaît parfaitement, puisqu'il a été entièrement conçu;
- le modèle est une représentation appauvrie du phénomène étudié ;
- le choix des caractéristiques est sous l'entière responsabilité du concepteur. Il est déterminant et doit faire l'objet d'une étude minutieuse.

La modélisation et l'utilisation des modèles en géographie ou en écologie soulèvent de nombreuses questions depuis ces dernières années. « Certains chercheurs le considèrent comme un outil indispensable qui peut tout expliquer. D'autres y voient des usines à gaz à peine capable de fournir des résultats qui sont déjà connus » (FAVIER, 2003). Le modèle, loin des débats qu'il suscite, est avant tout un instrument qui peut s'avérer très utile dans la compréhension des dynamiques d'un phénomène spatio-temporel. Cet outil doit faire l'objet d'un paramétrage minutieux afin de rendre les résultats exploitables. Sans ce passage obligatoire, un modèle se comporterait comme une boîte qui ingurgite des données et ressort une multitude de résultats, malheureusement inutilisables, car incompréhensibles.

La première fonction du modèle est de schématiser la réalité, de proposer un schéma théorique qui vise à renseigner un processus, des relations existants entre les éléments d'un système. Cette fonction apparaît dès la phase de construction du modèle : quelles variables utiliser pour décrire l'état du système? Quelles lois lient ces variables entre elles? Quels sont

les paramètres à introduire? Le modélisateur doit recueillir les informations des spécialistes et les synthétiser. Il doit comprendre le réel. De plus, l'étude des propriétés du système permet d'analyser les variations des paramètres et leurs conséquences sur l'état du système. Enfin, le modélisateur peut montrer les carences des connaissances actuelles à l'aide d'un paramètre qui est sous-estimé (FAVIER, 2003). Dans cette configuration, le modèle s'avère efficace pour anticiper le comportement à venir du système réel. Dans ce cas, connaissant l'état du système 'aujourd'hui', il est possible de déterminer ce qui se passera à un instant  $t$ . Cette dimension prédictive correspond à la finalité du modèle et lui permet de devenir un outil d'aide à la décision.

Deux facultés sont souvent prêtées aux modèles sans qu'il puisse pour autant les combler. D'abord, un modèle ne dispense pas le chercheur d'une étude de terrain, si elle s'avère nécessaire. Ensuite, le modèle ne peut pas démontrer des hypothèses, il en invalide seulement certaines (JORGENSEN, 1994). Le choix d'un cadre de modélisation et de la forme du modèle doit toujours être fait en fonction du problème considéré. Plusieurs modèles ont été proposés depuis ces dix dernières années pour répondre aux phénomènes de déforestation dans le monde tropical, nous allons essayer de présenter les grands axes explorés par les chercheurs et les principaux modèles utilisés actuellement.

#### **2.3.2.2.2. Les phénomènes de changement d'occupation du sol des milieux au regard de la modélisation**

L'étude des changements des états de surface requière trois niveaux d'approche (SKOLE et *al.*, 1994). D'abord, cela nécessite une estimation du taux, de la localisation, de l'emprise spatiale et de la caractéristique temporelle des processus de changement des états de surface. Ensuite, les études de cas et les analyses de la dynamique des changements de surface effectuées à partir de divers indices statistiques ou spatiaux. Enfin, la dernière approche concerne l'identification des facteurs qui entraînent le changement des états de surface. Ces trois niveaux d'approches vont représenter le cœur de ce chapitre. Il convient donc d'appréhender ces facteurs afin de les confronter ensemble à la réalité du terrain dans le but de mieux comprendre, et donc de mieux analyser les phénomènes de dynamique. Afin de caractériser les processus d'évolution des états de surface, il est indispensable de répondre à trois questions (LAMBIN, 1994) :

- quelles variables environnementales et culturelles permettent d'expliquer le mieux les conversions du milieu humide et quels sont les processus écologiques et socioéconomiques qui contrôlent ces évolutions (pourquoi ?) ;
- quels lieux sont affectés en priorité par les changements des états de surface (où ?) ;
- à quelle vitesse progresse le changement des états de surface (quand ?).

Ce questionnement est pertinent pour des observations directes des changements récents, pour renseigner les modèles de simulation de l'évolution ou pour prévoir les espaces concernés par des risques plus ou moins importants de conversion (Tableau I).

Les recherches menées depuis les trente dernières années ont prouvé que la déforestation et la conversion des états de surface résultent essentiellement de plusieurs facteurs (MYERS, 1989 ; REPETTO, 1990) : la culture et les coupes, les schémas de reclassement du gouvernement, la production de bois de chauffage et de charbon de bois, la conversion des espaces naturels pour l'habitat, les opérations commerciales inefficaces, les matériaux de fournitures pour les infrastructures. La dégradation des milieux n'est pas due à une situation géographique ou historique spécifique, il n'y a pas de cause unique à la déforestation. Elle résulte de l'interaction d'une chaîne de causes qui intervient à différents niveaux d'organisation. BLAIKIE et BROOKFIELD (1987) en ont développé une analyse écologique régionale.

**TABLEAU II : Recherche de scénarii pour renseigner les changements de processus de surface et méthodologie à appliquer**

<b>Application</b>	<b>Ce qui est déjà connu</b>	<b>Ce que l'on doit connaître</b>	<b>Méthodologies générales</b>	<b>Exemples d'outils</b>
<b>Etude des impacts du climat</b>	Aucun	Quand et Où?	Techniques de surveillance	Images satellites
<b>Projection future des interactions Terre/Atmosphère</b>	Quand?	Quand?	Analyse des séries temporelles	Chaines de Markov
<b>Identification des forces d'entraînement</b>	Où et quand?	Pourquoi?	Modélisation statistique multivariée	Modèles de régression multiples
<b>Conservation de l'habitat</b>	Où et quand?	où?	Modèle spatiaux empiriques	Modèle spatiaux statistiques (SIG)
<b>Disponibilité en bois</b>	Où et quand et pourquoi?	Quand?	Modélisation de l'écosystème	Modèle dynamique de simulation
<b>Plan national de l'utilisation du sol</b>	Où et quand et pourquoi?	Quand et Où?	Modélisation de l'écosystème	Modèle dynamique spatiale
<b>Interventions politiques</b>	Où et quand et pourquoi?	Pourquoi?	Modélisation économique	Modèle de Von Thünen-like

*Source: LAMBLIN, 1997*

Ces auteurs ont montré qu'elle est imputable à une variété de circonstances aux interactions très complexes, il n'y a pas de théorie simple pour l'expliquer et la comprendre. Leur approche tend à expliquer que l'action de la déforestation est la résultante d'un à un ensemble dynamique entre l'Environnement et l'Homme qui inclut les conditions d'accès aux ressources et les perceptions environnementales. Les impacts écologiques et socio-économiques sont variés. Les effets écologiques sont particulièrement remarquables sur les processus physiques et écologiques. Les défrichements peuvent entraîner le dérèglement des régimes hydrologiques et l'érosion des sols, la perte des nutriments et l'apport important de sédiments dans les systèmes hydrologiques.

De plus, le climat local et global est altéré, notamment à cause de l'évolution de l'albédo et des bilans d'énergies sur les surfaces continentales. Enfin, la diversité et l'abondance d'espèces terrestres sont bouleversées à cause de la destruction et de la fragmentation de leur habitat. Ces conversions interviennent également sur le développement économique. Elles affectent directement les populations locales et le développement régional. L'épuisement des ressources a des conséquences importantes sur la quantité de bois de chauffage disponible pour les familles, sur la demande commerciale du bois de production et sur les autres utilisations possibles des parcelles en forêts continentales et plus en zone humide.

Dans les recherches actuelles, la tendance montre que la surveillance du milieu et de sa dynamique s'effectue à partir de collections de données qui sont ensuite analysées et interprétées. Dans cette optique, les techniques satellitaires et les Systèmes d'Informations Géographiques sont couramment développés et utilisés pour observer la dynamique des milieux. Toutefois, cette analyse se révèle souvent insuffisante, il faut pouvoir modéliser la dégradation des milieux notamment celle des zones humides pour comprendre les liens entre les systèmes anthropiques qui causent cette dégradation et les systèmes physiques qui sont affectés par cette dégradation. Le développement de modèles de dynamiques est motivé par trois bénéfices potentiels : cela peut contribuer à une meilleure compréhension des causes et des mécanismes de la dynamique, générer des prédictions futures des changements qui peuvent conduire à des décisions politiques en vue de répondre à ces évolutions.

Un modèle est construit essentiellement pour mieux cerner les problèmes théoriques, il n'est pas conçu pour dupliquer tous les détails de la situation réelle (CASWELL, 1988). Par exemple, un modèle de l'écologie du paysage va privilégier la description spatiale du paysage à différents niveaux, la prédiction de l'évolution temporelle du paysage et la prise en compte

des échelles spatio-temporelles. Mais il n'a pas pour but de reproduire la situation réelle, il cherche seulement à mieux cerner le phénomène en simulant des possibilités d'évolution. Le premier objectif d'un modèle de dynamique est de contribuer à une meilleure compréhension des facteurs favorisant par exemple la dynamique paysagère. Un modèle peut être conçu pour intégrer plusieurs catégories de processus : un défrichement des parcelles pour une mise en culture temporaire ou permanente ; une coupe à blanc associée à la construction de routes ou d'habitats.

La zone concernée et la rapidité de la dégradation des états de surface résultent de décisions humaines qui ne peuvent être modélisées sur des bases théoriques. En plus, une autre source de difficulté vient de la complexité qui caractérise les interactions entre les facteurs environnementaux et humains. Ces interactions sont très difficiles à reproduire parce que la nature des processus dans les systèmes écologiques et anthropiques est intrinsèquement différente. De plus, en modélisation, les interactions entre les échelles locales, régionales et globales sont indissociables. Beaucoup de processus interagissent à des échelles spatiotemporelles différentes tout en influençant la dégradation de couverts végétaux (TURNER *et al.* 1993).

On peut considérer qu'il existe trois types de modèles génériques pour représenter les processus d'évolution de paysages : empiriques, théoriques et systémiques (LAMBIN, 1994). Les modèles empiriques reproduisent les interactions observées entre plusieurs variables. Les modèles théoriques sont établis sur la connaissance des processus par lesquels un système fonctionne (ELSTON et BUCKLAND, 1993). Les processus sont modélisés par des lois scientifiques décrites par des équations simples. Les paramètres de ces équations sont estimés à partir des données sources. Enfin, les systèmes modélisant sont des descriptions mathématiques très complexes des interactions entre les différents processus influençant la dynamique. Afin de modéliser l'évolution des états de surface, deux approches peuvent être privilégiées : l'analyse de séries temporelles ou la conception de modèles explicatifs. Les techniques qui permettent l'analyse multi-variée des séries temporelles ont été développées récemment. Elles ont été utilisées par BARIMA *et al.* (2010) pour simuler l'évolution de l'occupation du sol de 1986 à l'horizon 2050. Les tendances obtenues suite à la simulation à partir de la chaîne de Markov de premier ordre, révèle une augmentation des superficies forestières dans le nord de la région d'étude aux dépens des autres catégories d'occupation du

sol. Ce résultat confirme ceux obtenus dans des zones similaires par HAPPI et BONVALLOT (2000) au centre du Cameroun et par GOETZE et *al.* (2006) au nord de la Côte d'Ivoire.

Les modèles explicatifs sont des simulations qui permettent de prévoir notamment les effets des variables socio-économiques sur les changements d'état de surface, mais ils sont également applicables pour des variables d'origine différentes. Cette méthode comprend trois phases selon ATTA qui l'a utilisé dans ses travaux sur les forêts classées de Béki et Bossematié pour modéliser la déforestation dans ces forêts classées : l'élaboration des plans d'information du SIG pour la compréhension des mécanismes de déforestation, la phase d'estimation de l'influence de chaque facteur sur le taux de régression, et la phase de la modélisation proprement dite. KONAN (2008) a utilisé les modèles explicatifs pour étudier les risques de dégradation dans la forêt classée d'Azagny. C'est la première modélisation du genre sur Azagny. Le modèle de risque de dégradation de la couverture végétale décrit partiellement les mécanismes de cette dégradation en montrant comment les facteurs comme les densités de population, le nombre de localités, les surfaces agricoles et les pratiques des populations dans le parc contrôlent les schémas de dégradation de la diversité végétale sans en être la cause originelle. Ces critères permettent d'estimer directement l'impact de la pression humaine sur la végétation du parc. Ce modèle se fonde sur la corrélation entre les risques de dégradation et les variables explicatives (densité de population, la proximité des surfaces agricoles et les actions humaines). Cependant la corrélation ne signifie pas qu'il y a une relation de cause à effet et ne permet pas non plus de déterminer que telle variable est la cause. Il existe donc une certaine subjectivité à interpréter les résultats à l'analyse statistique. Par exemple, alors qu'ALLEN et BARNES (1985) attribuent la déforestation à l'accroissement de la population, ANDERSON (1986) considère cette croissance comme un élément d'un système à effets rétroactifs, où elle est plutôt la conséquence de la pauvreté et de la dégradation de l'environnement. Dans un modèle géographique, la prédiction concerne la localisation des surfaces risquant d'être dégradées et l'estimation des futurs taux de dégradation. Les cartes de risque de pénétration dans le parc et de dégradation de la diversité végétale, présentent une bonne concordance avec les secteurs qui contrôlent la pression humaine. Mais le modèle n'est pas conçu pour prévoir les taux de dégradation dans le futur. Car il est difficile de prévoir les taux de dégradation à une échelle locale à cause de l'hétérogénéité du phénomène. Par contre, une telle prévision pour des régions plus vastes semble réalisable.

Les systèmes d'information géographique se présentent donc comme l'outil idéal de modélisation en géographie. Ils permettent l'analyse de toutes sortes de caractères géographiques comme les images-satellite, les données cartographiques, les informations statistiques ou de terrain. Ils favorisent donc l'analyse des relations spatiales entre les surfaces dégradées et les données socio-économiques. De nombreuses études ont déjà été entreprises (ATTA, 2009 ; OSWALD, 2004 ; SKOLE, 1994 et N'DA, 2007 Op. cit.). Elles ont montré le rôle des facteurs comme les voies de communication, la densité de population, la pente ou la qualité des sols dans le processus de dégradation de la couverture végétale. Ces études ont été réalisées pour la plupart dans les grandes zones forestières ivoiriennes et se font rares dans le sud de la Côte d'Ivoire.

La modélisation des données qui peuvent influencer la présence ou l'absence d'une population à un endroit par rapport à un autre est complexe. Dans ce genre de problématique, on est souvent confronté à des situations d'ordre décisionnel de nature multicritère (BENSAID, 2007). C'est ainsi, que l'Analyse Multicritères (AMC) doit son émergence à la nécessité de disposer d'une aide pour trouver, de façon plus transparente, des compromis dans une situation de choix complexe. VINCKE (1989) a ainsi défini l'aide multicritère de la façon suivante : « L'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte ». BENSAID (2007) a utilisé l'AMC basée sur la méthode linéaire pondérée, en utilisant quatre critères (proximité du réseau routier, pente, proximité d'une aire classée et proximité d'une ressource en eau). Il note que la robustesse et la fiabilité de cette méthode d'AMC reposent sur la précision des critères pris en compte, lors de la modélisation ainsi que sur leur pondération. La moindre sous-estimation dans la pondération d'un facteur de grande importance peut être fatale à la qualité du résultat espéré. Cette méthode reste valable pour la mise en œuvre des spatio-cartes pour la modélisation des données socio-économiques. C'est dans ce cadre que N'DA (2007) grâce aux SIG a modélisé la dynamique forestière et élaboré la carte de vulnérabilité du parc national de la Marahoué. Il note à la fin de ses travaux que la pression anthropique a été l'indicateur le plus important dans la détermination des niveaux de vulnérabilité des forêts. En effet, 94% des classes des forêts dites vulnérables coïncident avec celles subissant des pressions anthropiques fortes.

OSWALD (2005) a utilisé l'une des Deux tendances suivies pour modéliser les phénomènes de défrichement fondée sur une modélisation spatiale, souvent à partir d'un SIG

(BROU et *al.*, 2005). L'utilité de cette analyse est qu'elle permet d'accéder à une analyse chiffrée de l'évolution des états de surface. De plus, la spatialisation des données et des résultats permet d'obtenir une analyse cartographique et donc d'estimer l'empreinte spatiale des différentes variables sur un territoire. L'analyse spatiale s'effectue d'abord en déterminant les variables qui peuvent engendrer et/ou faciliter les phénomènes de défrichement. Ces variables sont ensuite spatialisées, dans un espace géoréférencé, afin de rendre les différentes couches d'information superposables. L'impact de chaque variable dans les défrichements ou dans la dynamique des unités de paysage est ensuite mesuré à l'aide de distances préétablies à partir de buffers ou 'seuil spatial' qui consiste à déterminer une zone à distance fixe autour d'entités spatiales (zones de protection, zones d'influence...). Cet espace est circulaire autour des points isolés, elle forme un corridor autour d'une ligne, et une zone tampon autour d'un polygone.

Les possibilités offertes par les images satellitaires à haute résolution temporelle permettront à l'avenir, par couplage avec les données démographiques et climatiques, de faire un suivi en temps réel des risques de disparition des milieux naturels (YAO et al, 2005). Toutefois, la réalisation d'étude sur la modélisation se heurte encore à des difficultés majeures parmi lesquelles le faible accès aux données démographiques, contemporaines aux images (un recensement tous les 10 ans) et la qualité des images de télédétection, surtout dans les régions côtières à cause de la nébulosité persistante.

### **CONCLUSION PARTIELLE**

La situation des zones humides a fait l'objet de nombreux écrits. Quelques travaux ont mis en exergue l'inventaire floristique des zones humides dans le sud-est ivoirien sans pour autant en dresser une liste exhaustives. Il faut aussi noter que les travaux sur la dynamique sont peu nombreux pour entamer une bonne gestion de ces milieux, en Côte d'Ivoire, Aussi, aucun projet de modélisation n'a été entrepris dans la zone du sud-est de la Côte d'Ivoire. Alors que l'utilisation de modèle serait un bon moyen d'appréhender l'évolution de ces milieux. Face à un tel milieu pourvu de richesses, l'action humaine se fait plus pressante, dans un but de recherche du bien-être, menaçant donc, à moyen et long terme, la survie de cette zone. Mais, quelle méthodologie mettre en place pour étudier ces pressions?

DEUXIEME PARTIE :  
**MATERIEL ET METHODES**

### **CHAPITRE 3 : MATERIEL**

Pour étudier les transformations des milieux naturels de Grand-Bassam, plusieurs types de données sont utilisés. Il s'agit des données socio-économiques, d'occupation du sol et de télédétection.

Les données sont essentiellement choisies en fonction de leur pertinence dans la compréhension du sujet. Ainsi, la collecte des données vise plusieurs objectifs qui déterminent les démarches utilisées.

#### **3.1. Les différentes images satellites**

Les types d'images utilisés et leur choix sont essentiellement guidés par leur disponibilité et leur pertinence pour l'étude. Il est important d'utiliser la plupart des données spatiales susceptibles d'apporter un éclairage à la compréhension des interactions dynamiques entre les activités anthropiques et le couvert végétal.

Le programme satellite LANDSAT, géré par la NASA et l'USGS collecte et archive des images de la surface de la terre depuis plus de 35 ans. Cette base de données unique offre une opportunité inégale d'identification et de documentation sur les changements environnementaux à travers la planète.

Dans le cadre de ce travail, toutes les données utilisées sont issues de capteurs LANDSAT. La zone d'étude tenant en une seule scène, la scène 195-056, trois dates ont été choisies afin de mener à bien les travaux et atteindre les objectifs.

- Les images LANDSAT de 1986 et 2000

Elles ont été acquises en pleine saison sèche, période de différenciation maximale des éléments d'occupation du sol. La plus ancienne des images a été prise le 18 janvier 1986 aux environs de 9h55minutes (mn), avec le capteur TM du satellite LANDSAT 5 (TABLEAU III). La seconde image, est une prise du satellite LANDSAT 7 avec le capteur ETM+, à la date du 2 février 2000. Avec une résolution de 28,5m, l'image de 2000 a une couverture nuageuse de 0% alors que celle de 1986 est à 10% (Figure 3).

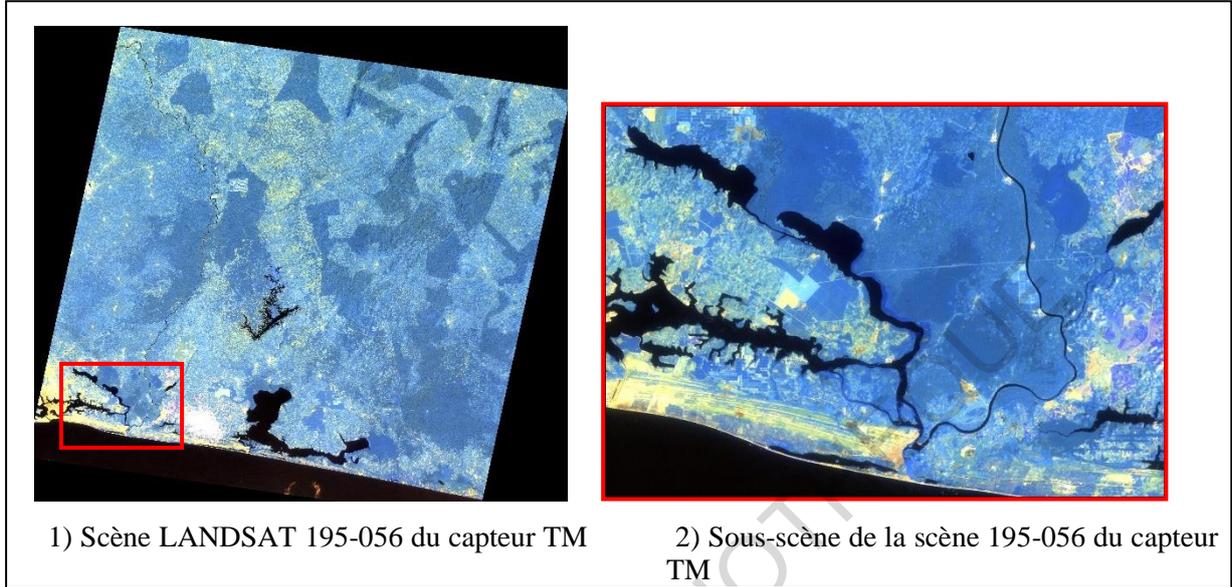


Figure 3: Image brute et image de la zone d'étude en 1986

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

**TABEAU III : Caractéristiques des données satellites utilisées**

Type d'images et capteur	Date de prise de vue	Bandes spectrales (µm)	Domaine spectral	Résolution spatiale	Combinaisons retenues	
LANDSAT 5 TM	18/01/1986	0,45-0,51	Visible (bleu)	TM1	30 m x 30 m	TM4-TM5-TM7
		0,52-0,6	Visible (vert)	TM2	30 m x 30 m	
		0,63-0,69	Visible (Rouge)	TM3	30 m x 30 m	
		0,76-0,9	Proche infra rouge	TM4	30 m x 30 m	
		1,55-1,75	Moyen Infra rouge	TM5	30 m x 30 m	
		10,4 - 12,5	Infra Rouge thermique	TM6	120 m x 120 m	
		2,08-2,35	Infra Rouge Lointain	TM7	30 m x 30 m	
LANDSAT-7 ETM+	02/02/2000	0,45-0,51	Visible (bleu)	ETM1	30 m x 30 m	TM4-TM5-TM7
		0,52-0,61	Visible (vert)	ETM2	30 m x 30 m	
		0,63-0,69	Visible (Rouge)	ETM3	30 m x 30 m	
		0,78-0,9	Proche infra rouge	ETM4	30 m x 30 m	
		1,55-1,75	Moyen Infra rouge	ETM5	30 m x 30 m	
		10,4 - 12,5	Infra Rouge thermique	ETM6	60 m x 60 m	
		2,09-2,35	Infra Rouge Lointain	ETM7	30 m x 30 m	
		0,52 - 0,90	Panchromatique	ETM8	15m x 15 m	
LANDSAT 8 OLI	05/06/2013	0,433_0,453	Aérosol		30 m x 30 m	OLI4-OLI5-OLI7
		0,45-0,515	bleu		30 m x 30 m	
		0,525-0,6	Visible (vert)		30 m x 30 m	
		0,63-0,68	Visible (Rouge)		30 m x 30 m	
		0,845-0,885	Proche infra rouge1		30 m x 30 m	
		1,56-1,66	Moyen Infra rouge2		30 m x 30 m	
		1,36-1,39	Moyen Infra rouge		30 m x 30 m	
		2,1-2,3	Panchromatique		15m x 15m	
		0,5- 0,68	Cirrus		30 m x 30m	
		10,30-11,3	Infra Rouge moyen		100 m x 100m	
11,3-12,5	Infra Rouge moyen		100 m x 100m			

- L'image LANDSAT de 2013

Cette image de télédétection a été prise le 5 juin 2013, par le satellite LANDSAT 8. Sa résolution spatiale est de 30 mètres. Le taux de couverture nuage de 35.8% n'altère en rien la visibilité au niveau de notre zone d'étude, vu que la majeure partie des nuages se situe au-dessus de notre zone RAMSAR ; il n'est pas un problème majeur pour la discrimination des éléments au sol.

### **3.1.1. Choix des images satellites**

Le choix premier de l'utilisation de ces images pour nos travaux est d'abord la gratuité de ces données. Elles ont été fournies par le site de téléchargement « <http://earthexplorer.usgs.gov/> » à titre gracieux. Le choix des images satellitaires est guidé par les objectifs recherchés et les analyses cartographiques utiles à la production de résultats pertinents. Dans cette étude, il s'est avéré important d'utiliser la plupart des données spatiales susceptibles d'apporter un éclairage à la compréhension des interactions dynamiques entre les activités anthropiques et le couvert végétal.

L'exploitation de ces diverses données issues de la télédétection spatiale vise à évaluer l'évolution des transformations paysagères et les impacts des pressions anthropiques. En effet, les caractéristiques spatiales et spectrales des images LANDSAT offrent de nombreux avantages pour mesurer les ressources naturelles disponibles et les évolutions surfaciques des milieux (ATTA, 2009). La répétitivité et l'étendue des surfaces couvertes et le nombre de bandes se prêtent facilement aux analyses radiométriques et visuelles.

LANDSAT offre une série de données à diverses dates. En effet pour cette étude de dynamique, il était important de bénéficier d'une image très ancienne qui révèle l'état premier de la zone RAMSAR de GB, d'où l'utilisation de l'image LANDSAT de 1986. Celle de 2000 constitue l'étape de transformation intermédiaire de cette zone. L'image LANDSAT de 2013 plus récente, permet d'analyser les mutations récentes. Aussi dans cette zone, aucune étude n'a porté au-delà de l'année 2005. Cette image est donc bienvenue pour étudier des transformations dans la région au-delà de 2005.

### **3.1.2. Des résolutions spatiales adaptées aux études à petite et moyenne échelle**

La résolution spatiale des images satellitaires constitue un élément essentiel à la précision cartographique des modifications environnementales, que nous escomptons

représenter. Concernant la résolution spatiale, les images LANDSAT qui ont 180 km de long sur 180 km de large sont plus grandes. De surcroît, la résolution spectrale est distinguée par une diversité de bande dans le visible pour le satellite LANDSAT. Les canaux ETM+1 et ETM+7 facilitent la détection de certains types d'occupation du sol radiométriquement similaire dans le visible et le proche infrarouge.

### **3.1.3. Que dire de la qualité des images ?**

La scène 195-056 de LANDSAT 5 issu de l'instrument Thematic Mapper comporte 7 canaux. Les 6 bandes numériques TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 et TM7 offrent toutes en mode multispectral, une résolution spatiale de 30 m. Le canal 6 lui présente une résolution spatiale de 120m.

La scène 195-056 LANDSAT 7 de 2000 a été prise aux environs de 17h17mn. Les 6 bandes ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5 et ETM7 présentent une résolution spatiale de 30m ; tandis que les canaux ETM6 thermique et ETM8, bande panchromatique présentent respectivement des résolutions spatiales de 60 et 15 mètres.

La scène 195-056 LANDSAT 8 de 2013 a été prise aux environs de 10h30mn. Elle offre une bande panchromatique à 15 m de résolution, 8 bandes multispectrales à 30 m et 2 bandes thermiques à 100 m de résolution.

De manière générale, les trois scènes LANDSAT retenues pour notre étude ont été livrées chacune sous format numérique GEOTIFF. Elles sont de niveau 8, ce qui suppose qu'un certain nombre de travaux radiométriques et géométriques ont été préalablement effectués. Au niveau géométrique, par exemple, le niveau 8 implique que des corrections bidimensionnelles ont été réalisées sur les images en utilisant le model de navigation du satellite (ATTA, 2009). Les différentes scènes ont été redressées dans le Mercator Transverse Universel (UTM), à partir du référentiel ellipsoïdal WGS 84, zone 30N. Il s'agit de produits géocodés, approximativement superposables les uns aux autres.

Il est important d'évoquer l'état du couvrir nuageux des images. Individuellement, les scènes de 1986 et 2000 ne montrent à priori, aucune couverture de nuage. Ce qui témoigne du taux de couverture qui est de 0 et 10%. Néanmoins, cette absence de couverture nuageuse sur ces scènes ne suffit pas à déterminer la qualité radiométrique des images. D'autres paramètres tels que la présence de brume par endroit, peuvent affecter la qualité de l'image. Ces affectations brumeuses sont bien prononcées sur la scène prise par le capteur TM, c'est-à-dire sur l'image

de 1986. Sur l'image de 2013, la couverture nuageuse est très prononcée (35%), les nuages, bien constitués, laissent de grosses taches blanches sur toute l'image ; mais au niveau de notre zone d'étude la présence de nuages est moindre. En effet, cette image a été prise en plein dans la saison de pluies. Malheureusement aucune autre image de cette année n'était disponible. Ces affectations brumeuses sont expliquées par le fait que plus l'on tend vers des espaces à forte concentration forestière et pluviométrique les images sont affectées par plus de bruit (OSWALD, 2005 ; ATTA, 2009). Il a été démontré à l'échelle de la Côte d'Ivoire par exemple, que les images satellites de la zone sont faiblement influencées par les effets atmosphériques. A partir de la zone de contact forêt savane jusque dans le sud du pays, c'est tout à fait le contraire (ELDIN, 1971 ; BIGOT, 2004). Avec l'analyse individuelle des bandes ces nuages et brumes sont bien mis en exergue.

- Les trois canaux du visible 1-2-3 pour les trois dates sont tous affectés par des influences atmosphériques très prononcées. Il s'agit d'un flou qui drapé l'image et ne permet pas de discriminer les informations sur les images pour les deux premières images. De grosses rayures, horizontales sur les bandes TM ou verticales sur les bandes ETM, sont aussi perceptibles. Sur celles de 2013, il apparaît de grosses masses de nuage qui entraînent des discontinuités de l'information, rendant l'image partiellement utilisable.

- Les canaux proche infrarouge (bande 4), infra-rouge moyen (bande 5 et 7) et thermique (bande 6) sont moins sensibles aux influences atmosphériques pour les images de 1986 et 2008. Ils sont donc plus facilement utilisables.

#### **3.1.4. Choix des bandes**

Les données images dans leur ensemble ont un certain nombre de limites qui affectent la qualité de l'image et qui restreint leur utilisation. De nombreux travaux se sont penchés sur cette problématique, notamment ceux de ROBIN (1995), BONN et ROCHON (1996). Il en ressort que les effets radiométriques, atmosphériques et radiométriques sont les éléments qui affectent la qualité des images en général.

Confrontés, aux limites en matière de qualité des images, les trois bandes du visible ainsi que les bandes thermiques seront abandonnées. Seules les bandes du proche infrarouge (4) et de l'infrarouge moyen (5 et 7) sensible à la biomasse et la quantité d'eau contenue dans

les plantes et qui facilitent la détection de certains types d'occupation du sol radiométriquement similaire dans le visible et le proche infrarouge seront retenues.

Néanmoins, si les bandes 4,5 et 7 présentent une bonne discrimination de l'image en 2013, il est impératif de réaliser une correction atmosphérique et masquer les zones de nuage et les ombres portées, avant toute classification pour ne pas influencer les résultats de la classification.

### **3.1.5. Les images de Google Earth**

Les images de Google Earth constituent un complément d'informations importantes, tant pour la constitution des parcelles d'entraînement plus récentes, que pour les analyses surfaciques plus anciennes, notamment pour la cartographie de l'évolution spatio-temporelle du paysage. Ces données anciennes présentent un intérêt pour la compréhension des dynamiques d'occupation du sol et de la végétation dans les différentes zones humides. En effet, ces images sont utilisées pour dresser la carte d'occupation du sol de notre site RAMSAR et ses environs en 2000 et 2013.

Elles constituent aussi des vérités terrain, pour les zones masquées, en permettant l'amélioration de la classification dans ces zones. Ce sont des images Astrium et celle de Digital Globe qui ont été utilisées à cet effet.

## **3.2. Les supports cartographiques**

### **3.2.1. Les cartes sur support en papier**

D'anciennes cartes sous format papier sont utilisées pour interpréter certaines classes et leur évolution surfacique. Il s'agit des cartes de végétation littorale à l'échelle 1/200 000 éditée en 2007 par le CCT, ainsi que la carte du bilan d'occupation du sol à l'échelle 1/200000 établie par la même structure en 1994. Elles sont utilisées pour améliorer l'identification des unités de paysage présentes sur les images satellites. La carte de la zone RAMSAR et ses environs fait partie de notre inventaire. Grâce à elle, les limites de la zone écologique sont perçues. Elle a été éditée en 2005 par le CCT et adapté par le comité RAMSAR de Côte d'Ivoire.

### **3.2.2. Les cartes numériques**

Nous avons en notre possession deux cartes numériques de l'occupation du sol datant de 1986 et de 2000 sur une partie de zone d'étude, réalisée par HAUHOUOT et al, en 2011. Une base de données numérique, mise à notre disposition, comprend des couches vectorielles en format Shapefile qui recense les habitats groupés et dispersés, les voies de communications qui désenclavent ces nombreuses agglomérations, le réseau hydrographique ainsi que le découpage administratif de notre zone d'étude.

### **3.3. La zone RAMSAR et ses environs**

Il s'agit de données socio-économiques obtenues pour la plupart à partir d'enquêtes effectuées sur le terrain, auprès des exploitants agricoles, sur leurs activités d'exploitation des ressources naturelles. Aussi, de nombreuses mesures ont été relevées sur le terrain afin de traiter les données images.

### **3.4. Le matériel de terrain**

Etudier la dynamique de l'occupation du sol à partir de donnée de télédétection exige un certain nombre de matériel de terrain.

Le matériel nécessaire pour mener à bien les visites de terrain est constitué de :

- Un appareil photographique pour les prises de vues
- Un appareil GPS (Global System Position) pour l'enregistrement des coordonnées des parcelles, des villages et pour s'orienter et retrouver les régions d'intérêt des classifications.
- Des fiches d'enquête pour enregistrer les informations recueillies auprès des paysans.

### **3.5. Les logiciels de traitement des données**

Plusieurs logiciels ont été utilisés pour manipuler toutes les données de l'étude.

- ENVI 4.8 est un logiciel de traitement d'image satellite. Il a été utilisé pour le prétraitement et le traitement des images satellites.

- ArcGIS 10.2 est un logiciel de SIG, qui a permis de structurer, gérer, traiter l'ensemble des bases de données. Son extension Spatial Analyst a été très utile dans l'étude de la dynamique d'occupation du sol. Il été à la base du rendu cartographique.

- IDRISI Selva est un logiciel de traitement d'images. Il permet de faire des simulations d'occupation du sol.

- Tous les tableaux de données et les traitements statistiques ont été effectués et mis en forme sous Excel.

A l'aide de ces logiciels, toutes les données utilisées, dans notre travail, ont été analysées, selon une méthodologie et des techniques spécifiques afin d'aboutir ou non aux objectifs fixés au début de cette étude.

### **CONCLUSION PARTIELLE**

Plusieurs matériels sont utiles dans cette étude, pour sa bonne réalisation ; notamment des images satellites LANDSAT de 1986, 2000 et 2013 pour relever ou extraire des données d'occupation du sol à l'aide de GPS ou des logiciels de traitement d'image ou de SIG. Ces matériels sont utilisés selon des procédures claires.

## **CHAPITRE 4: METHODOLOGIE**

Cette partie vise à présenter la méthodologie mise en place afin d'atteindre les objectifs fixés. Elle regroupe les étapes de collecte, de traitement et d'exploitation des données. Cette méthodologie suit des étapes qui sont orientées en fonction des objectifs de recherche.

### **4.1. Cartographie de l'occupation du sol à différentes dates**

#### **4.1.1. Amélioration de la perception des objets sur les images satellites**

C'est le prétraitement d'images. Il se résume en un ensemble d'opérations, qui a pour objectif d'augmenter la lisibilité des données. Il facilite leur interprétation en vue d'une meilleure extraction de l'information. Ce prétraitement se résume à la correction radiométrique et à la correction géométrique des images (BONN et ROCHON, 1992 et KANGAH, 2006).

##### **4.1.1.1 Correction géométrique des images**

La correction géométrique ou le géoréférencement consiste à corriger la géométrie d'une image pour la rendre superposable à un document de référence. Le géoréférencement permet d'établir un lien formel entre l'image et un référentiel terrestre donné. Plusieurs méthodes existent pour géoréférencer une image.

Trois grandes étapes sont nécessaires dans la réalisation de cette correction :

- le choix et la saisie des points de calage : C'est rechercher à la fois sur le document de référence (ortho-image) et sur les images à corriger des points parfaitement identiques et de procéder à leur saisie. Mais pour une meilleure mise en évidence des éléments linéaires, un filtre linéaire « passe-haut » est appliqué à tous les canaux, sur tous les documents.

- le redressement ou la rectification de l'image : Il s'agit de corriger les perturbations géométriques et distorsions ayant lieu lors de l'enregistrement des images et affectant les données. Cela consiste à « calculer la relation existante entre les points du fichier source (image à redresser) et les mêmes points du fichier de référence (image de référence) » (ROBIN M. Op. cit.).

- le rééchantillonnage des pixels : Il permet de corriger les décalages de données lors du redressement des images. On utilise par exemple comme référence une carte topographique de

la zone et les images sont reprojétées dans le référentiel voulu soit, Universal Transverse Mercator (UTM) avec pour système WGS 84. Après le redressement, une nouvelle image est créée dans le référentiel choisi. Cela passe par la création d'une grille vide conformément à la projection choisie. Les attributs des pixels de l'image à redresser sont affectés à ceux de la nouvelle grille. Dans ce transfert de données, il se trouve que les positions des pixels de la nouvelle grille ne coïncident pas exactement avec celles de l'image à redresser. Pour réparer cette anomalie, il s'impose un rééchantillonnage des images, par interpolation. Les images sont maintenant superposables aux autres données.

#### 4.1.1.2. Correction radiométrique des images

La correction atmosphérique a pour but de corriger certaines variations de la distribution des données causées par le décalage temporel dans l'acquisition des images. En effet, les facteurs comme l'angle d'élévation du soleil, la distance terre-soleil, le calibrage des capteurs, les conditions atmosphériques et la géométrie de visée affectent la valeur numérique des pixels (ECKHARDT et *al.*, 1990). En raison de la difficulté à obtenir une information fiable sur ces différents paramètres lors de la prise des images, une correction atmosphérique basée sur une normalisation empirique d'image à image a été appliquée. Elle comporte les étapes suivantes (CHAVEZ, 1988) :

##### - la transformation des comptes numériques en réflectance au sommet de l'atmosphère (TOA)

La réflectance au sommet de l'atmosphère  $\rho_{TOA}$  (Top of Atmosphere) est la somme de la réflectance atmosphérique  $\rho_{atm}$  et de la réflectance de surface  $\rho_{surf}$  transmise par l'atmosphère.

$$\rho_{TOA} = \rho_{atm} + T_d \rho_{surf}$$

Il s'agit dans cette étape, d'un étalonnage radiométrique qui consiste à convertir les comptes numériques de l'image en réflectance. L'algorithme « Radiométric calibration » du logiciel Envi permet de le faire aisément.

##### - la transformation en réflectance au sol avec Dark Object Substract

C'est une méthode simple qui, pour chaque bande, considère que la réflectance minimale mesurée sur l'image non corrigée est due aux effets atmosphériques. Elle ne nécessite

aucune intervention de l'utilisateur, et produit souvent de bons résultats (SOUDANI, 2005). Elle permet de convertir la réflectance au sommet de l'atmosphère en réflectance de surface en utilisant le Dark Object Substraction (DOS) (CHAVEZ, 1996).

Ces différentes étapes sont appliquées à chaque canal de toute la scène utilisée pour cette étude. Les nouvelles images obtenues sont donc partiellement corrigées des effets atmosphériques (Figure 4). Les réflectances égalisées permettant ainsi de comparer différents canaux. Ces comparaisons des images satellites visent à établir les modifications environnementales des zones humides. Pour ce faire, une analyse des valeurs radiométriques est effectuée pour discriminer les différentes thématiques observables dans la zone d'étude. Cette étape est précédée par des rehaussements des histogrammes d'image afin d'améliorer leur lisibilité.

#### **4.1.1.3. Rehaussement des contrastes d'image pour améliorer les analyses visuelles et numériques**

Des opérations d'étirement des histogrammes des images LANDSAT, utilisées dans le cadre de ces recherches ont été réalisées. Le but est de rehausser radiométriquement, leur qualité afin de faciliter leur interprétation visuelle. Cette technique a consisté à redistribuer les valeurs de l'histogramme de l'ensemble de l'image afin d'améliorer le contraste et de profiter de toutes les nuances d'intensité de la scène pour mettre en relief les éléments pertinents pour notre problématique. Ainsi, certains types d'occupation du sol notamment l'eau, les zones bâties, les sols nus et les espaces végétaux ont été plus faciles à dissocier.

C'est le lieu de noter que les pixels d'une image satellites varient de 0 (pixel de couleur noire, indiquant une absence totale d'émission de rayonnement dans la longueur d'onde concernée) à 255 (pixels blanc, correspondant à un rayonnement maximal dans la longueur d'onde concernée). Ainsi, l'image comporte un certain nombre de pixels par niveaux de gris. L'exploitation de ces différentes caractéristiques de l'image simplifie les observations visuelles des images et la détection des modes potentiels d'occupation du sol avant la visite de terrain.

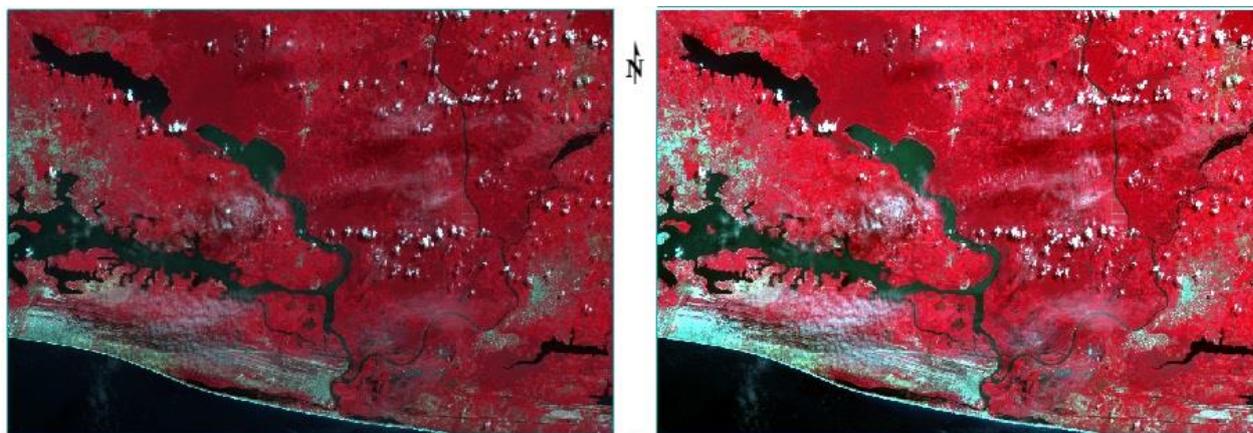


Figure 4 : Image de 2013 avant et après correction atmosphérique

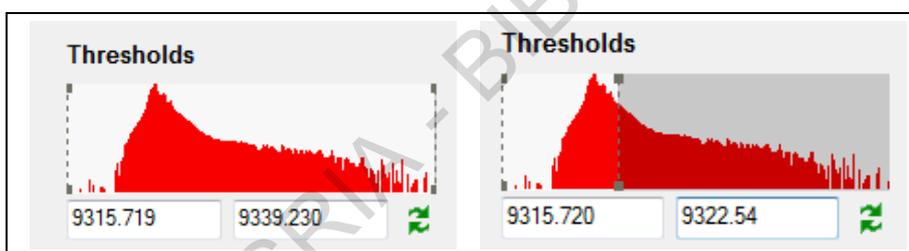


Figure 5 : Histogramme de la bande 4 et seuillage pour la création d'un masque

#### **4.1.1.4. Extraction et génération de masque sur la zone d'étude**

##### **4.1.1.4.1. Extraction centrée sur la zone RAMSAR de Grand-Bassam**

Pour une étude de dynamiques à l'échelle de la zone écologique de Grand-Bassam, il est opportun de réaliser une extraction de zone. Il s'agit d'extraire une sous-scène, ne couvrant que la zone d'étude de l'image entière.

En effet, à l'aide de l'outil « Resize data » (spatial/spectral), du logiciel ENVI 4.3, la zone d'étude est circonscrite à l'aide des coordonnées de notre zone d'étude. De l'image de départ qui présentait 7783 colonnes et 7316 lignes, la zone écologique de grand-Bassam et ses environs en sont extraite ; elle présente 1512 colonnes et 1072 lignes. De cette manière, la zone d'étude aux dates 2000 et 2013 sera aussi extraite.

##### **4.1.1.4.2. Génération de masques**

Il est important pour affiner notre étude de masquer certaines zone de la scène de 2013, car elles sont inutiles à l'analyse et risquent fortement d'interférer avec les zones utiles. On distingue deux types de masque qui sont les masques thématiques qui permettent de s'affranchir de pixels voisins n'appartenant pas au thème étudié de manière à améliorer la qualité de la classification donc la reconnaissance visuelle des objets (AKADJE, 2011) ; et les masques géographiques qui nous seront utiles pour masquer les nuages sur l'image. En effet, les masques géographiques sont plus faciles à délimiter, car ils correspondent à des plages de pixels bien individualisés. La restriction surfacique permet d'éliminer certains pixels « parasites » susceptibles de créer des confusions lors de la classification.

Un masque est une image binaire constituée de pixels de valeur 1 ou 0. L'élaboration du masque se fait à partir de la connaissance des différents histogrammes spectraux des différents types d'objets contenus dans une image. La base d'élaboration du masque est établie à partir d'une classe de valeurs numériques. Ces valeurs sont établies à partir de l'examen de l'histogramme d'un canal, ici le canal 4 (figure 5). La classe de valeurs dans laquelle se situe les nuages est la borne minimum de 9315.720 et la borne maximum de 9322.54.

Le masque créé à l'aide de la commande « build Mask » sera appliqué sur toute l'image de 2013 afin de masquer le bruit créé par les nuages, en utilisant l'outil « Apply mask ».

#### 4.1.1.5. Traitement des images satellites

L'objectif de cette étape est de produire des images satellitaires favorisant une bonne discrimination spectrale des types d'occupation du sol, voire de la couverture végétale. Elle porte sur les compositions colorées et le calcul des indices.

##### 4.1.1.5.1. Les indices de végétation et l'étude des paysages naturels : un apport essentiel à la connaissance des états de surface

Les propriétés spectrales de la végétation ont été testées en milieu tropical par plusieurs auteurs (TUCKER *et al.*, 1986 ; 1979, 1979a, 1979b ; SADER *et al.*, 1990 ; CHATELAIN *et al.*, 1996 ; OSZWALD, 2005) pour estimer la quantité et la croissance annuelle et saisonnière de la biomasse végétale qui constitue un paramètre essentiel pour l'étude des changements et la gestion des écosystèmes. Ces différentes propriétés sont analysées à travers plusieurs types d'indices : le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), l'indice de verdure (différence entre les radiances normalisées de la végétation dans le PIR et le visible), l'indice de surface foliaire (rapport de la superficie du feuillage vert à la superficie du sol), l'indice du contenu d'eau d'une feuille (quantité d'eau en volume ou en poids par l'unité du poids ou de volume de feuille).

Ces différents indices ont pour effet d'augmenter les contrastes au niveau du thème « végétation chlorophyllienne » et de réduire ceux des autres thèmes (LACOMBE, 2008). L'indice le plus couramment utilisé est le NDVI. Il varie de -1 à +1, ce qui permet d'hiérarchiser les couverts végétaux en fonction de leur densité. Il est calculé selon la formule suivante (ROUSE *et al.*, 1974) :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR}-\text{R}}{\text{IR}+\text{R}} \quad \text{Avec IR: bande proche infrarouge et R: bande rouge.}$$

Le contraste entre les canaux du Rouge (R) et du Proche Infrarouge (PIR) est utilisé pour analyser les réponses spectrales de la végétation (BONN et ROCHON, 1992 ; CALOZ, 1992 ; GIRARD, 1999). L'identification de la végétation se base sur la différence spectrale qui existe entre les végétaux et les sols.

Selon ROBIN (1995), l'utilisation du NDVI permet de caractériser les surfaces nues et/ou végétales dans le visible et l'infrarouge. Les indices enregistrés sont inférieurs à 1 pour

les surfaces en eau, entre 0 et 0,05 pour les surfaces bâties et entre 0,1 et 0,7 pour la végétation. Cet indice est proportionnel à l'activité chlorophyllienne de la végétation et constitue de ce fait un bon indicateur de la biomasse (ROUSE et *al.*, 1974 ; TUCKER, 1979, BONN et ROCHON, 1996).

- Indice de végétation des images LANDSAT de 1986, 2000 et 2013

Le NDVI calculé sur les images LANDSAT de 1986, 2000 et 2013 est affiché avec la palette fausse couleur « **Bleu-Vert-Jaune** ». Les images de 1986 et 2000 montrent la situation de la zone en période sèche. Cet indice permet la discrimination de plusieurs types de zones, allant de zone à forte activité photosynthétique en bleu, à des zones à activité chlorophyllienne absente. L'image de 2013 fait référence à la saison pluvieuse.

Dans le détail, cet indice fait ressortir quatre types d'occupation du sol en fonction des teintes. Ces teintes rendent compte de l'activité chlorophyllienne des peuplements. Les surfaces en bleu et vert représentent les types de végétation à forte densité de feuillage, donc à forte activité chlorophyllienne. Il s'agit de forêt dense et secondaire, Mais aussi de formation marécageuse et de Culture à formation végétales touffues.

Ces images présentent aussi, au sol des zones avec une faible ou inexistante activité chlorophyllienne. Il s'agit des superficies défrichées et des formations végétales sèches. Ce sont des zones d'habitation ou des plans d'eau (Couleur jaune et orange clair).

**4.1.1.5.2. Les Analyses en Composantes Principales (ACP) : une synthèse spectrale utile à l'analyse des données issues des scènes satellitaires**

L'ACP est une méthode d'analyse des données multidimensionnelles, basée sur le changement du référentiel des variables brutes (canaux de télédétection) dans un nouveau référentiel de variables synthétiques (les composantes principales). Le processus de transformation (translation-rotation du référentiel d'origine) est fondé sur la maximisation de la variance du nuage de points (ici les pixels des canaux) selon une hiérarchisation des composantes. La première composante occupe la direction de l'espace suivant laquelle la variance est maximum (grand axe du nuage de pixels). La seconde composante est construite selon la même règle, dans l'espace restant ; et ainsi de suite.

L'ACP est une méthode factorielle qui permet la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs.

Selon LACOMBE (2008), l'ACP est une technique factorielle d'analyse multivariée qui présente plusieurs avantages en télédétection que l'on peut lister comme suit :

- permet de réduire le nombre de canaux à afficher : en effet, une combinaison trichromique ne permet pas d'afficher plus de 3 canaux en même temps. L'ACP, en concentrant l'information dans les premières composantes, permet de libérer une dimension pour un autre canal ;

- permet de travailler à partir de bandes décorréelées (corrélation nulles) assurant l'absence de redondance entre les données tout en conservant l'essentiel de la variance des images multispectrales originelles ;

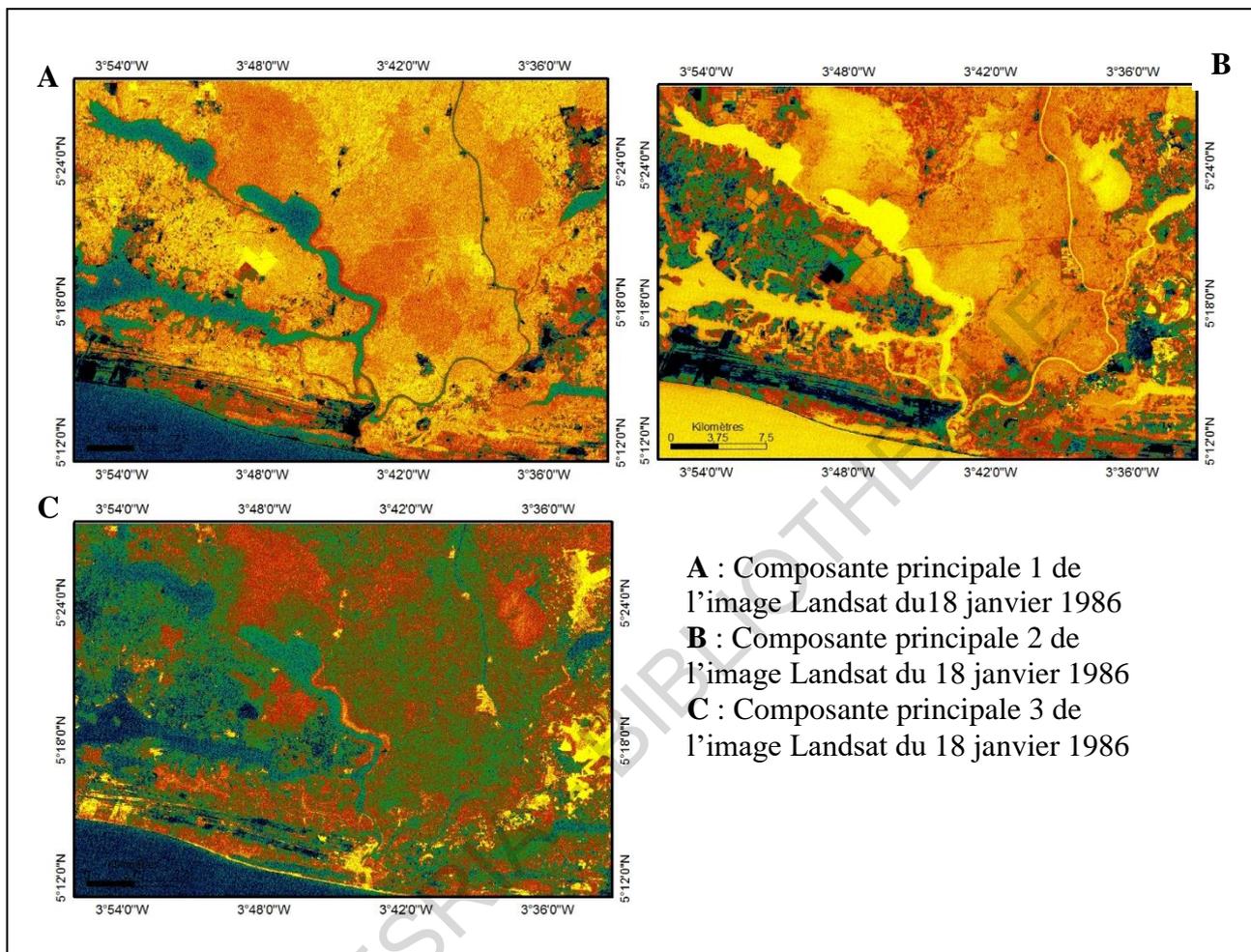
- permet d'accentuer les détails radiométriques des objets (maximisation de la variance). Cette transformation peut être utile pour séparer les objets sur deux images distinctes car l'ACP effectue une correction radiométrique partielle des images en éliminant les différences de basse fréquences entre elles ;

- permet de supprimer le bruit de fond lié, par exemple, à la variation des détecteurs ou à un phénomène naturel sur le terrain ;

- facilite les analyses géographiques grâce à une meilleure distinction spatiale des informations les plus pertinentes ;

L'analyse en composantes principales (ACP) et l'indice de végétation (NDVI) sont mis en œuvre dans le cas présent afin de sélectionner les meilleures bandes spectrales d'une part, et d'augmenter le contraste sol-végétation d'autre part, et cela dans le but de faciliter l'étape de segmentation. En effet, l'ACP réduit le bruit de l'image et crée une image sur laquelle chaque bande est peu corrélée aux autres et contient des informations uniques (JENSEN, 1996; CALOZ ET COLLET, 2001). Une analyse en composantes principales a été appliquée à chacune des images en vue d'obtenir la synthèse des différentes bandes informatives. En effet, l'ACP est une transformation basée sur les vecteurs propres (*eigenvectors*) orthogonaux de la matrice de covariance produite d'un groupe de pixels pour l'ensemble des canaux spectraux de l'image initiale.

Le résultat montre que les trois premières composantes principales expliquent l'essentiel de la variance des bandes informatives pour chaque image (Tableau IV). Les zones d'un même thème dans ces composantes sont donc plus homogènes (Figure 6 et 7).



**Figure 6 : Analyse en composante principale de l'image du 18 janvier 1986**

#### 4.1.1.5.3. L'indice de Tasseled Cap

Ayant déjà identifié les zones couvertes de végétation et les sols nus et secs, c'est surtout l'indice de brillance générée par la transformation de Tasseled Cap qui nous intéresse. L'indice de brillance du sol (IB) qui montre le recouvrement du sol des différents types de formations végétales. Rapporté aux informations de terrain (Figure 8), il permet la discrimination entre la végétation d'une part et les habitats et sols nus d'autre part. Les surfaces dont le couvert végétal est peu recouvrant ou inexistant, apparaissent en jaune. Il s'agit des sols nus et des habitats qui sont plus présents dans le sud. En orange, s'affichent des végétations peu recouvrantes mais qui restent supérieures aux précédentes. Ce sont les végétations graminéennes, les secteurs de cultures. Les surfaces de forêts dégradées sont représentés par une mosaïque de couleur vert/rouge/jaune.

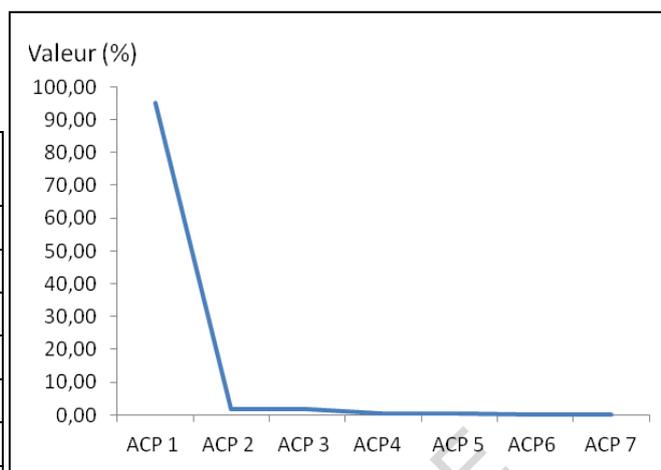
Ainsi, les indices de végétation utilisés pour caractériser l'état du couvert végétal, les ACP synthétisant l'information contenue dans les images satellites et de facilitant la reconnaissance des types d'occupation du sol et l'indice d'humidité sont d'une grande aide pour la classification des images (SAVARY et *al.*, 2006).

#### 4.1.1.5.4. Les compositions colorées pour améliorer la lisibilité des scènes satellitaires

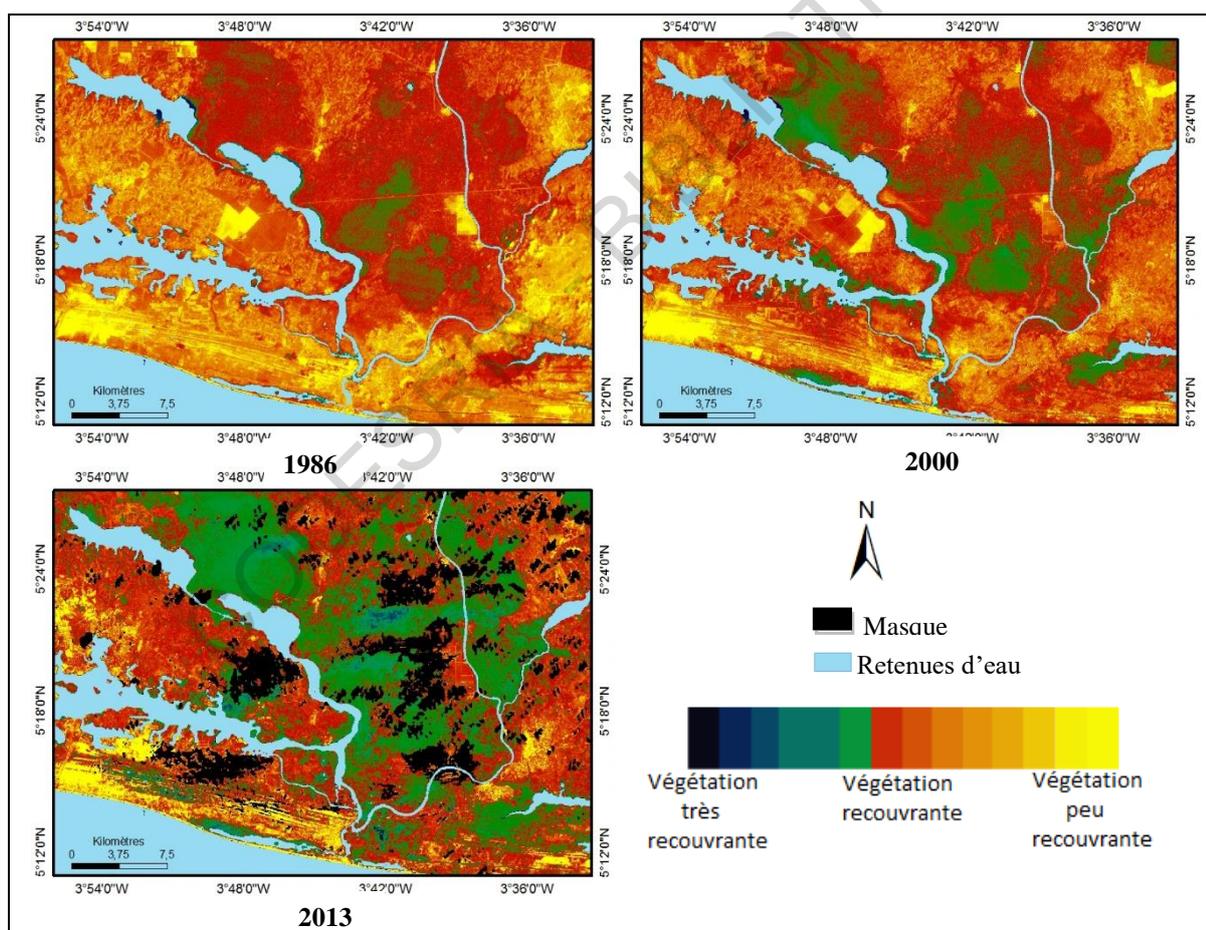
Le ton des compositions colorées réalisées à partir des images brutes extraites de notre zone d'étude apportent également de nombreuses informations pour la photo-interprétation et la campagne de terrain. L'image résultante correspond donc fidèlement à ce que l'œil d'un observateur direct aurait vu: l'image d'un objet de couleur rouge est rouge, etc. Pour pouvoir visualiser cette information, on associe aux bandes spectrales du système d'observation des couleurs d'affichage (rouge-vert-bleu), qui ne leur correspondent pas nécessairement. Ce faisant, on crée des compositions colorées, appelées parfois « *images en fausses couleurs* » (O'NEILL, 1996).

**Tableau IV:** Valeurs des composantes principales de l'image du 5 Mai 2013

Composantes principales	Valeur propre	Valeur (%)
ACP 1	706,819139	95,09
ACP 2	12,372146	1,66
ACP 3	13,965408	1,88
ACP4	4,200331	0,57
ACP 5	3,319503	0,45
ACP6	2,004537	0,27
ACP 7	0,636544	0,09



**Figure 7 :** Valeurs des ACP de l'image de 2013



**Figure 8 :** Images de l'indice de Brilliance des sols (Brighness Index) de 1986, 2000, 2013

Les compositions dites « colorées », servent à afficher à l'écran une combinaison de trois canaux pertinents en niveaux de gris auxquels on attribue une couleur primaire du système RGB (Rouge, Vert, Bleu) employée dans le codage vidéo de la couleur. L'objectif de cette manipulation est de parvenir à créer un document qui révèle un maximum d'informations en fonction des thèmes que l'on cherche à individualiser dans une image. En effet, chaque mode d'occupation du sol est caractérisé par sa signature spectrale.

La proportion de chacune des couleurs de base (RVB) utilisée pour le codage des canaux dépend de la réflectance de la surface considérée dans chacun des canaux employés pour réaliser la composition colorée. Afin de discriminer les types d'occupation du sol dans nos zones d'études, plusieurs types de compositions colorées seront réalisés pour les images.

Toutes ces techniques d'analyses visuelles et radiométriques produisent des données essentielles pour dresser une typologie des unités de paysage. Le choix de chacun des canaux de la composition colorée et leur codage dans les trois couleurs de base (RVB) ont été réalisés en fonction de la propriété spectrale spécifique à chaque unité du paysage dans les différentes longueurs d'onde. Les résultats de ces différentes compositions colorées montrent des nuances de couleurs dans les différentes longueurs d'onde en fonction des caractéristiques spécifiques à chaque thématique étudiée. Ces données ont été utilisées pour la sélection des parcelles d'entraînement. Les cartes issues de ces compositions sont superposées aux points GPS des parcelles retenues pour la visite. Ces cartes sont très utiles sur le terrain car l'accès à certaines zones à pied ou par des moyens motorisés sont quasi impossibles à cause de la topographie ou de l'absence de pistes. Dans ce cas, on se réfère aux cartes issues des compositions colorées pour trouver une alternative qui consiste à sélectionner une parcelle semblable à proximité de ce point.

Les images composites obtenues à la suite de ces différentes compositions colorées permettent de procéder, en l'absence de tout contact avec l'espace d'étude, par rapprochement analytique, à des différenciations de réponses spectrales des éléments perceptibles sur l'image. Les compositions sont choisies en fonctions des thèmes à mettre en exergue : la végétation de la zone humide en particulier. Des combinaisons des néocanaux ACP1, NDVI et IB, ont été utilisée pour les analyses visuelles et radiométriques pour l'identification des types d'occupation du sol.

De ces compositions, il est possible de distinguer sur l'image : les secteurs de forêts denses, les forêts marécageuses; les secteurs de faible boisement, c'est-à-dire les forêts dégradées; les espaces cultivés; les secteurs habités et les sols nus; l'hydrographie (Figure 9).

L'interprétation visuelle des compositions colorées permet de reconnaître assez nettement les types d'occupation du sol. Cela donne l'occasion d'identifier les thèmes majeurs tels que la végétation, les surfaces agricoles, les secteurs habités. A partir de ce constat, on peut aboutir à une première approche cartographique de l'occupation du sol.

#### **4.1.2. Procédure d'extraction des données d'occupation du sol**

Elle comprend les étapes de la pré-classification de l'occupation du sol, la collecte de terrain et la classification.

##### **4.1.2.1. Pré-classification de l'occupation du sol**

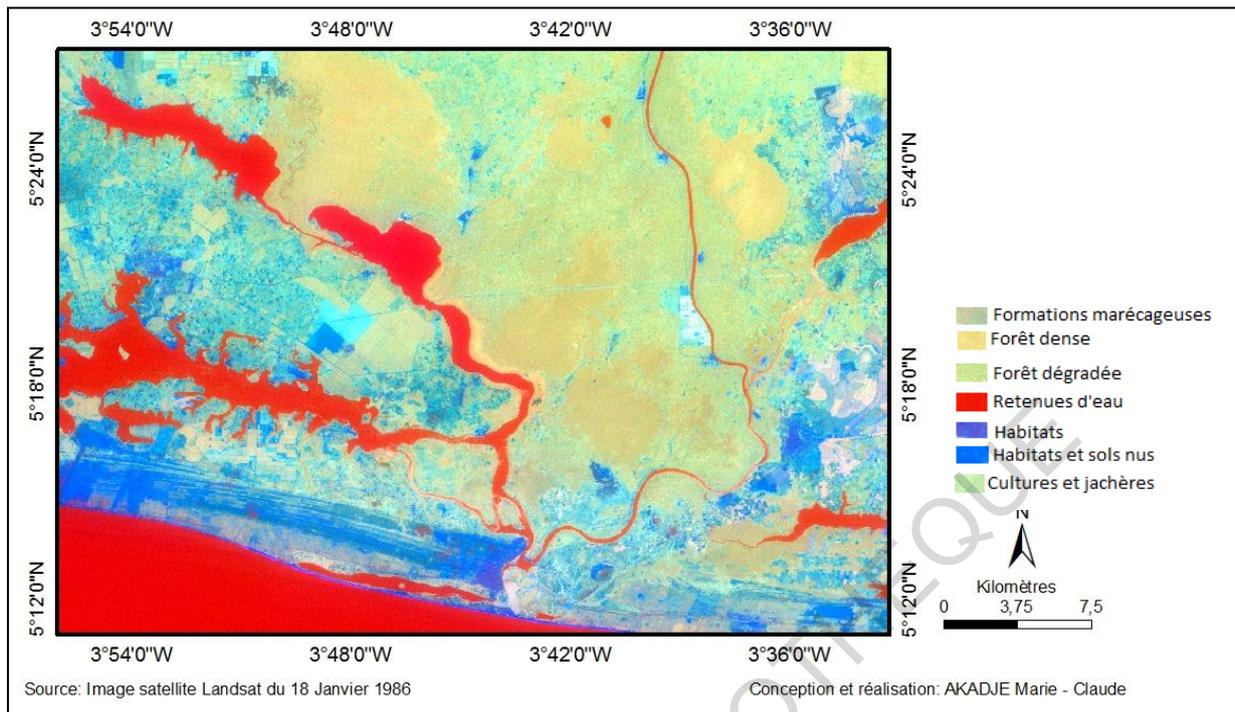
Elle consiste à produire une carte d'occupation du sol. Cependant, cette cartographie passe par une reconnaissance et une identification des types d'occupation du sol sur les images satellitaires.

La cartographie par télédétection permet à partir des thématiques de reproduire la réalité contenue dans les images. Ainsi, on passe d'une image multispectrale à une carte thématique qui représente une interprétation et une catégorisation de la nature des objets.

###### **4.1.2.1.1. Identification visuelle des objets à cartographier**

Cette étape met l'accent sur l'identification visuelle et à un étiquetage des objets à cartographier. Elle consiste à mettre en place une nomenclature, c'est à dire la définition des thèmes à cartographier.

Dans la présente étude, deux grands thèmes sont identifiés dans l'analyse de l'occupation du sol. Il s'agit de l'espace naturel et de l'espace humanisé. Après ce premier niveau de discrimination de l'espace, on passe à l'identification des objets au sein de chaque grand thème. Au niveau de l'espace naturel quatre niveaux de discrimination sont obtenus. S'agissant de l'espace humanisé quatre niveaux sont identifiés. Au total, ce sont 8 thèmes qui sont retenus dans l'analyse et la cartographie de l'occupation du sol (Tableau V).



**Figure 9 : Composition colorée de l'image de 1986 (canaux ACP1, NDVI, IB)**

**TABLEAU V : Nomenclature des thèmes à cartographier**

GRANDES THEMATIQUES	THEMES A CARTOGRAPHIER
Espaces naturels	Forêt dense sempervirente
	Forêt secondaire
	Formations marécageuses
	Retenues d'eau
Espaces humanisés	Cultures vivrières
	Cultures de rente
	Habitats
	Sols nus

#### **4.1.2.1.2. Constitution des parcelles d'entraînement**

A partir de nos connaissances du terrain, des différentes cartes de l'occupation du sol en notre possession, et de l'interprétation visuelle des images en composition colorée, nous avons constitué 60 parcelles d'entraînement. Les images Google de 2013, ont aussi été utiles dans la constitution de nos parcelles d'entraînement. Elles permettront de constituer des parcelles plus récentes.

#### **4.1.2.1.3. Pré-classification proprement dite**

Etre capable de localiser parfaitement une parcelle visitée sur l'image est important en phase d'apprentissage. Cette opération a pour but de mettre en rapport l'objet sur le terrain et la signature spectrale sur l'image. A l'aide de ces parcelles d'entraînement, une première classification (pré-classification) sera implémentée afin de générer une carte test sur laquelle seront relevés des échantillons.

Les informations sur la structure et la biologie des classes d'occupation du sol vont servir de base à la classification dirigée par maximum de vraisemblance des image satellitaire LANDSAT de 1986, 2000 et 2013.

##### **- La classification supervisée par maximum de vraisemblance**

La classification supervisée est une méthode qui s'appuie sur des zones inventoriées selon un plan d'échantillonnage sur lesquelles des informations spatiales géoréférencées sont connues. Sa mise en œuvre nécessite donc l'identification d'échantillons assez homogènes de l'image, représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests dont la sélection est basée sur les connaissances de la région géographique étudiée et les types de surfaces présents dans l'image. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de l'ensemble de la classe sont utilisées pour que l'algorithme définisse les classes et ensuite reconnaisse les régions aux propriétés similaires à chaque classe sur la base des segments d'image obtenu lors de la segmentation de leur signature numérique respective (BONN ET ROCHON, 1992). Plusieurs algorithmes différents sont possibles pour établir la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités (classification hypercube, par la distance minimum,

la distance de Mahalanobis, par le maximum de vraisemblance, par l'angle spectral, et par le modèle des réseaux neuronaux).

Dans le cadre de notre étude, la classification supervisée par maximum de vraisemblance est utilisée pour les représentations cartographiques de l'occupation du sol issue des images satellites. Cette méthode consiste à classer les pixels en fonction de leur ressemblance avec les comptes numériques d'objets géographiques de référence préalablement déterminés sur l'image (parcelles d'entraînement) et validés par des relevés de terrain. Lors de la phase d'apprentissage du traitement statistique, les zones d'entraînement doivent rendre compte de toutes les classes à discriminer. Le profil numérique de ces parcelles d'entraînement est alors supposé représentatif de celui de l'ensemble de la classe sur l'image.

- L'intérêt de son choix est triple

Tout d'abord, ce type de classification permet d'assurer la cohérence thématique des classes en autorisant la représentation d'une nomenclature (légende) détaillée compatible avec l'échelle de représentation. En utilisant les informations contenues dans l'ensemble des zones d'entraînement, la classification par maximum de vraisemblance utilise la moyenne et la variance/covariance des données spectrales afin d'estimer la probabilité de chaque pixel à être associé à une classe. Elle calcule la probabilité d'un pixel d'appartenir à une classe donnée. Cette règle d'affectation de chaque pixel permet de réduire les risques d'erreurs de pixels mal classés en utilisant au mieux les probabilités d'appartenance ;

- ensuite, la supervision de la classification permet, à la lumière des relevés de terrain géo-localisés (type de végétation et sa composition), d'intégrer une base de données représentative de la diversité des typologies rencontrées dans un milieu complexe à l'image des paysages forestiers ;

- enfin, cette méthode permet de représenter par une typologie détaillée la diversité des transformations paysagères et des inclusions anthropiques, assurant ainsi la fiabilité cartographique des informations.

La règle bayésienne permet de définir une densité de probabilité conditionnelle d'appartenance d'un pixel à une classe associée. La classification par maximum de vraisemblance est considérée comme la méthode de classification multispectrale la plus performante par de nombreux scientifiques (BONN ET ROCHON, 1993 ; GIRARD ET GIRARD, 1999).

#### **4.1.2.2. Collecte de données sur le terrain**

Dans cette partie du travail, l'objectif principal visé est de repérer les facteurs de transformation et de discriminer les différents types d'occupation du sol.

Pour obtenir des informations utiles aux analyses cartographiques, une campagne de terrain a été menée. En effet, la reconnaissance des unités de paysage caractéristiques du milieu contribuera à :

- améliorer les résultats statistiques à travers la séparation entre les différentes unités de paysage.

- identifier et caractériser les types d'occupation et d'utilisation du sol sur l'espace d'étude ;

- discriminer les types d'occupation du sol masqués ;

- Vérifier l'exactitude des classifications générées avant la campagne de terrain à l'aide des PCS.

C'est dans cette optique que plusieurs campagnes ont été effectuées du 7 au 12 novembre 2013 et du 11 au 14 avril 2014, dans la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs (Alépé, Grand-Bassam, Assinie, Adiaké, Oglwapo, Bonoua, Bingerville).

##### **4.1.2.2.1 Les points de contrôle au sol (PCS)**

Dans le cadre de nos travaux, afin d'évaluer, l'exactitude de nos travaux, des points de contrôle au sol, ont été relevés à partir de cette carte test (Carte pré-classifiée), pour chaque thème, ont été répertoriés. Ils permettent de vérifier, de valider ou de corriger la classification après notre campagne de terrain.

Ce sont des échantillons pour la plupart, stables aux différentes années. Vu que l'image de 2013 porte un masque, une classe « Masque » a été créée, afin de discriminer le type d'occupation qui se trouve aux divers endroits masqués. Une variable est associée à chaque PCS, il s'agit du « type d'occupation du sol ». Ils s'agit de 93 PCS répartis selon leur classe dans le tableau VI.

Il n'y a eu aucun PCS de la classe Eau, car c'est une classe qui est facilement déterminable à l'aide du réseau hydrographique.

#### - Choix des PCS

Plusieurs critères ont guidé nos choix dans la collecte des PCS. Ce sont la spécificité, la représentativité, l'accessibilité et une bonne répartition des échantillons. Un échantillon hétérogène ou qui n'est pas représentatif d'une classe risquerait d'accroître la confusion de la classification. La distribution de ces 93 PCS sur l'espace d'étude est tributaire des voies de communication. En effet, certaines portions dudit espace sont rendues difficiles d'accès en raison de la dégradation ou de l'absence d'infrastructures routières. Aussi, sur l'image, on choisit des échantillons de différentes formes et de différentes couleurs, caractéristiques de l'ensemble des thèmes figurés sur l'image qui intéressent l'enquête. Ces échantillons doivent être bien repartis sur l'ensemble de la zone étudiée, pour éviter que ceux-ci ne soient le reflet de phénomènes (géographiques) localisés. Le caractère de stabilité de certains PCS, à toutes les dates d'étude (1986, 2000 et 2003) a aussi guidé nos choix. Enfin, certains sites ont été choisis du fait d'une confusion entre des travaux antérieurs. En effet, Bamba dans ses travaux en 2007 a déterminé certaines zones comme des zones humides, tandis que ces mêmes zones ont été présentées sur la feuille de Grand-Bassam établie par le CCT-BNETD en 2007 juste comme des forêts. Et l'inverse à certains autres endroits. En espérant lever toutes ces équivoques, la campagne de terrain a été préparée.

#### **4.1.2.2.2. Technique adoptée pour la campagne de terrain**

##### - Préparation de la campagne de terrain

Un travail préalable a été effectué avant la sortie de terrain. Il s'est agi de créer une spatio-carte l'aide de la composition colorée de 2013 (canaux PC1, NDVI, IH). Les PCS y ont été portés, ainsi que les localités et le réseau routier qui a permis de se déplacer dans la zone. Un maillage de 1 km a été établi, afin de bien quadriller le terrain (Figure 10).

Une liste exhaustive des PCS a aussi été dressée. Un extrait de la liste est présenté dans le tableau VII. Cette liste comporte les coordonnées longitude et latitude des PCS, le type d'occupation du sol, le code du point de contrôle (représenté par l'initiale du type d'occupation du sol suivi du numéro du PCS dans le thème qu'il représente) et sa situation approximative.

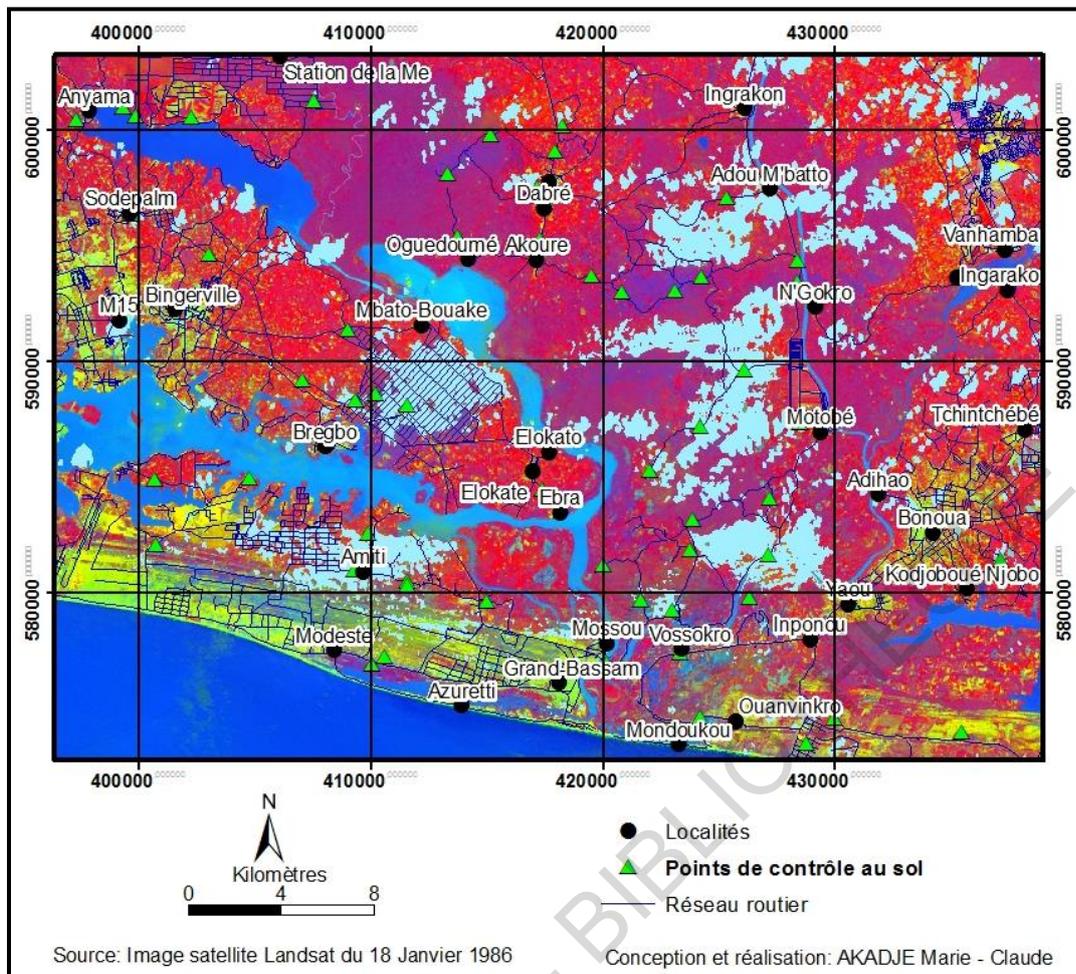


Figure 10 : Carte des Points de contrôle au Sol

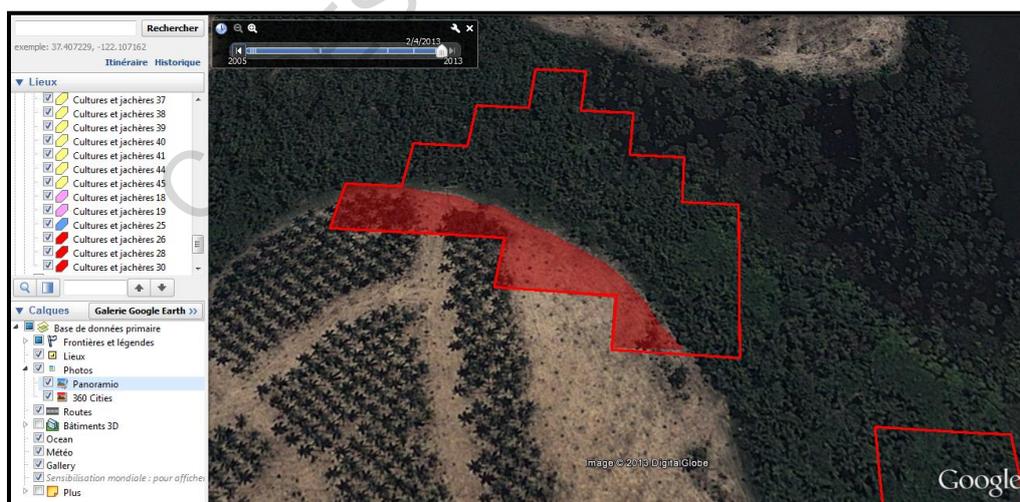


Figure 11 : Digitalisation du thème d'occupation du sol d'un masque sur Google Earth

**TABLEAU VI: Répartition des échantillons**

Classe	Nombre de PCS
Forêt dense sempervirente	11
Forêt secondaire	13
Cultures et jachères	17
Formations marécageuses	15
Sols nus	9
Masque	16
Habitats	12

**TABLEAU VII: Extrait de la liste des points de contrôle au sol**

ID	X	Y	THEMES	N_PCS	CODE_PCS	SITUATION
1	407 101,5403	589 185,4309	Cultures et Jachères	1	CJ1	Sebia Yao_apres bingerville_Adjame binger
2	423 321,8667	577 359,2141	Formations marécageuses	2	FM2	Vossokro
3	400 786,4628	582 077,9414	Formations marécageuses	3	FM3	en dessous de Maffible
4	430 720,7188	579 562,2506	Cultures et Jachères	2	CJ2	Yaou
5	435 395,6202	593 771,1024	Cultures et Jachères	3	CJ4	Au-dessus de lagune ONO
6	435 594,8125	580 767,8756	Cultures et Jachères	4	CJ3	Kodjoboue
7	402 308,8325	600 550,5984	Cultures et Jachères	5	CJ6	Au-dessus de Lagune Adjin
8	417 957,875	599 080,7506	Cultures et Jachères	6	CJ5	Au-dessus de Domolon
9	418 265,8665	600 185,4773	Masque (Cultures et Jachères)	3	M3	Au-dessus d'échantillon CJ5

- La campagne de terrain proprement dite

Sur le terrain, il était question de visiter tous les PCS, afin d'identifier le type d'occupation, et de décrire les différents types d'occupation du sol. Les coordonnées de chaque PCS ont été rentrées dans un GPS à l'aide duquel chaque PCS a été retrouvé. Aussi, au cours de la campagne de validation et de collecte de données terrain, une importante base de données photographiques a été constituée sur chaque type d'occupation et d'utilisation du sol. Nous présentons ici, à titre d'illustration, quelques-unes de ces photos à la Figure 12.

#### **4.1.2.2.3. Résultats de la campagne de terrain**

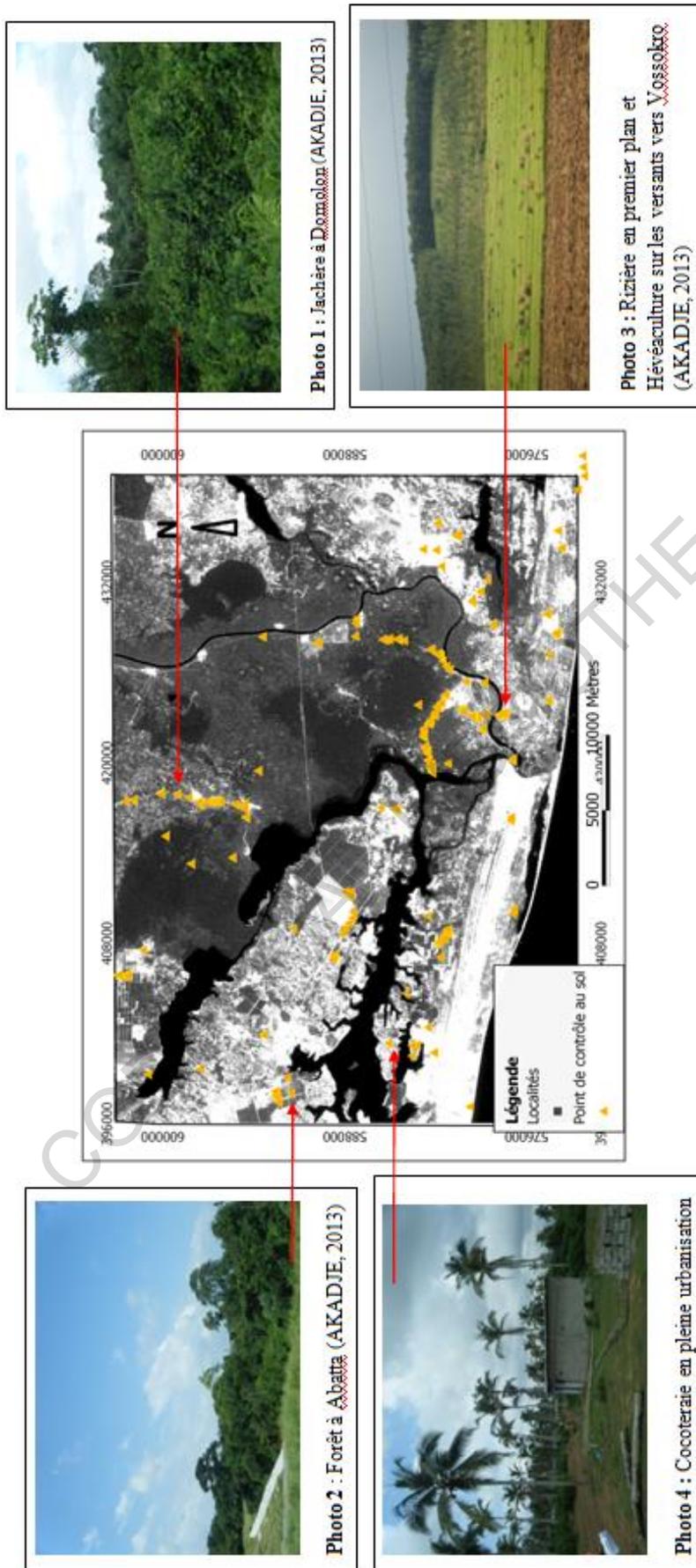
##### 4.1.2.2.3.1. Difficultés du terrain

Sur le terrain, la mission a été confrontée à de nombreux problèmes de tous ordres. Mais les plus importants ont été des problèmes mécaniques engendrés par le véhicule de la mission. Il n'était pas très adapté à ce type de mission. Le second problème a été l'impraticabilité, ou la non existence des voies de communication. En effet, entre Motobé et Alépé, la voie est impraticable (boueuse) pour les véhicules de petits gabarits. C'est le cas entre Domolon et notre PCS F9. Seuls les véhicules 4X4 arrivent à passer. De nombreuses fois nous nous sommes embourbés. Aussi entre Motobé et Akouré, le PCS n'a pu être visité à cause de l'impraticabilité de la route.

##### 4.1.2.2.3.2. Les PCS

Au nombre de 93 PCS au départ, seulement 90 PCS ont été visités, du fait des difficultés précitées. En d'autres termes, 80% des échantillons ont été visités. Mais 3 points de contrôle, comme le PCS F9 de la forêt d'Oglwapo, n'ont pas été visités. Mais, la littérature et les documents cartographiques restent unanimes sur le type d'occupation du sol qu'ils représentent.

Outre les zones masquées, où il était question de retrouver le type d'occupation du sol, seuls deux (2) PCS n'ont pas été validés. Il s'agit des PCS F6 et FS4 qui en réalité sont des cultures de rente ; il s'agit de palmeraie. Tous les autres points à part les masques ont été vérifiés et validés.



**Figure 12: Points de contrôle au sol et relevés d'occupation et d'utilisation du sol (8 au 10 novembre 2013)**

#### 4.1.2.2.3.3. La typologie de l'occupation du sol

Durant cette campagne de terrain de nombreux types d'occupation du sol reflétant les échantillons constitués ont été visités. Il s'agit de :

- Les forêts denses sont des forêts dense humides, vertes et fermées, dominées par les types à *Turraenthus africanus* et *Pavifolia*, pauvres en espèces floristiques (BROU, 2008 ; HAUHOUOT et al, 2007). Elles sont remarquables par leur architecture originelle stratifiée, dominée par des arbres adultes, puissamment ramifiés et pouvant atteindre 80m. Elles ont un sous-bois très riche (Photo 2 et 5).
- Les forêts dégradées : Issues de la dégradation de la forêt primaire souvent dues aux actions humaines (coupe de bois, prélèvement d'espèces, cultures). Pour certaines, elles contiennent des plantations indétectables sur les images satellites. Dans ces forêts dégradées, on note la présence de petits arbustes héliophiles (Photo 6).
- Les formations marécageuses regroupent les forêts marécageuses et les mangroves. Elles occupent les bas-fonds en général. Les dépressions fluvio-lagunaires sont colonisées par des forêts marécageuses à *Symphonia* et *Raphia* (photo 7, 8, 9,10 et 16).

Leur physionomie et caractéristiques floristiques sont différentes des forêts de terre ferme. Une strate arborée homogène, peu élevée et dense domine un sous-bois riche en hautes herbes. D'un point de vue floristique, les espèces les plus caractéristiques sont *Halopegia Azurea* (Marantacea), *Marantochloa Ppurpurea*, *Costus Schlechteri* (Zingiberacea). Dans les forêts marécageuses, les lianes sont peu nombreuses, les contreforts sont absents et les épiphytes rares, sauf à la base des troncs. En revanche, il y a beaucoup de racine à échasses et de pneumatophores.

Les mangroves couvrent normalement une partie des sols hydromorphes à Gley. Elles colonisent les rives du fleuve Comoé et des lagunes, y compris les îles lagunaires (Photos 11 à 14). Elles sont constituées de palétuviers ou *Rhizophora racemosa* (RHIZOPHORACEAE) et d'*Avicenia africana*. Elles sont interrompues par endroit, par des végétaux associés comme le *Paspalum Vaginatatum* et des touffes dressées d'*Acrostichum Aureum* chétives et mal conservées qui se distinguent difficilement des formations auxquelles elles sont associées sur l'imagerie satellitaire.

#### • Les cultures de rente

Dans cette zone, l'agriculture est l'une des activités principale des populations, ce pourquoi le sol est utilisé pour de nombreuses cultures de divers ordres. La majorité des terres est occupée de cultures de rentes. Ces produits sont principalement constituées de cocotier, de palmier à huile, d'hévéas et d'ananas et part endroit de banane douce (Photo 4 et Photos 15 à 17), Elles se font sur de grandes surfaces. Ce sont des cultures qui se font en générale sur des terres fermes ou des versants. Néanmoins, il arrive qu'elles se fassent dans des zones très humides (photo 18).

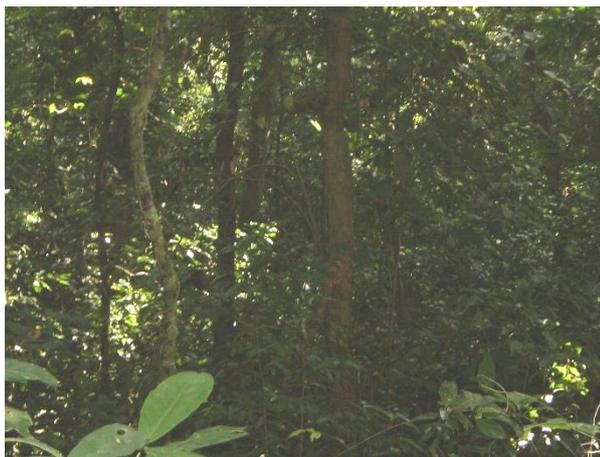
#### • Les cultures vivrières et les jachères

Les cultures vivrières sont pratiquées en général, sur des surfaces modestes et par des paysans usant d'outils traditionnels en général et pratiquants pour la plupart des cultures sur brulis. Ce sont des produits de subsistance entre autre le manioc, le maïs pratiqués en général sur les versants (Photo 19). La banane plantain, le riz (photo 3) et les produits maraichers (gombo, piment, laitue, aubergine, tomate, persil, chou, concombre) (Photo 20) sont des cultures de bas-fond ou de zone humide. Le riz (Photo 21) se cultive sur de grandes surfaces.

Dans ces systèmes agraires, les pratiques culturales restent fondamentalement manuelles et font rarement appel à la mise en jachère périodique des champs pour la restauration de leur fertilité ces dernières décennies. SEBILLOTE (1985) définit la jachère comme: « l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. La jachère se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit ». La jachère, période d'abandon cultural implique donc la mise en place d'une culture à court terme. Cet abandon survient dès que l'agriculteur note une baisse des rendements agricoles (Sylla, 2012). Ces jachères sont constituées soit de cultures vivrières telles que le manioc, le maïs ou de *Chromolaéna Odorata* (Sékou Touré) (photo 22 et 23).

#### • Les habitats et sols nus

Les espaces humanisés s'accroissent de plus en plus, même s'ils n'occupent pas de grandes superficies. Le manque de terrain pour la construction emmène l'homme à s'adapter au milieu qu'il rencontre. Ainsi, on rencontre des constructions dans des zones inondables comme c'est le cas sur les photos A et B (photo 24).



**Photo 5 : Sous-bois d'une forêt dense près de Motobé (AKADJE, 2013)**



**Photo 6 : Forêt secondaire à Akouré (AKADJE, 2013)**



**Photo 7 : Forêt marécageuse de Kodjouboué (AKADJE, 2013)**



**Photo 8 : Sol gorgé d'eau dans la forêt humide de Kodjouboué (AKADJE, 2013)**



**Photo 9 :** Sous-bois de la forêt humide de Kodjoboué (AKADJE, 2013)



**Photo 10 :** Alentours de la forêt de Kodjoboué (AKADJE, 2013)



**Photo 11 :** un marécage



**Photo 12 :** Zone très humide (rizière)



**Photo 13:** Mangrove au bord de la lagune Ebrié (AKADJE ,2013)



**Photo 14 :** Mangrove sur les bords de la lagune Kodjoboué (AKADJE ,2013)

Au terme de cette campagne de terrain, il ressort de notre analyse que plus de 80% de nos points de contrôle au sol sont des vérités de terrain, car ils correspondent aux types d'occupation ou d'utilisation du sol des différents sites visités. Ainsi nous pourrions valider notre classification. Aussi, cette sortie de terrain, nous a permis d'affecter à certaines zones masquées des types d'occupation du sol, ainsi que de décrire les différents types d'occupation du sol rencontrés. Une autre technique sera utilisée pour déterminer le reste des masques sur l'image 2013. Et à l'aide de ces informations, nous pourrions améliorer nos classifications.

La cartographie de la végétation par télédétection présente donc beaucoup de lacunes liées essentiellement à la nature diversifiée du paysage. En effet, plusieurs types de végétation sont discernables sur place mais il n'est pas toujours facile de faire de même quand il s'agit de les identifier par la radiométrie c'est-à-dire à partir des comptes numériques obtenus à partir de la réflectance des unités de paysage discriminés. Initialement, nous avons identifié plusieurs types de végétation sur le terrain, etc. Compte tenu de nombreuses confusions entre ces différentes classes de végétation, nous les avons fusionnées et/ou regroupées en se basant sur les similarités physiologiques, écologiques ou géographiques obtenues grâce aux descriptions effectuées sur les sites visités ; c'est le cas de forêt marécageuse, le fourré marécageux, la mangrove qui formeront la classe «formations marécageuses ». Les savanes herbeuses, elles disparaîtront de la classification avec nos images de 30 m de résolution spatiale elles ne sont pas discriminables.

#### **4.1.2.3. Classification de l'occupation du sol**

D'autres classifications supervisées par maximum de vraisemblance ont été générées à l'aide des vérités terrain obtenues sur le terrain, à partir des différentes images satellite. Cela aboutira à la discrimination de l'occupation du sol aux différentes dates.

##### **4.1.2.3.1. Validation des résultats de la classification**

La validation des classifications a été réalisée à l'aide d'un outil statistique inclus dans le logiciel. En se basant sur ces sites de validation, on établit une matrice d'erreurs. Cette matrice est un tableau de chiffres qui identifient le nombre d'objets assigné à une catégorie de la classification, relativement au nombre actuel de cette catégorie, mais vérifié par des données de référence. Nous obtenons ainsi la précision (du producteur et d'utilisateur) de chaque classification, la précision globale ainsi que l'indice Kappa (K).



**Photo 15** : Cocoteraie du CNRA à Maffilé



**Photo 16**: Forêt marécageuse en destruction



**Photo 17** : Palmeraie du CNRA à la station de la Mé sur la route d'Alépé



**Photo 18** : Sous-bois d'une cocoteraie dans une zone marécageuse à Grand-Bassam



**Photo 19 :** Nouvelle plantation de produits maraichers dans un bas-fond (AKADJE, 2013)



**Photo 20 :** Plantation de manioc (AKADJE, 2013)



**Photo 21 :** Riziculture à perte de vue sur la route d'Assinie (AKADJE, 2013)



**Photo 22 :** Complexe de jachère avec palmiers (AKADJE, 2013)



**Photo 23:** Complexe de jachère avec bananiers (AKADJE, 2013)



**Photo 24** : Constructions dans une zone marécageuse (AKADJE, 2013)

CODESRIA - BILIOTHEQUE

#### **4.1.2.3.2. Estimation de l'exactitude des images classées**

L'estimation consiste à vérifier l'efficacité de la méthode choisie pour la classification. Elle consiste à évaluer la classification par l'élaboration et l'analyse des matrices de confusion. Les résultats des matrices de confusion sont comparés aux paramètres texturaux.

#### **4.1.2.3.3. Amélioration de la qualité de l'image classifiée**

Après la validation de la classification, on procède à l'amélioration de la qualité de l'image classifiée. En effet, suite à la procédure de classification, il subsiste généralement un faible taux de pixels isolés, généralement mal classés, souvent situés à la limite entre deux plages d'affectations distinctes. Afin de réduire le nombre de ces pixels isolés, nous avons appliqué un filtre sur les images obtenues en sortie, qu'il convient de justifier.

Les classifications opérées sur des images satellites produisent, généralement, des pixels mal classés et isolés par rapport aux classes d'occupation du sol constituées de façon homogène. Ceux-ci donnent un aspect « poivre-sel » à l'image qui peut s'avérer gênant pour une représentation cartographique. Cet effet poivre et sel est aussi dû à la forte hétérogénéité du paysage dans les milieux tropicaux forestiers, abritant de nombreuses variétés d'unités paysagères, difficilement cartographiables à cent pour cent et dont leur classification crée des effets de frontière, notamment l'apparition de pixels dits de frontière entre les catégories paysagères existantes.

Un autre facteur non moins négligeable, lié à la résolution métrique des capteurs satellitaires peut constituer un facteur limitant dans la photographie exacte des objets et provoquer un tel effet « poivre-sel ». A ce propos FOSTER (1993, cité par ATTA,2008) fait remarquer qu'un objet terrestre a la probabilité d'être photographié par un satellite que si et seulement si cet objet fait quatre fois la taille de la limite de la résolution du capteur. Or, les images satellites généralement disponibles (LANDSAT, Spot) bien que de haute résolution spatiale et "convenant pour d'écrire l'occupation du sol" (BROU, 2005) butent parfois sur la prise en compte de certains objets, notamment à l'échelle parcellaire. On assiste régulièrement à une généralisation des objets au détriment du détail. Il arrive parfois que peu d'objets de petite dimension soit identifiés. Au niveau du paysage forestier particulièrement, une difficulté de prise en compte liée à l'échelle métrique de résolution des capteurs s'avère très manifeste. De telles limites spatiales peuvent conduire à la prise en compte de peu d'objets de petites tailles. L'on a recours à certains algorithmes mathématiques de voisinage, dont les plus utilisés

sont les filtres. Leur application permet de reclasser certains pixels en fonction de leur voisinage et d'améliorer l'image ; mais elles peuvent induire une marginalité des pixels et par ricochet un effet « poivre-sel ».

Pour corriger de telles imperfections il est donc nécessaire d'imposer un certain degré de généralisation de l'environnement et ce, en ignorant les hétérogénéités locales au profit de la classe d'objet qui domine dans le voisinage. Pour ce faire, on utilise des opérateurs morphologiques pour améliorer les images classifiées. Ainsi, on applique sur l'image des opérations de dilatation suivies d'une érosion avec un filtre dénommé « sieve class » puis un autre « Clumb class », l'un des plus utilisés dans la littérature. Ces opérateurs procèdent, d'abord, par élimination des pixels isolés, ensuite, à une homogénéisation (lissage) des classes en supprimant toutes les hétérogénéités locales. Ils ont l'avantage d'homogénéiser le contenu des classes sans grande modification de l'information (MAS, 1998).

## **4.2. Intégration des données dans un SIG**

Cette étape permet de quantifier les superficies de chaque type d'occupation du sol et de déterminer les différentes mutations qui ont eu cours dans le milieu.

### **4.2.1. Correction post classification: Les zones masquées**

La mise à jour de la classification, au niveau des zones masquées, s'est faite par la digitalisation. Prises comme source d'informations, les images de Google Earth ont permis la reconstitution des informations. Sur l'image de 2013, toutes les données manquantes sont numérisées selon leur classe (Figure 14) et rajoutés à partir du logiciel de SIG, au fichier vecteur de la classification. Cette étape ne s'applique qu'à l'image de 2013.

### **4.2.2. Analyse de la dynamique de l'occupation à l'aide du SIG**

Ainsi le traitement numérique des images satellites du sud-est a débouché sur la cartographie de l'occupation du sol de la zone à diverses dates (Figure 13). Les études de changement de l'occupation du sol sont réalisées à partir des résultats des différentes classifications afin de procéder à des comparaisons multi-dates. Pour détecter les changements, le passage en mode vecteur a été retenu en raison de son aspect plus convivial et pour son rendu cartographique meilleur.

Cette typologie simplifiée permet d'avoir une cohérence dans les analyses multi-dates et d'appréhender les dynamiques spatiales. En définitive, l'ensemble des informations spatio-temporelles obtenues à partir des différents traitements d'images satellites, est exporté sous forme de base de données dans un environnement SIG pour les analyses finales. Les Système d'Information Géographique (SIG) ont pour objectif de rassembler, organiser, gérer, analyser, combiner, élaborer et présenter des informations localisées géographiquement contribuant à la gestion de l'espace. L'utilisation des données issues de l'exploitation des images satellites et des campagnes de terrain (description de paysage avec les coordonnées GPS) permet d'obtenir des statistiques sur les dynamiques environnementales récentes. La combinaison et le croisement des informations dans un SIG permettent de produire des cartes thématiques qui facilitent l'analyse de la dynamique et des différentes tendances d'évolution du milieu.

Les cartes de l'occupation des terres ainsi obtenues regroupent plusieurs informations thématiques géopositionnées (classes de forêts, Cultures, etc.). Chaque thème abordé dans la légende est donc traité comme une couche d'information diachronique incorporée dans un SIG. L'étude diachronique est donc basée sur l'utilisation des classifications aux trois dates réalisées de manière indépendantes. Cette méthode, même si elle présente des imperfections, est celle qui a fourni les meilleurs résultats dans la mesure du changement dans le SIG.

La mise en œuvre du SIG comprend deux principales phases : l'intégration des données dans un environnement SIG et l'exploitation de la base de données

#### **4.2.2.1. L'intégration des données dans un environnement SIG**

La base de données numérique issue de la collecte et du prétraitement est transférée dans un environnement SIG pour être exploitée. Ce sont des données « raster » et des données « vecteurs ». Les données « raster » se présentent sous forme d'image et sont transformées dans un format d'échange avant leur intégration dans la base de données. Ainsi, les cartes d'occupation du sol issues du traitement des images sont transformées en polygones (fichier vecteur) pour être intégrées dans la base de données. Les données, de type vecteur, déjà existantes sont intégrées directement dans la base de données.

#### 4.2.2.2. L'exploitation de la base de données

Elle concerne des opérations de requêtes et de géo-traitements sur une ou plusieurs données de la base. Ces traitements ont but de rechercher l'information ou de produire de nouvelles données cartographiques ou graphiques.

##### 4.2.2.2.1. Les calculs statistiques

Les calculs statistiques effectués ont porté sur les superficies, les pourcentages, et les taux d'accroissement des types d'occupation du sol. Les taux permettent de cerner l'évolution de l'occupation du sol entre les différentes dates d'observation. Ici, l'évolution s'est faite à deux niveaux avec les formules suivantes qui traduisent l'évolution au niveau global et annuel de chaque type d'occupation du sol.

- **Taux d'évolution global**

Le taux d'évolution global permet d'estimer l'accroissement global des superficies des types d'occupation du sol dans la zone RAMSAR et ses environs entre 1986 et 2013. Il s'obtient par la formule suivante:

$$T_x = \frac{(SP2 - SP1) * 100}{SP1}$$

*T<sub>x</sub> : taux d'évolution global ; SP1 : superficie à la date 1 ; SP2 : superficie à la date 2.*

*Si T<sub>x</sub> est positif, il traduit une extension du type d'affectation au sol.*

*Si T<sub>x</sub> est négatif, cela exprime un recul du type d'affectation au sol.*

- **Taux d'évolution moyen annuel**

Le taux d'évolution moyen annuel permet d'estimer l'accroissement des superficies des types d'occupation du sol par année. Cette estimation concerne les périodes de 1986 à 2013. Ce taux s'obtient par la formule suivante :

$$T_x = \frac{((SP2)^{1/n} - 1) * 100}{SP1}$$

*T<sub>x</sub> : taux d'évolution moyen annuel ; SP1 : superficie à la date 1 ; SP2 : superficie à la date 2 ; n : différence d'années entre les deux dates.*

#### **4.2.2.2. Le recouplement des données ou géotraitement**

Cette opération a pour but de combiner ou de croiser dans la même base, deux ou plusieurs données spatiales. Cela permet de synthétiser les données spatiales ou d'extraire de l'information d'une donnée spatiale. Les recouplements de données effectués concernent d'une part, le croisement des cartes d'occupation du sol de 1986, 2000 et 2013. Par cette opération, les changements au niveau des types d'occupation du sol sont évalués.

La cartographie de la dynamique d'occupation du sol est implémentée sur tous les logiciels de SIG. C'est la synthèse de la cartographie de l'occupation du sol à deux dates différentes. Cette fonction permet de répondre à des questions tels que : quels sont les surfaces stables ? Quelles sont les surfaces ayant changé d'affectation ? La procédure d'overlay est simple. On sélectionne d'entrée les deux fichiers à fusionner puis le type de fonction overlay à appliquer (union, intersection...). Un nouveau fichier est créé regroupant les données attributaires et graphiques des fichiers d'origine. La manipulation de la table attributaire permet de générer de nouveaux champs intégrant des données sur les changements d'affectation du sol. Cette opération permet de générer de façon automatique des tables attributaires associées à chacune des cartes ; tables qui permettraient à leur tour de déterminer, pour chaque pixel, l'évolution subit au cours du temps et de calculer les superficies correspondant aux divers changements.

L'analyse de la dynamique d'occupation du sol va certes dégager les principaux facteurs de mutation du milieu. Mais, il est important de les valider par des observations de terrain. Ainsi, un questionnaire (Annexe 1) a été élaboré et administré à des agriculteurs (Photos 25, 26 et 27).

#### **4.3. Techniques SIG pour évaluer les pressions sur le milieu**

Les techniques utilisées pour apprécier les pressions anthropiques sur le milieu sont des techniques de modélisation. Deux tendances sont principalement suivies pour modéliser les phénomènes de changement d'occupation du sol. L'une se base sur la modélisation mathématique et statistique des changements ; elle permet de faire des simulations sur les changements futurs. La seconde est basée sur une modélisation spatiale, souvent à partir d'un SIG (Brou et *al.*, 2005). Elle permet d'accéder à une analyse chiffrée de l'évolution des états de surface.



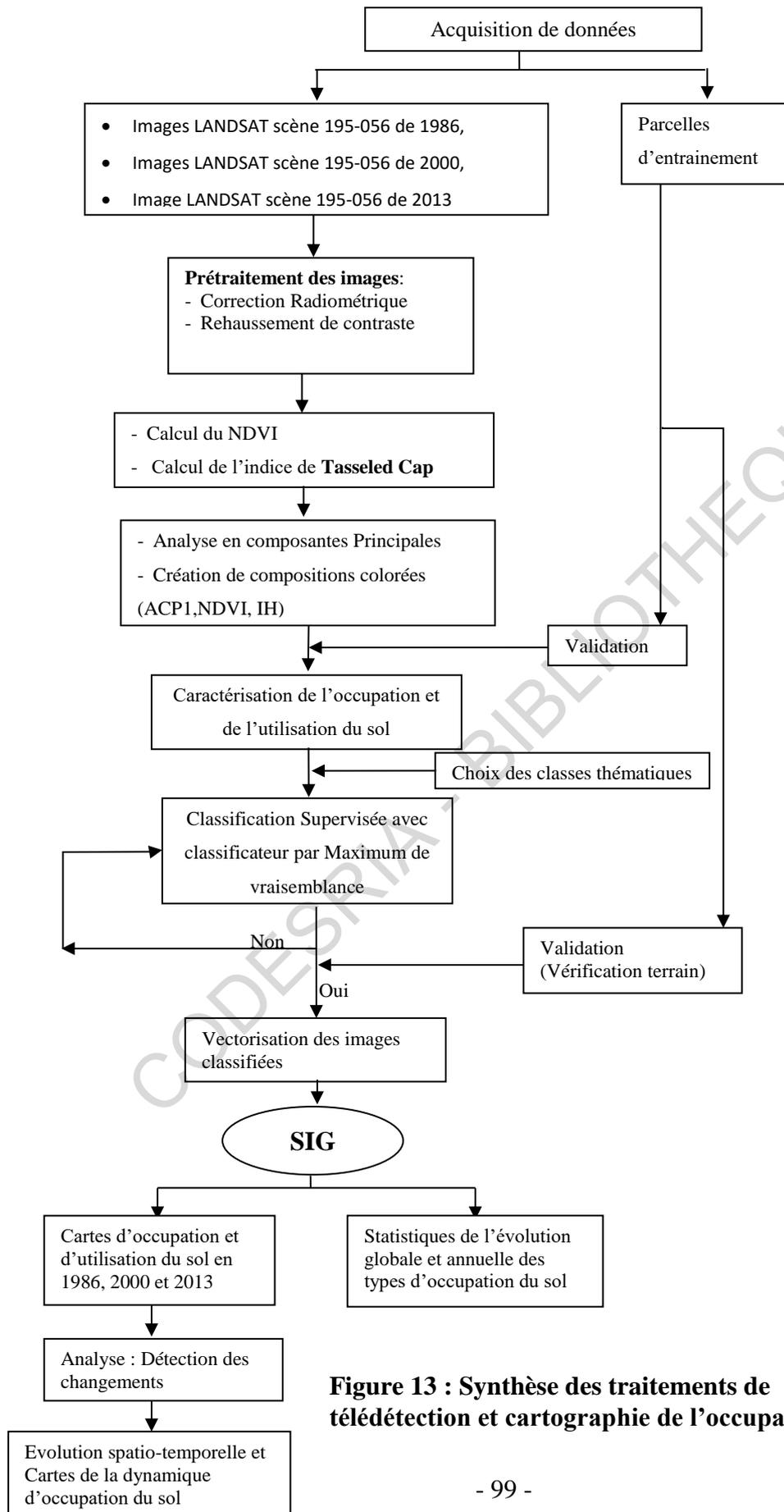
**Photo 25:** Entretien avec un cultivateur dans sa rizière entre Moossou et Alépé (AKADJE, 2014)



**Photo 26:** Entretien avec agriculteur dans sa plantation d'hévéa à Bonoua (AKADJE, 2014)



**Photo 27:** Séance de travail avec Monsieur KOFFI Antoine, encadreur à la CNPH et le chef du village Djiminikro (AKADJE, 2014)



**Figure 13 : Synthèse des traitements de télédétection et cartographie de l'occupation du sol**

De plus, la spatialisation des données et des résultats permet d'obtenir une analyse cartographique et donc d'estimer l'empreinte spatiale des différentes variables sur un territoire.

En effet, les changements d'occupation du sol sont la résultante d'un ensemble dynamique entre l'environnement et l'Homme qui inclut les conditions d'accès aux ressources et les perceptions environnementales. La compréhension de ses processus a contribué à accroître l'utilisation d'approches modélisatrices pour expliquer ces changements. Cette modélisation des changements d'état de surface s'appuie sur des variables, de nature et de société qui sont des facteurs de changement.

#### **4.3.1. Constitution d'une base de données**

Dans tous les cas de modélisation, il est important d'avoir de l'information pour alimenter le modèle; d'où la constitution d'une base de données.

##### **4.3.1.1. Les variables à expliquer**

Elles permettent d'expliquer les différents changements d'OCS du sol aux différentes dates. Ainsi les variables à expliquer sont les cartes thématiques obtenues après la classification en 2000 et 2013. En effet, les cartes d'occupation du sol constituent le paramètre de départ de la modélisation. Elles permettent d'évaluer les changements et d'entrevoir les zones de possibles changements, celles de moindre changement ainsi que celles à risque. Mais dans le cadre de l'analyse spatiale, l'analyse porte sur le risque de déforestation. De ce fait, les seules variables utilisées sont les cartes thématique de la déforestation en 1986, 2000, 2013.

##### **4.3.1.2. Les variables explicatives**

En principe, toutes les informations cartographiques agissant dans le processus de déforestation peuvent faire partie intégrante de la base de données SIG. Elles sont diverses et variées. Mais dans le cadre de cette étude, seules celles qui sont pertinentes sont utilisées. En effet, le plus important n'est pas d'associer plusieurs variables, dans le système, mais plutôt de pouvoir comprendre leur interaction avec le milieu.

#### **4.3.1.2.1. Les données relatives à l'environnement physique**

- Le réseau hydrographique

Cette zone est une zone de lagunes. Elles et constituées de grandes lagunes, et est traversée par le fleuve Comoé. Elle est aussi traversée par quelques petits cours d'eau souvent intermittent. Ces données proviennent de la base de données Open Street Map (OSM). Leur superposition sur les données images que nous avons cadre bien.

- Les courbes de niveau

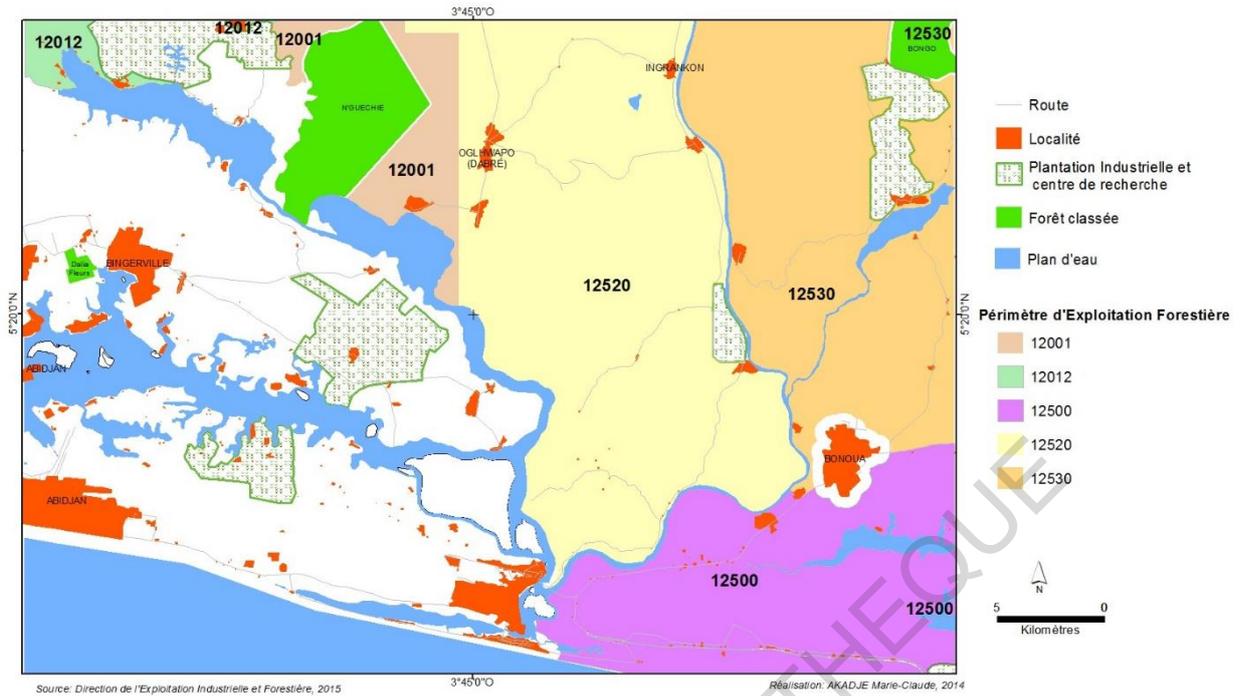
Elles sont été numérisées à partir d'une carte topographique de la zone, dans le logiciel ArcGIS.

#### **4.3.1.2.2. Les données relatives à la gestion forestière**

- Les périmètres d'exploitation forestière (PEF)

Quatre Périmètres d'Exploitation Forestière sont à cheval sur cette zone (Figure 14). Les PEF sont des parcelles de terre qui ont été délimitées par la Direction de la Production et des Industries Forestières (DPIF) du Ministère des Eaux et Forêts. Ce sont des portions des parcelles de terre qui sont attribuées aux exploitations forestier afin d'en exploiter le bois, moyennant une taxe d'Attribution et une Taxe de Superficie qui font respectivement (Superficie PEF x 34frcs et superficie x50frcs). Ces périmètres couvrent près de la moitié de la zone étudiée. Le quota d'exploitation est le quart de la superficie attribuée.

En plus des Taxes auparavant citées, les exploitants reverse des Taxes d'intérêt général au comité, à la régies des eaux et forêt et au conseil régionaux (Superficie x 54frcs). Du fait que l'exploitation a un coup, il est vraiment important de tenir compte de ses impacts sur le milieu, vu qu'un exploitant ayant payé des taxes cherchera à rentrer dans ses fonds engagés, donc exploitera son périmètre afin d'en tirer un maximum de profit. Du format papier, les croquis des PEF ont été numérisés à partir des sommets de chaque PEF qui est inscrit dans la définition de chaque périmètre (Annexe 2).



**Figure 14 : Périmètre d'Exploitation Forestière de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs**

#### **4.3.1.2.3. Les données de distance ou de proximité**

Il s'agit de données anthropiques linéaires ou circulaires. Telles que les voies de communication, les agglomération ou localités. Il s'agit d'analyser la situation géographique par rapport à :

- Les localités et agglomération

Ces données ont été acquises par numérisation à partir d'une image Google Earth. Il s'est agi de numériser l'emprise de chaque localité dans la zone d'étude.

- Le réseau routier

Ces données ont été scindées en deux, en tenant compte de la date de création des routes. A l'aide des images satellite et de carte des années 1980, deux fichiers de routes ont été créés : les routes de 1986 et celles de 2013.

- Les buffers autour des paramètres retenus

Un buffer ou « seuil spatial » consiste à déterminer une zone à distance fixe autour d'entités spatiales (Zone de protection, zone d'influence...). Cet espace est circulaire autour des points isolés, elle forme un corridor autour d'une ligne, et une zone tampon autour d'un polygone. L'utilisation des seuils spatiaux peut être envisagée comme une analyse de proximité (ROY et *al*, 2005). L'impact de chaque variable, dans les défrichements ou dans la dynamique des unités, est mesuré à l'aide de distances pré-établies, à partir de buffer.

Suivant la démarche utilisée et le type d'information étudiée, les buffers couvrent des distances variables. Le choix de ces distances est fondamental et doit faire l'objet d'une étude préliminaire. Ces distances vont permettre de visualiser spatialement les relations entre l'information étudiée et la variable explicative. L'impact de chaque variable dans les défrichements ou dans la dynamique des unités de paysage est ensuite mesuré à l'aide de distances pré-établies.

Suivant la démarche utilisée et le type d'informations étudiées, les buffers couvrent des distances variables. Ces distances vont permettre de visualiser et de quantifier spatialement les relations entre l'information étudiée et la variable de départ. C'est-à-dire préciser la distance entre chaque buffer et son objet de référence, et le nombre de buffer utilisée.

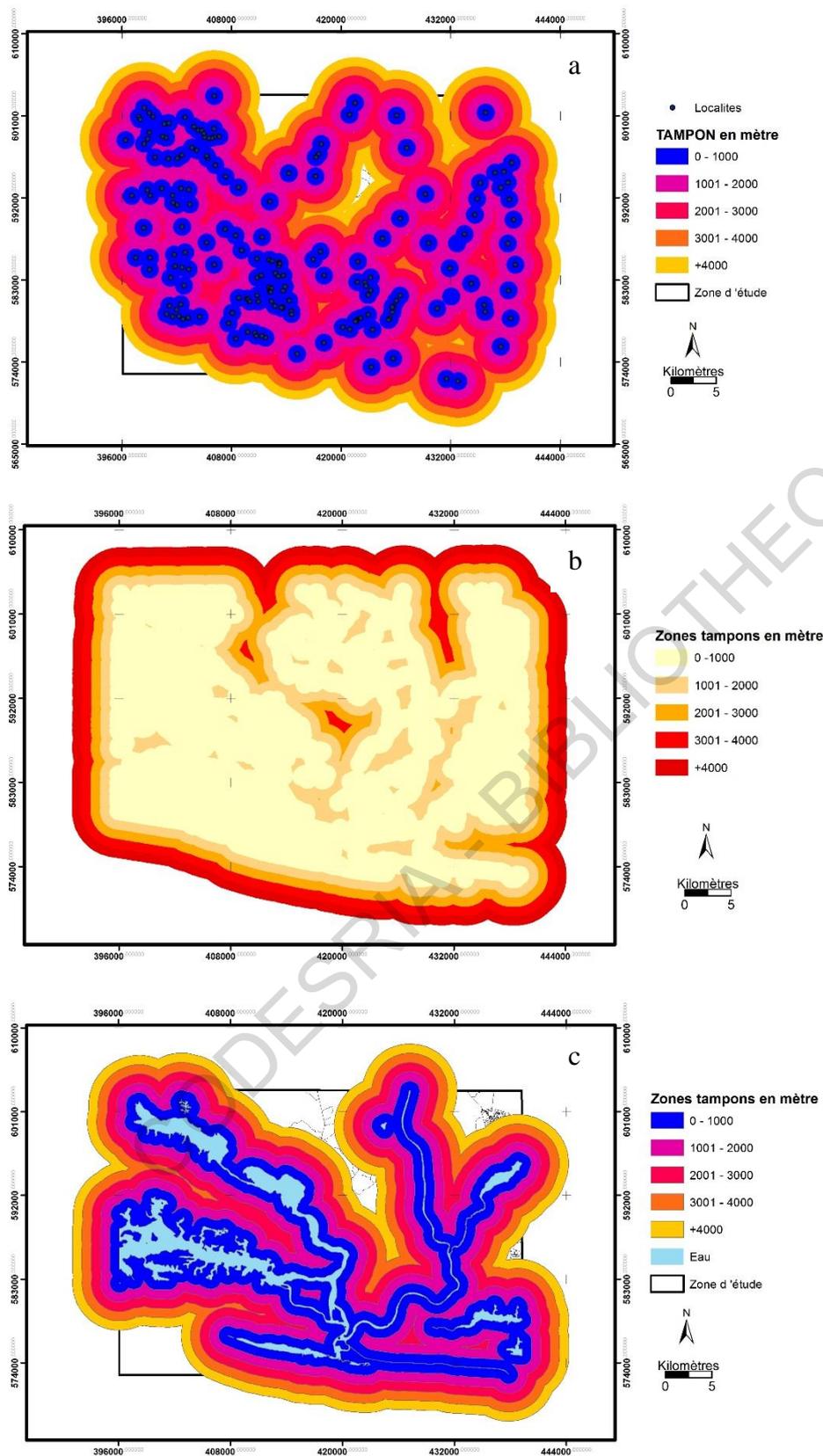


Figure 15 : Zones tampons autour de ( a : Localités ; b ; réseau routier ; c : Plan d'eau)

Ce choix est essentiel, puisqu'il va influencer fortement les résultats qui vont découler de l'analyse. Pour cette analyse, la distance requise entre les buffers est de 1000m (Figure 18). Aussi le nombre de buffer, pour l'analyse spatiale est de 5 à savoir :

- Tampon 1 : de 0 - 1000 mètre
- Tampon 2 : de 1000 – 2000m
- Tampon 3 : de 2000 – 3000m
- Tampon 4 : de 3000 – 4000m
- Tampon 5 : de + 4000m

Cette distance de 1000m a été validée pour les buffers, après une analyse sur les zones de dynamique forestières. En effet, plusieurs distances de buffer ont été testées (250m 500 et 1000m) avec les différentes variables sur les zones forestières converties. Après l'analyse des résultats et conformément aux observations de terrains, il s'avère que plus de 76% des phénomènes sont répétitifs sur plusieurs niveaux de buffer avec les distances 250m et 500m, alors que non avec 1000m ; l'objectif étant de regrouper toutes les zones spatiales ayant le même comportement dans une même zone tampon.

#### **4.3.2. Modélisation de l'occupation du sol par analyse spatiale**

L'analyse spatiale s'effectue, d'abord, en déterminant les variables qui peuvent engendrer et/ou faciliter les phénomènes de défrichement. Ces variables sont ensuite spatialisées dans un espace géoréférencé afin de rendre les différentes couches d'informations superposables. Les variables prises en compte pour cette étude sont le réseau routier, le réseau hydrographique et le réseau de localités et campements présents dans la zone de RAMSAR de Grand - Bassam et de ses environs.

##### **4.3.2.1. L'influence des facteurs sur le taux de déforestation**

L'estimation du poids d'un facteur sur la déforestation est nécessaire pour la compréhension du phénomène de déforestation. Pour évaluer ce poids, une intersection est réalisée entre les variables explicatives (facteurs) et la variable expliquée (déforestation).

Le taux de déforestation peut être ainsi relié au facteur. Cette analyse faite, sur plusieurs périodes successives, peut aider à comprendre les différentes mutations opérées dans le passé, et classer, par ordre croissant, les facteurs.

Après l'estimation individuelle de l'influence des facteurs sur la dégradation forestière, il est impératif de combiner les variables les plus significatives qui permettront une analyse globale du phénomène, en mettant en relation les facteurs biophysiques et socio-économiques. Cette combinaison permet d'évaluer le risque de déforestation des surfaces actuelles.

### **4.3.3. La modélisation prédictive**

L'intérêt des modèles porte sur la simplification et l'analyse des dynamiques passées et actuelles, mais ils permettent également de simuler, grâce à la modélisation prédictive, lesdites dynamiques, dans le futur, afin de faciliter la prise de décision.

Cette modélisation, propose cependant des ouvertures, des pistes sur l'image de ce demain. Il ne s'agit pas de miser sur un futur en espérant obtenir un taux de réussite optimal. Il est question de construire, grâce à l'analyse du passé et des dynamiques actuelles, un socle d'hypothèses pertinentes comme « *un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente* » (Hatem, 1993, Godet, 2010).

Land Change Modeler (LCM) est un modèle développé pour étudier les Changement d'état des sols, projeter leur dynamique dans le futur et en évaluer l'impact sur la biodiversité. Il sera utilisé pour la simulation de l'OCS dans notre Zone.

L'approche ou méthode par scénarii est utilisée dans ce cas, pour appréhender les « futurs possibles ». Elle se décline en deux grandes phases.

#### **4.3.3.1. La base de données**

La base correspond à l'image de l'état actuel du système, aussi complète, globale et explicative que possible, à partir de laquelle l'étude prédictive proprement dite (c'est-à-dire la construction des scénarios) pourra être mise en œuvre.

Construire la « base » consiste dans un premier temps à définir le système, c'est-à-dire à identifier les principales variables (économiques, politiques, sociales, techniques). Les relations causales entre chacune des variables sont ensuite analysées, afin de déterminer celles qui sont susceptibles d'évoluer, dans le futur, avec certitude et incertitude. Enfin, la dynamique du système doit être étudiée, en menant une analyse rétrospective afin de comprendre les dynamiques passées et d'identifier les acteurs et les variables qui ont joués un rôle dans les changements.

### **4.3.3.2. L'analyse des changements**

A partir des états du sol entre 1986 et 2000, une première estimation des changements (pertes, gains, changements nets, constance) est réalisée par la création de graphiques et de cartes de changements. Cette phase d'analyse permet la mise en place de sous-modèles de transition potentielle entre plusieurs catégories d'occupation du sol tout en tenant compte des variables statiques ou dynamiques.

### **4.3.3.3. La construction des scénarii**

#### **4.3.3.3.1. Sous-modèles et Transitions potentiels**

Toutes les transitions qui existent entre les deux cartes d'occupation du sol sont générées automatiquement après l'analyse des changements, dans un tableau. Les transitions utiles sont spécifiées pour calculer les potentiels de transition.

Les variables qui sont intégrées à chaque sous-modèle sont préalablement évaluées avec le coefficient V de Cramer afin de connaître leur pouvoir explicatif.

#### **4.3.3.3.2. La transformation EVLIKELIHOOD**

La transformation des preuves de vraisemblance est un moyen très efficace pour intégrer les variables catégorielles dans l'analyse. Les variables catégoriques doivent soit être converties en un ensemble de booléens (factices) des variables, ou transformées en utilisant l'option de transformation preuve de vraisemblance.

#### **4.3.3.3.3. La modélisation des sous-modèles de transition**

Pour modéliser les changements d'occupation et d'utilisation des sols, nous avons privilégié LCM avec la technique des réseaux neuronaux artificiels multicouches (Multi-Layer Perceptron ou MLP). Pour ce faire, en plus de la variable de maximum de vraisemblance, seront rajoutées dans le modèle, les variables de proximité avec le réseau routier, le réseau hydrographique, les Localités, pour paramétrer le modèle. Il exécute et crée les sous-modèles de transition spécifiés.

MLP est un modèle multi-couches qui fonctionne mieux dans la modélisation des transitions et peut exécuter plusieurs transitions (jusqu'à 9), par sous-modèle. Ce sont des

hypothèses de modélisation. Il est important d'atteindre un taux de réussite de 70 % pour espérer avoir des sous-modèles tendant vers la réalité.

#### **4.3.3.4. Des hypothèses à la projection**

Une date de prédiction est ensuite spécifiée, afin de simuler l'occupation du sol. Cette simulation utilise les Chaines de Markov. Cette date de prédiction est une date pour laquelle une carte d'occupation du sol existe. Elle servira de base de validation du modèle.

Les résultats de cette simulation sont une carte de vulnérabilité de la zone et une carte de projection de l'occupation du sol à cette date future.

#### **4.3.3.5. Validation et évaluation du modèle**

Plusieurs techniques de validation existent. La validation d'un modèle par la comparaison avec une situation réelle; c'est-à-dire comparer une carte de changements observés (carte d'OCS 2013) à celle de changements prédits (OCS simulée 2013). Une analyse statistique des données pixel dans un SIG sont tout aussi utile afin de quantifier le taux d'erreur de la simulation.

#### **4.3.3.6. Prédiction de l'occupation du sol en 2030**

Après validation de la modélisation de l'occupation du sol en 2013, une autre carte d'occupation du sol est simulée sur une période plus longue (2030).

#### **CONCLUSION PARTIELLE :**

Au terme de ce chapitre, toute la méthodologie a été bien élaborée afin de mener au mieux ces travaux. Elle sera appliquée aux différentes données, afin d'obtenir des résultats qui seront analysés avec soins.

**TROISIEME PARTIE:**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## **CHAPITRE 5: CARTOGRAPHIE ET DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA ZONE RAMSAR ET DE SES ENVIRONS**

L'application de la méthodologie élaborée précédemment, a abouti à une cartographie de la zone d'études, respectivement en 1986, 2000 et 2013. Ainsi, les mutations pourront être aisément décrites, à l'aide du SIG.

### **5.1. Cartographie et évaluation des types d'occupation du sol entre 1986 et 2013**

#### **5.1.1. Caractéristiques de l'occupation du sol dans la zone de Grand-Bassam**

Sept (7) classes caractérisent l'occupation du sol, dans la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs. Ce sont de grandes unités spatiales, qui évoluent dans le temps. Elles sont synthétisées en deux grands groupes :

- Les superficies forestières

Il s'agit de formations naturelles. Elles se composent de forêts denses sempervirentes, de formations marécageuses et de forêts dégradées.

- Les superficies humanisées

Ce sont des types d'occupation résultant de l'exploitation des formations naturelles, par l'homme. Elles se composent de sols nus, de zones de cultures de rente, de superficies de cultures vivrières, et des habitats.

#### **5.1.2. La matrice de confusion des classifications**

La validation de la cartographie, passe par une analyse de la matrice de confusion. les tableaux VIII, IX et X présentent les matrices de confusion des classifications aux différentes dates de la zone. Chaque colonne de la matrice représente le nombre d'occurrences d'une classe estimée, tandis que chaque ligne représente le nombre d'occurrences d'une classe réelle (ou de référence). La matrice de confusion est donc le tableau de contingence confrontant les classes obtenues (colonnes) et les classes désirées (lignes) pour l'échantillon. Un des intérêts de la matrice de confusion est qu'elle montre rapidement si le système parvient à classer correctement. Ces tableaux présentent les pourcentages de pixels. Dans la diagonale, en gris se situe le pourcentage de pixels bien classés, par type d'occupation du sol.

**TABLEAU VIII : Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986**

	RE	HA	SN	FM	FS	FD	CR	CV	Précision utilisateur	Commission
<b>RE</b>	99,52	0	0	0,03	0				100	0
<b>HA</b>	0,05	79,5	8,91	0	0		0,11		87,41	12,59
<b>SN</b>	0,07	19,2	88,76	0	0		0,12	3,2	78,58	21,42
<b>FM</b>	0,35	0	0	86,96	5,63	1,48			84,07	15,93
<b>FS</b>	0	0	0	4,78	93,72	0,08	0,01		97,35	2,65
<b>FD</b>	0	0	0	4,67	0,56	98,11	37,13	0,13	56,25	43,75
<b>CR</b>	0,01	0,2	0,19	3,56	0,1	0,33	61,74	1,21	94,67	5,33
<b>CV</b>	0	1,1	2,14	0	0		0,88	95,47	95,35	4,65
<b>TOTAL</b>	100	100	100	100	100	100	100	100		
<b>Précision réalisateur</b>	99,52	79,5	88,76	86,96	93,72	98,11	61,74	95,47		
<b>Omission</b>	0,48	20,5	11,24	13,04	6,28	1,89	38,26	4,53		

*SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire*

*(Source : Classification de l'image LANDSAT de 1986)*

**TABLEAU IX: Matrice de confusion de la classification de l'image de 2000**

	RE	HA	SN	FM	FS	FD	CR	CV	Précision utilisateur	Commission
<b>RE</b>	99,3	0	0	0	0			0	100	0
<b>HA</b>	0,52	80,38	3,42	0	0		1,63	0	84,64	15,36
<b>SN</b>	0,01	19,06	96,41	0	0		2,47	0	59,25	40,75
<b>FM</b>	0,18	0	0	95,59	5,63	1,04	3,47	0	69,29	30,71
<b>FS</b>	0	0	0	2,79	93,72	0,53	4,36	0	96,16	3,84
<b>FD</b>	0	0,05	0	1,15	0,56	98,14	30,36	3,71	69,17	30,83
<b>CR</b>	0	0,27	0,17	0,47	0,1	0,27	49,76	0,85	98,39	1,61
<b>CV</b>	0	0,25	0	0	0	0,03	7,94	95,44	72,2	27,8
<b>TOTAL</b>	100,01	100,01	100	100	100	100	100	100		
<b>Précision réalisateur</b>	99,3	80,38	96,41	95,59	93,95	98,14	49,76	95,44		
<b>Omission</b>	0,7	19,62	3,59	4,41	6,05	1,86	50,24	4,56		

*SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire*

*(Source : Classification de l'image LANDSAT de 2000)*

La matrice de confusion de 1986 (Tableau VIII), présentent des pixels bien classés à plus de 90 %, par classe, sauf, pour la classe des formations marécageuses où le pourcentage de pixels bien classés n'est que de 89,13. Ce pourcentage de pixels bien classés est dû au fait qu'il y a une confusion entre ces formations marécageuses et d'autres thèmes. En effet, 10,87% des formations marécageuses a été omis et affectés à d'autres type d'occupation du sol. Les formations marécageuses présentent une commission de 28,38%. Les erreurs d'omissions et de confusions sont très faibles dans l'ensemble, ce qui est synonyme de bons résultats de la classification.

Pour la classification de 2000 (Tableau IX), 94,5927% (une précision globale) des 81889 pixels échantillons ont été correctement classées. C'est une précision satisfaite en termes de qualité de classification. De grandes différences sont notées, dans l'analyse individuelle des différents types d'occupation du sol. Les taux de pixels bien classés sont en général, supérieur à 90%, notamment la classe « Eau », avec 99,82% de pixels purs. Mais deux types d'occupation du sol ont un taux de pixel bien classé environnant les 70%. Ce sont les forêts dégradées et les formations marécageuses avec respectivement 73,13% et 74,89%. En effet, 26,87% des forêts dégradées sont omis, au détriment des forêts avec 26,3% de commission. Dans le cas de la classe « formations marécageuses », l'omission est à hauteur de 25,11% pour une répartition entre la forêt dense sempervirente (20,76%), la forêt dégradée (1,73%) et les cultures et jachères à 2,61% de commission. Les erreurs d'omission sont plus élevées pour les classes où le taux de pixels bien classés est bas (Forêts dégradées 26,87%).

En 2013, la classification présente des pixels bien classés pour la majorité des thèmes, à plus de 90% (Tableau X). Néanmoins, une confusion existe entre les forêts dégradées et les cultures de rente à hauteur de 29,19% et 5,32% aux forêts denses sempervirentes. Néanmoins les erreurs de commission et d'omission sont assez faibles, ce qui garantit une bonne que la classification.

**TABLEAU X: Matrice de confusion de la classification de l'image de 2013**

	RE	HA	SN	FM	FS	FD	CR	CV	Précision utilisateur	Commission
RE	96,12	0	0	0	0	0		7,97	98,97	1,03
HA	0	91,78	0,25	0	0	0	0,19	0	99,63	0,37
SN	0	8,03	99,5	0	0	0	0,46	0	81,83	18,17
FM	0	0	0	90,65	1,88	0,03	6,87	0,29	85,49	14,51
FS	0,01	0	0	1,82	92,8	8,02	0,06	0	94,84	5,16
FD	0	0	0	0,03	5,32	91,01	29,19	0,07	59,93	40,07
CR	0,04	0,17	0,25	3,56	0	0,94	56,32	19,42	75,45	24,55
CV	3,74	0,02	0	3,94	0	0	6,92	72,24	63,21	36,79
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100,01	100		
Précision réalisateur	96,12	91,78	99,5	90,65	92,8	91,01	56,32	72,24		
Omission	3,88	8,22	18,17	0,5	7,2	8,99	43,68	27,76		

SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
 FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire  
 (Source : Classification de l'image LANDSAT de 2013)

**TABLEAU XI : Statistiques de la qualité des classifications**

	1986	2000	2013
précision globale (%)	94,64	92,24	89,91
coefficient Kappa	0,90	0,88	0,86

**Tableau XII: Etat de l'occupation du sol dans la zone RAMSAR de grand-Bassam et ses environs**

Types d'occupation du sol	Situation en 1986		Situation en 2000		Situation en 2013	
	ha	%	ha	%	ha	%
Retenues d'eau	21 750,56	15,66	21 750,56	15,66	22 753,53	16,38
Habitats	1 212,29	0,87	6 068,97	4,37	7 927,84	5,71
Sols nus	7 727,22	5,56	10 438,43	7,51	4 411,03	3,18
Formations marécageuses	8 664,15	6,24	4 714,52	3,39	3 928,34	2,83
Forêt dense sempervirente	16 209,60	11,67	11 720,07	8,44	8 286,97	5,97
Forêt secondaire	27 938,27	20,11	28 123,91	20,25	24 014,79	17,29
Cultures de rente	25 838,70	18,60	28 955,57	20,85	53 498,78	38,52
Cultures vivrières	29 562,18	21,28	27 130,93	19,53	14 081,69	10,14
<b>TOTAUX</b>	<b>138 902,98</b>	<b>100</b>	<b>138 902,98</b>	<b>100,00</b>	<b>138 902,97</b>	<b>100,00</b>

(Source : Classification des images LANDSAT de 1986, 2000, 2013)

### 5.1.3. Etat de l'occupation des sols en 1986, 2000 et 2013

L'occupation du sol évolue en fonction des besoins des populations, dans la zone. Il est important de quantifier les surfaces couvertes par les différents types d'occupation du sol, aux différentes dates (Tableau XII), pour mieux appréhender l'évolution du milieu.

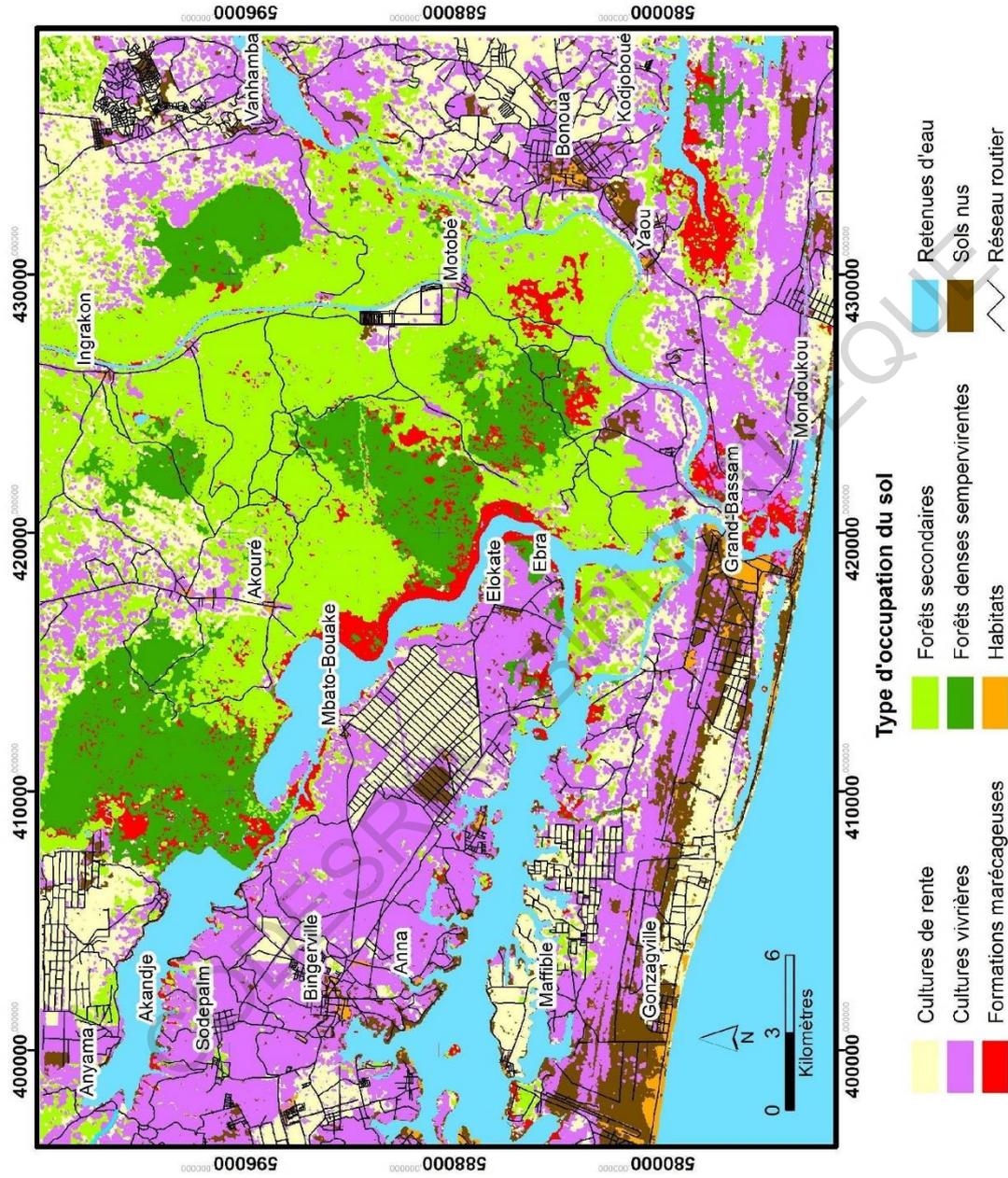
#### 5.1.3.1. L'occupation du sol en 1986

En 1986, la zone d'étude est humanisée à 46,32% avec 29 562,18 hectares de cultures vivrières, qui représentent le type d'occupation du sol le plus important (Figure 16). Les cultures de rente sont moins importantes avec 25 838,70 hectares. A cette date, l'habitat représente une infime partie de l'espace et s'estime à 0,87%. Les sols nus, destinés à la culture ou à l'urbanisation, représentent 7 727,22 hectares de la zone étudiée.

Les superficies forestières sont évaluées à 52 812,02 hectares, soit 38,02%. Elles sont constituées de formations marécageuses, de forêts denses sempervirentes et de forêts dégradées. Les forêts sempervirentes sont des forêts humides vertes et fermées dominées par les types à *Turraenthus Affricanus* et *Pavifolia*, pauvres en espèces floristiques (BROU, 2008). Elles représentent 16 209,60 hectares, soit 11,67% de la superficie totale de la zone d'étude (Figure 17).

Les formations marécageuses regroupent les forêts marécageuses et les mangroves. Elles couvrent à 8 664,15 hectares. Leur physionomie et leurs caractéristiques floristiques sont très différentes des forêts de terre ferme. Une strate arborée, homogène, peu élevée et dense domine un sous-bois riche en hautes herbes.

D'un point de vue botanique, les espèces les plus caractéristiques sont *Halopeia Azurea* (Marantaceae), *Marantochloa Purpurea* (Marantaceae), *Costus Schlechteri* (Zingiberaceae). Dans les forêts marécageuses, les lianes sont peu nombreuses, les contreforts sont absents et les épiphytes rares, sauf à la base des troncs. En revanche, il y a beaucoup de racines-échasses et de pneumatophores.



**Figure 16: Occupation du sol en 1986 dans la zone RAMSARRAMSAR de grand-Bassam et ses environs**

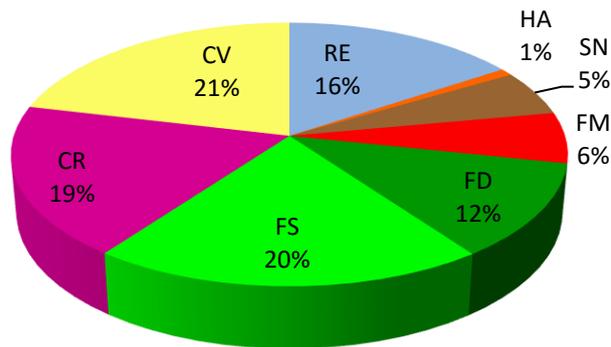
Les mangroves sont présentes dans les estuaires, sur les sols hydromorphes salés à Gley, résultant de l'accumulation d'alluvions, et soumis à l'influence des marées. Elles sont constituées de palétuviers rouges à racines-échasses *Rhizophora Racemosa* qui s'observent en bordure du fleuve Comoé et des lagunes. Plus près de terre s'installent les palétuviers blancs à pneumatophores *Avicennia Africana*. Ils sont interrompu par endroit par des végétaux associés comme le *Paspalum Vaginatatum* et des touffes dressées d'*Acrisichum Aureum* (BROU, 2008). Mais, chétive et mal conservée, elles se distinguent difficilement des formations auxquelles elle est associée sur l'imagerie satellitaire.

Les forêts secondaires constituent les superficies les plus importantes de ces formations forestières avec 27 938,27 hectares (20,11%). Il s'agit d'un faciès dégradé des forêts denses.

#### **5.1.3.2. L'occupation du sol en 2000**

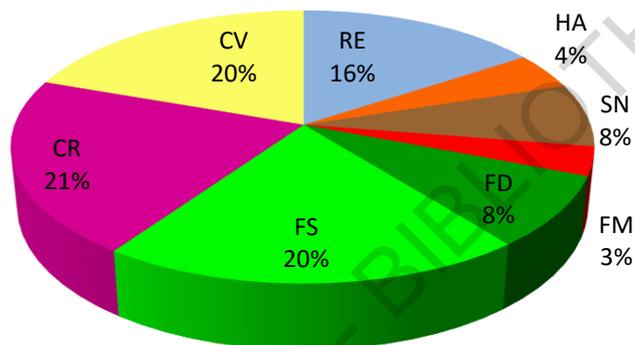
En 2000, Les superficies humanisées représentent plus de la moitié des superficies ; environ 52,26% des surfaces totales (Figure 20). Mais, les cultures, à elle seules représentent 77,26% de ces espaces; répartis entre 27 130,93hectares de cultures vivrières et 28 955,57 hectares de cultures de rente ; c'est à dire respectivement 20,85% et 19,53%.

Les formations marécageuses et les forêts denses sempervirentes s'évaluent respectivement à 4 714,52 et 11 720,07 hectares. Les forêts secondaires représentent encore une fois, la part la plus importante des formations forestières avec 28 123,91hectares, soit un pourcentage de 20,25% (Figure 18).



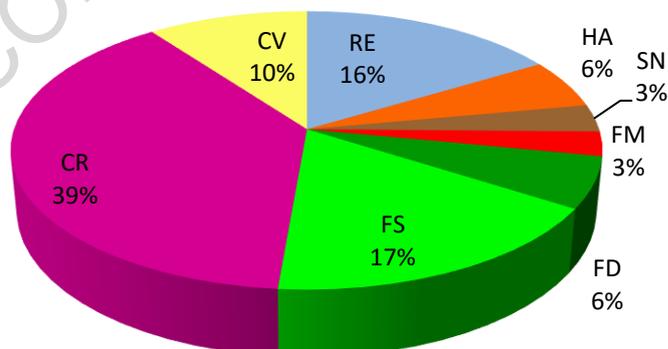
SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
 FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire

**Figure 17: Situation de l'occupation du sol en 1986**



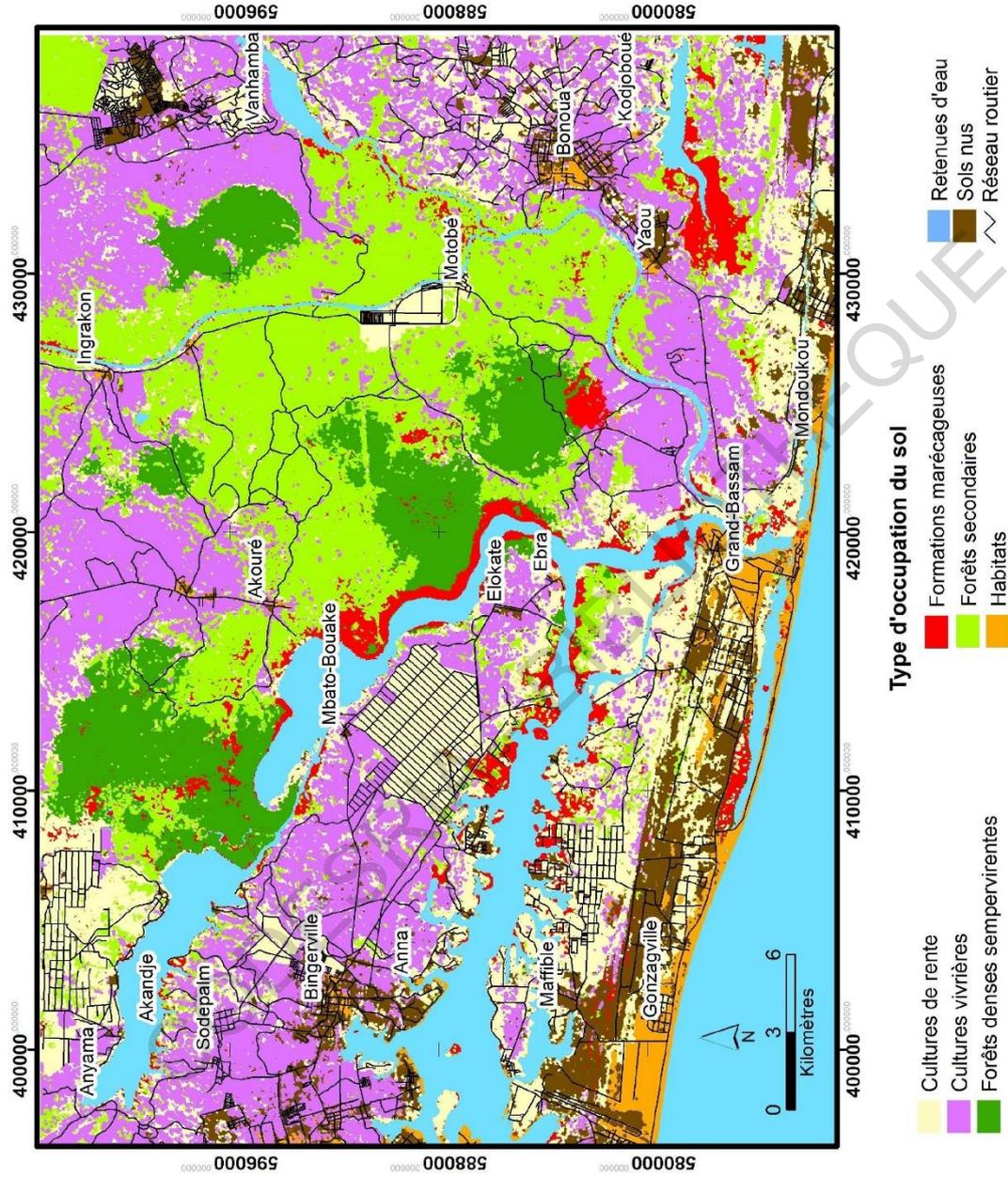
SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
 FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire

**Figure 18: Situation de l'occupation du sol en 2000**



SN : sol nu    HA : Habitat    CR : Culture de rente    CV : Cultures vivrière  
 FM : Formation marécageuses    FD : Forêt dense sempervirente    FS : Forêt secondaire

**Figure 19: Situation de l'occupation du sol en 2013**



Source: Image Landsat ETM+, scène 056-195 du 2 Février 2000

Conception et réalisation: AKADJE Marie-Claude

**Figure 20: Occupation du sol en 2000 dans la zone RAMSARRAMSAR de grand-Bassam et ses environs**

### 5.1.3.3. L'occupation du sol en 2013

La cartographie de l'occupation du sol en 2013 fait apparaître une juxtaposition de milieux naturels et humanisés divers (Figure 21). Les milieux naturels sont constitués de paysages forestiers plus ou moins bien conservés couvrant 36 230,10 ha, soit 26,08 % de la superficie totale. Physionomiquement, les forêts observées constituent deux ensembles majeurs : les forêts denses sempervirentes, les forêts marécageuses évoluant toutes vers des faciès secondaires

Les forêts denses sempervirentes couvrant une superficie de 8 286,97 hectares, sont remarquables par leur architecture originelle stratifiée, dominée par des arbres adultes puissamment ramifiés et pouvant atteindre 80m de haut (RIOU, 1999).

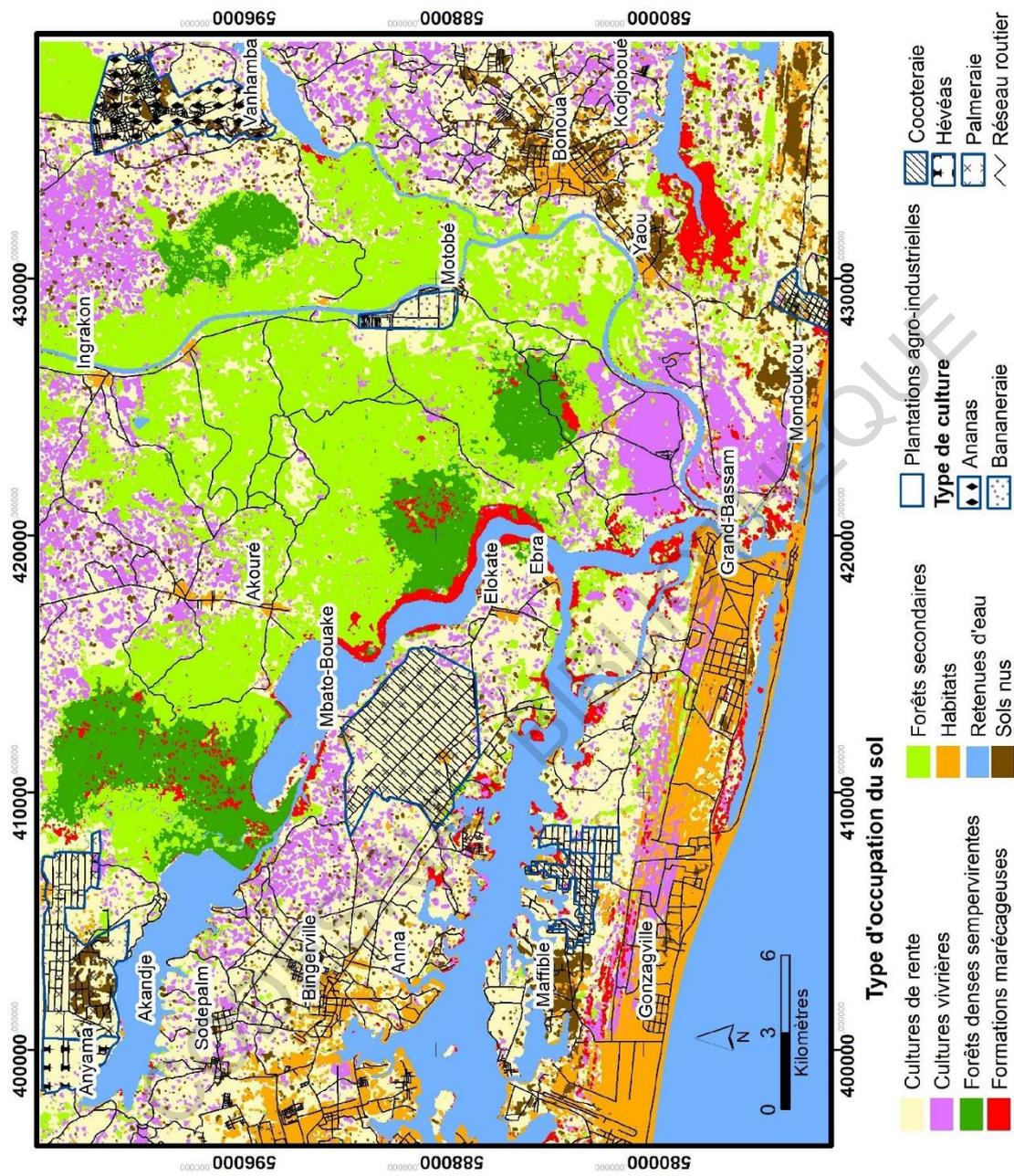
Les formations marécageuses représentent une surface totale de 3 928,34 hectares, soit 2,83% de la superficie de la zone d'étude. La carte d'occupation du sol en 2013 met en évidence toutes les formations marécageuses existantes dans la zone.

Les espaces humanisés occupent une superficie de 79 919,34 hectares, (soit 57,54%). L'habitat s'étend sur 5,71% de ces espaces (Figure 19). Les sols nus pour la mise en culture ou l'urbanisation constituent une infime partie de l'espace (3,18 %). Le reste de ces espaces humanisés, a fait l'objet d'une mise en valeur agricole intensive. La majorité des terres est couverte par l'agriculture de rente avec 53 498,78 hectares de terres. Les cultures vivrières sont pratiquées pour la plupart sur des surfaces modestes. Elles occupent 14 081,69 hectares (10,14%) de la surface totale de la zone d'étude.

### 5.1.4. Discussion

Dans cette étude, les différents indices (NDVI, Brightness...) appliqués à l'imagerie satellitaire LANDSAT ont aidé à la distinction spectrale des différents milieux écologiques de la zone étudiée.

Cette discrimination spectrale des types d'occupation du sol a fait suite à une importante campagne de terrain qui a permis la collecte de données des différentes unités spatiales. Les traitements numériques ont donc été validés par l'analyse statistique des résultats. Diverses mesures d'appréciation de la qualité des classifications existent, mais pour la plupart, elles dérivent de la matrice de confusion (CHUVIECO, 1990 ; DUCROT, 2005, ATTA, 2009). L'analyse de la matrice de confusion consiste à déterminer la précision globale.



**Figure 21: Occupation du sol en 2013 dans la zone RAMSARRAMSAR de grand-Bassam et ses environs**

L'analyse de la matrice de confusion consiste à déterminer la précision globale. La précision global évoluant entre 75% et 100% est jugé très satisfaisante dans le cadre d'une classification par maximum de vraisemblance pour le milieu tropical (N'DOUME et *al* cités par OSWALD, 2005).

La précision globale du traitement numérique (Tableau XV) des images LANDSAT estimées à 94,64%, 92,24% et 89,9% respectivement pour les années 1986, 2000 et 2013 restent très proches des valeurs obtenues par d'autres auteurs ayant travaillé dans la même zone. En effet, HAUHOLOT et *al.* (2011) ont obtenu une précision de 92% et 95% respectivement pour les années de 1986 et 2000 sur la même zone d'étude, en utilisant des images LANDSAT de 2000 et de 1986.

SAKO (2011) quant à lui a obtenu une précision globale de 79,16% et 97,6% en 1986 et 2007, en traitant des images LANDSAT et Spot XS couvrant une zone humide pas loin de notre zone d'étude. Ainsi, il existe une excellente correspondance entre la cartographie et les observations de terrain, pour les classifications de 1986, 2000 et 2013.

## **5.2. Dynamique de l'occupation du sol la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs entre 1986 et 2013**

De nombreuses mutations se sont succédées, dans cette zone, durant toutes ces années. Leur importance diverge selon le type d'occupation ou encore selon la période.

### **5.2.1. Changement d'affectation des sols entre 1986 et 2000**

#### **5.2.1.1. Les zones de stabilité**

La période de 1986 à 2000 est période de stabilité relative. En effet, 60,93% du territoire étudié s'est maintenu dans le temps sans que ses caractéristiques ne changent vraiment. (Tableau IX). Aussi, Toutes les unités spatiales présentent une stabilité supérieure à 40%, avec quelques disparités.

Les superficies de l'habitat, des forêts denses sempervirentes, des formations secondaires rentes ont les taux de stabilité les plus élevés avec respectivement 100%, 72,30% et 68,12%. Les forêts secondaires stables couvrent de très grandes superficies (19 030,67 hectares).

Les espaces humanisés ont subi le plus de changements avec 42,24 % de stabilité pour les sols nus, 42,19% pour les cultures vivrières et 40,54 % pour les cultures de rente.

### **5.2.1.2. Dégradation et destruction des forêts**

Les zones forestières ont connu des transformations assez importantes (Figure 22). Environ 2 992,30 hectares formations marécageuses et 3 286 hectares de forêts denses sempervirentes, en 1986, sont devenus des forêts dégradées en 2000. Cela ne représente que 4,56% de la superficie totale de la zone. Néanmoins vu sous un autre angle, Ces taux représentent 34,54% de formations marécageuses et 20,28% de forêt dense devenue forêt secondaire. Des surfaces relativement plus petites, de ces forêts originelles (1,49%) sont directement mises en culture ; utilisant 10,02% des formations marécageuses et 7,38% des forêts dense. Les changements de ces unités spatiales en habitat (0,05%) ou en sol nu (0,02%) sont des superficies insignifiantes.

Les forêts secondaires sont mises en grande partie en culture (31,44% des forêts secondaires). Cela correspond à 4 012,33 hectares de terre (2,89% des superficies étudiées) converties en culture de rente et 4 770,21 hectares transformés en cultures vivrières (3,43%).

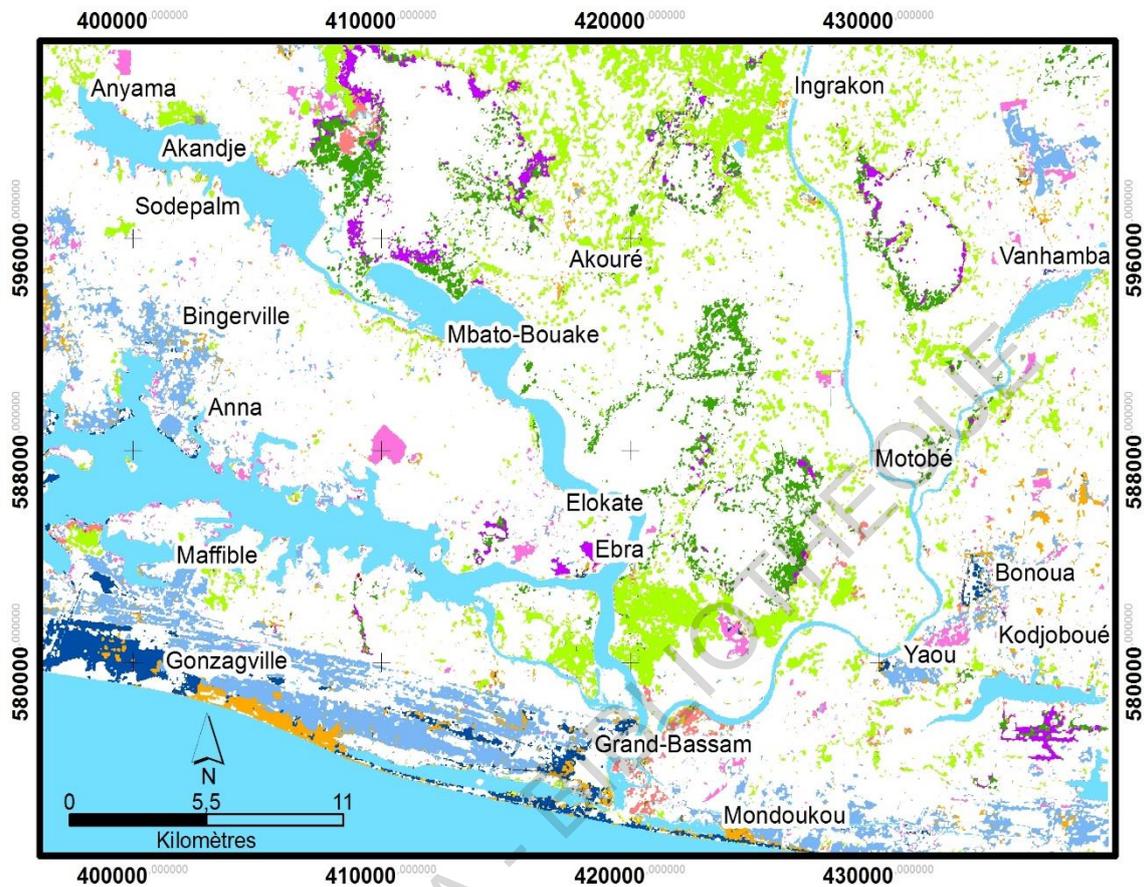
D'infimes surfaces de forêts dégradées sont transformées au profit de l'habitat (0,18%) ou en sols nus (0,27%).

### **5.2.1.3. Les autres changements d'affectation**

Les superficies de cultures de rente sont converties à 33,29% en cultures vivrières. Ceci représente. 8 602,73 ha de cultures de rente. Les superficies de cultures de rente transformées en habitats et en sols nus représentent respectivement 1 464,62 et 2 482,93 hectares de ses surfaces (soit 5,67% et 9,61% de cultures de rente)

Les unités spatiales « Cultures vivrières » subissent les mêmes mutations que les cultures de rente, avec des taux sensiblement équivalent. En effet, le changement des superficies de cultures vivrières en superficies de cultures de rente atteint 38,49 % des cultures vivrières. Et des terres de cultures vivrières plus importante que celles des cultures de rente ont été converties en sol nus (4 588,44 hectares, soit 15,52 % des cultures vivrières). 3,79% de ces cultures sont reconverties en habitats.

En somme, entre 1986 et 2000 des mutations, pas très profondes, se sont opérés dans la zone de grand-Bassam et ses environs.



### CHANGEMENTS D'AFFECTATION DES SOLS ENTRE 1986 et 2000



Sources: Image Landsat TM, Scène 056-195 du 18 Janvier 1986  
et image Landsat ETM+, Scène 056-195 du 2 Février 2000

Réalisation: AKADJE Marie-Claude

**Figure 22 : Changement d'affectation des sols entre 1986 et 2000**

## **5.2.2. Changement d'affectation des sols entre 2000 et 2013**

La comparaison des états d'occupation du sol de 2000 et 2013 donne une idée des mutations opérées dans les différents paysages (Figure 23). Le tableau X présente les résultats statistiques des différentes mutations. Ils indiquent les surfaces et leurs taux correspondant aux différentes classes de transition.

### **5.2.2.1. Les zones de stabilité**

Entre 2000 et 2013, aussi il persiste des zones de grandes stabilités. Les forêts denses sempervirentes ont, une stabilité de 71,66%, soit 8 286,97 hectares qui représentent 5,97 % de la surface totale étudiée. L'une des raisons de cette stabilité est la présence de la forêt classée de N'Guéchie dans la zone étudiée. Il en est de même pour les forêts dégradées; elles ont conservés 68,12% de leurs terres, sur la période.

54,86% de superficies des formations marécageuses, en 2000 n'ont pas changé d'affectation en 2013. Pareillement à la période précédente, les zones de cultures vivrières et de sols nus sont les unités spatiales qui subissent le plus de transformation avec respectivement 30,25% et 13,07% de superficies inchangées. Néanmoins, Les cultures de rente atteignent 78,33% de stabilité et représentent avec les forêts dégradées les types d'occupation s du sols les plus importants (respectivement 19 193,52 et 19 186,99 hectares).

A côté de cette stabilité le milieu a subi de profonds changements à hauteur de 37,92% de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs.

### **5.2.2.2. Dégradation et destruction des forêts**

Les changements ont affecté 34,76 % des forêts originelles. Sous la pression humaine, les forêts de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs ont évoluées pour leur grande part, vers un faciès de forêts dégradées, qui représente 66,28% des surfaces forestières en 2013. En effet, 25,11 % des forêts denses sempervirentes et 26,86 % des formations marécageuses, de l'année 2000, ont évoluées vers un faciès de forêts dégradées. Cette conversion représente 4 827,80 hectares de forêts. Une petite partie de ces superficies forestières originelles ont été défrichées et directement mises en culture (avec 17,78% de formations marécageuses et 3,20% forêts sempervirentes). Ces portions de terres forestières directement utilisées pour l'agriculture représentent 1 635,39 hectares. Des surfaces infimes de ces superficies forestières ont été converties en sols nus ou en habitat (moins de 1%).

**TABLEAU XIII : Tendance d'évolution des types d'affectations au sol entre 1986 et 2013 (en hectare)**

	Situation en 1986	Situation en 2000	Situation en 2013	Evolution 1986 - 2000	Evolution 2000 -2013	Evolution 1986 -2013
Retenues eau	21 750,56	21 750,56	22 753,53	0,00	-279,41	93,56
Habitats	1 212,29	6 068,97	7 927,84	4 856,68	1500,1	4767,74
Sols nus	7 727,22	10 438,43	4 411,03	2 711,21	-5564,75	-2607,84
Formations marécageuses	8 664,15	4 714,52	3 928,34	-3 949,62	-249,85	-1209,97
Forêts	16 209,60	11 720,07	8 286,97	-4 489,53	-1042,36	-3021,8
Forêt secondaire	27 938,27	28 123,91	24 014,79	185,64	-651,41	-1745,34
Cultures de rente	25 838,70	28 955,57	53 498,78	3 116,87	25921,65	25048,72
Cultures vivrières	29 562,18	27 130,93	14 081,69	-2 431,25	-19633,97	-21325,06

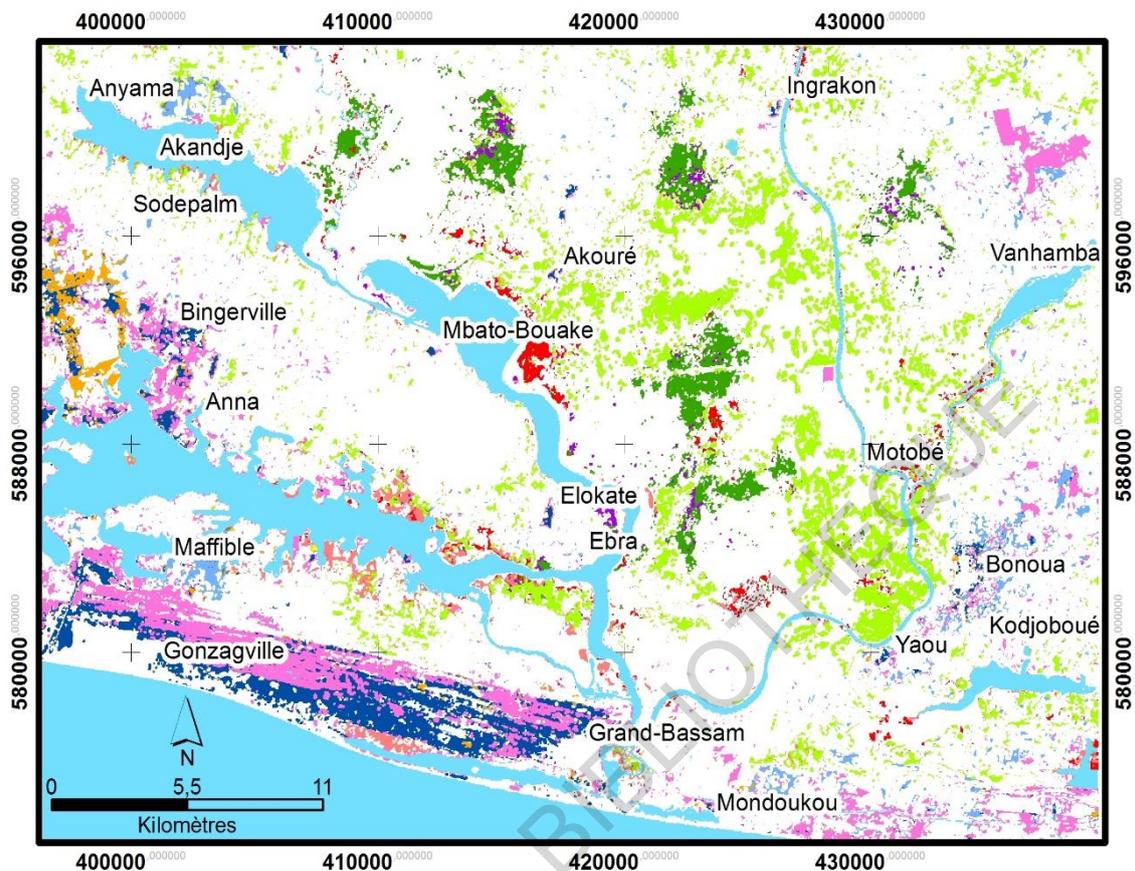
*Sources : Nos travaux*

**TABLEAU XIV: Matrice de transition des surfaces des types d'occupation du sol à Grand-Bassam et ses environs entre 1986 et 2000 (en hectares)**

1986	RE	HA	SN	FM	FD	FS	CR	CV	TOTAL
2000									2000
RE	21 750,56								21 750,56
HA		1 212,29	2 153,94	64,79	1,89	50,82	1 464,62	1 120,62	6 068,97
SN			3 263,67	24,78	4,36	74,25	2 482,93	4 588,44	10 438,43
FM				4 714,52					4 714,52
FD					11 720,07				11 720,07
FS				2 992,30	3 286,68	19 030,67	2 814,26		28 123,91
CR			1 543,21	667,60	878,80	4 012,33	10 474,15	11 379,49	28 955,57
CV			766,40	200,16	317,80	4 770,21	8 602,73	12 473,62	27 130,93
TOTAL	21 750,56	1 212,29	7 727,22	8 664,15	16 209,60	27 938,27	25 838,70	29 562,18	138 902,98
1986									

RE : Retenues d'eau      HA : Habitats      SN : Sols nus      FM: Formations marécageuses  
 FD : Forêt dense sempervirente      FS: Forêt secondaire      CR : Cultures de rente  
 CV : Cultures vivrières

*Sources : Nos travaux*



### CHANGEMENTS D'AFFECTATION DES SOLS ENTRE 2000 et 2013



Sources: Images Landsat ETM+, Scène 056-195 du 2 Février 2000  
et Landsat OLI du 6 Juin 2013

Réalisation: AKADJE Marie-Claude

**Figure 23: Changement d'affectation des sols entre 2000 et 2013**

Les forêts dégradées, à leur tour, sont détruites au profit de l'agriculture. De ce fait, 29,25 % des forêts dégradées ont été mises en culture, entre 2000 et 2013. Il s'agit de 7 435,79 hectares pour les cultures de rente et 777,4 hectares pour les cultures vivrières. Une partie insignifiante (4,41%) de forêt secondaire a été bâtie ou transformée en sol nu.

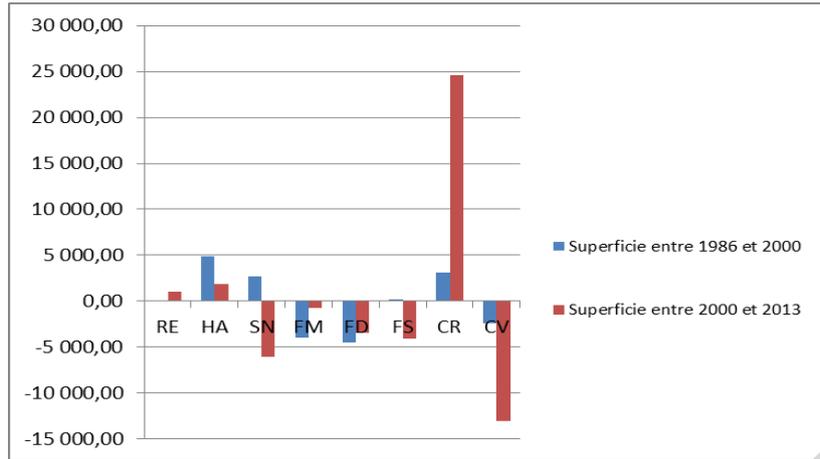
### **5.2.2.3. Les autres changements d'affectation**

Les sols nus ont été converti soit en habitat (31,25 % soit 3 462,80 hectares), soit en cultures de rente (42,27% soit 4 684,23 hectares) ou cultures vivrières (13,41% soit 1 448,23 hectares). L'unité spatial « Sols nus » est celui qui a subit le plus de mutation, à près de 86,93 %, durant la période 2000 à 2013.

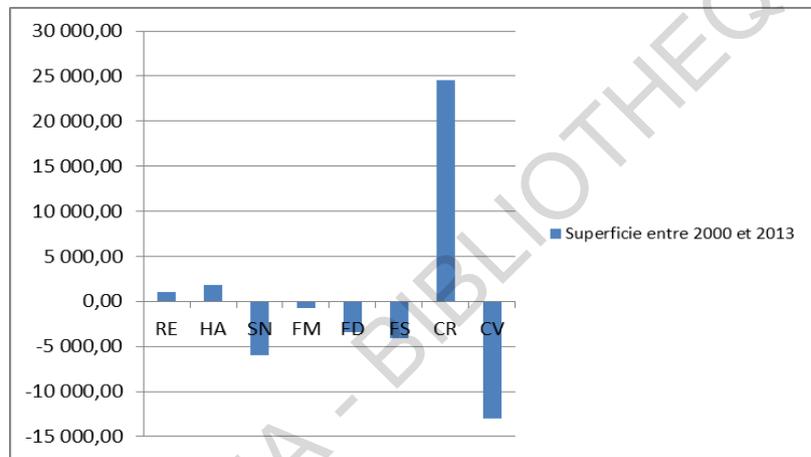
Des surfaces de cultures de rente sont mises à nu (5,15%) ou utilisées pour la construction d'habitat (1,98 %). Mais, 12,50 % sont reconverties en cultures vivrières.

Les changements d'utilisation du sol des surfaces de cultures vivrières ne diffèrent pas de ceux des cultures de rente. Les taux de mutations sont sensiblement égaux, sauf pour la reconversion des superficies de cultures vivrières en cultures de rente.

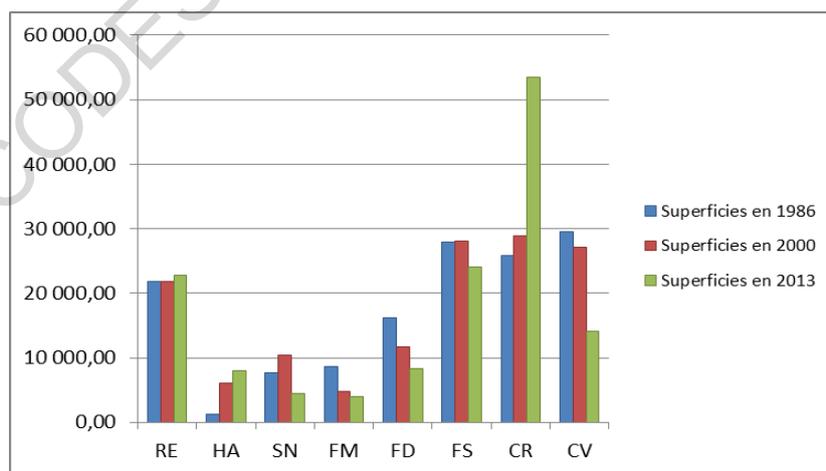
Ce taux qui est de 63,86% est le plus élevé de tous les taux de changement observés dans la zone d'étude à cette période. Les cultures de rente ont gagné 18 171,88 hectares, au détriment des cultures vivrières. Plus de 30,% des cultures vivrières sont reconverties en cultures de rente (18 110,29 hectares).



**Figure 24 : Evolution des unités d'occupation du sol entre 1986-2000 et 2000-2013**



**Figure 25: Evolution des unités d'occupation du sol sur les périodes 1986-2013**



**Figure 26 : Répartition des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2013**  
(Source : Traitements statistique des classifications des images LANDSAT)

### **5.2.3. Tendances d'évolution du milieu entre 1986 et 2013**

#### **5.2.3.1. Régression des milieux naturels sur 27 ans**

Durant les périodes de 1986 à 2000, et 2000 à 2013, une tendance à la baisse des différentes formations forestières est observée (figure 25).

Les forêts sempervirentes perdent jusqu'à 1979,44 hectares de leurs surfaces de 2000 à 2013, puis plus de 1000 hectares sur la seconde période. Un total de 3 021,80 hectares de forêts sempervirentes a été détruit.

Les formations marécageuses et les forêts dégradées en perdent respectivement 960,12 et 1 093,93 hectares sur la première période, puis 249,45 et 651,41 hectares de terres. Au total, 5 977,11 hectares de forêt ont été détruits durant les 27 années.

#### **5.2.3.2. Régression des cultures vivrières de 1986 à 2013**

Les cultures vivrières ne sont pas épargnées par cette perte de superficies. Elles sont en baisse sur toute la période d'étude. D'abord avec une baisse timide de 5% correspondant à 1 691,09 hectares, entre 1986 et 2000, les cultures vivrières perdent dans la seconde période 69% de surface. Il ne reste, en 2013, que 8 821,09 hectares de cultures vivrières.

#### **5.2.3.3. Accroissement de l'habitat**

Les superficies des habitats ont connu une hausse très importante, avec un taux de 58,78%, entre 1986 et 2000. La tendance est restée stable entre 2000 et 2013, mais cette fois, avec un taux de 21,25% (figure 26). De 2291,34 hectares de surfaces habitées en 1986, la zone d'étude a atteint en 2013 une superficie de 7 059,08 hectares.

#### **5.2.3.4. L'évolution des cultures de rente**

Les cultures de rente ont subi une perte de 872,93 hectares des superficies qu'elles couvraient, entre 1986 et 2000. Cette période coïncide avec l'explosion de l'urbanisation et l'arrivée de cultures de rente plus rentables telles que l'hévéaculture. Ces cultures ont gagnées du terrain entre 2000 2013, avec près de 25 921,65 hectares conquis. C'est une hausse fulgurante de plus de 52%, les cultures de rente ont doublé en superficies. Malgré la régression de 1986 - 2000, les cultures de rente connaissent de façon générale, sur la période de 1986 à 2013 une hausse sans égal (Figure 24).

**TABLEAU XV:** Matrice de transition des surfaces des types d'occupation du sol à Grand-Bassam et ses environs entre 2000 et 2013 (en hectares)

	RE	HA	SN	FM	FD	FS	CR	CV	TOTAL
<b>2000</b>									
<b>2013</b>									
<b>RE</b>	22 253,08						500,45		22 753,53
<b>HA</b>		3 401,67	3 462,80	10,53		10,87	484,88	557,10	7 927,84
<b>SN</b>			1 448,23	32,56	3,90	665,70	1 261,25	999,39	4 411,03
<b>FM</b>				3 928,34					3 928,34
<b>FD</b>					8 286,97				8 286,97
<b>FS</b>				1 923,73	2 904,07	19 186,99			24 014,79
<b>CR</b>		2 667,30	4 684,23	1 103,42	304,22	7 435,79	19 193,52	18 110,29	53 498,78
<b>CV</b>			1 485,47	162,37	65,38	777,40	3 062,05	8 529,02	14 081,69
<b>TOTAL</b>	22 253,08	6 068,97	11 080,73	7 160,95	11 564,54	28 076,75	24 502,15	28 195,80	138 902,97
<b>2000</b>									

*RE : Retenues d'eau      HA : Habitats      SN : Sols nus      FM: Formations marécageuses*  
*FD : Forêt dense sempervirente      FS: Forêt secondaire      CR : Cultures de rente*  
*CV : Cultures vivrières*

*Sources : Nos travaux*

### **5.2.3.5. Les sols nus en perte de superficies**

Sur la période de 1986 à 2000, les superficies des sols nus se sont accrues de 2 956,91 hectares, soit 29,23% de plus des superficies de 1986. Mais ces superficies, sur la période suivante ont été utilisées, soit pour l'agriculture, l'urbanisation, ou ont été reconverties en formations naturelles. De ce fait, elles ont régressé en perdant 5 564,75 hectares (55% de ces terres). L'évolution des unités d'occupation du sol « sols nus », de façon général est donc négative entre 1986 et 2013 avec une perte de plus de 36% de ses surfaces.

L'analyse des cartes d'occupation du sol et des statistiques d'évolution ont permis de constater une régression des superficies de formations forestières, des cultures vivrières et des sols nus ; ainsi que l'accroissement des surfaces de cultures de rente et de l'habitat.

### **5.2.4. Discussion**

Notre étude met en exergue la régression des formations forestières au profit de l'agriculture. Les résultats obtenus sur la zone RAMSAR et ses environs (136 208,24 ha) sont conformes à ceux obtenus par HAUHOUOT et al (2011) qui se limite à la partie Est de notre zone d'étude (21 442 ha). En effet, malgré la différence des surfaces prises en compte, ces travaux indiquent une augmentation des surfaces agricoles au détriment des surfaces forestières. En effet, l'agriculture de rente est la principale cause de la dégradation du milieu.

KOFFI (2012) a mis en exergue une perte des surfaces humides dans le sud-est ivoirien. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture en 2005, a estimé que la tendance d'évolution des zones humides est à la stabilité entre 2000 et 2005.

Mais, certains auteurs restent sceptiques concernant la dégradation de ces milieux. En effet, Cornier-Salem (1999) estime que ce sont des présomptions sur la dégradation de ces milieux car des études réalisées à des échelles plus fines concluent non au recul de celles-ci mais à leur dynamique progressive. Cependant, elle ajoute une précision de taille qui est l'échelle de temps à ne pas négliger, car des changements qui peuvent être mineurs sur des millénaires peuvent s'avérer rapide sur une dizaine d'année. Le résultat des recherches de Allard et al, en 2005, concluent que des milieux humides, comme d'autres ont vu se succéder emprises et déprises humaines. Ces espaces après leur exploitation économique, connaissent un retour à leur milieu originel.

### **5.3. Modèle de transformation de la zone RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs**

#### **5.3.1. Importance de la modélisation des mutations de l'espace**

La mise en perspective spatio-temporelle d'un territoire permet de décrypter les déterminants naturels et sociaux des principes d'organisation spatiale détectés lors de l'analyse de la mise en valeur de l'espace. Dans une perspective de gestion durable du territoire, il est primordial de prendre en compte les dynamiques spatiales qui permettent d'explicitier des principes de la mise en valeur de l'espace : processus biophysiques et humains, événements et conséquences spatiales.

#### **5.3.2. Modèle de la dynamique du paysage dans la zone de grand-Bassam et ses environs**

L'analyse spatiale de l'occupation du sol et l'étude de la dynamique du milieu permettent de comprendre les processus qui sous-tendent la transformation du milieu.

Ainsi, un modèle de transformation du milieu a été suggéré de ces différentes analyses spatiales qui précèdent (Figure 27). C'est un système qui explique l'organisation du milieu et les liens existant entre ses différentes unités spatiales. Sa formulation s'exprime par la construction d'un modèle spatial, de type graphique, qui est une représentation formalisée du système de mise en valeur de la zone d'étude.

L'essentiel de ce système est le suivant :

##### **5.3.2.1. Niveau 1**

Dans la quête de leur bien-être, les populations exploitent le milieu naturel originel composé de formations marécageuses et de forêts denses sempervirentes. En effet, les prélèvements de bois de chauffe, bois d'œuvre, pour la pêche, l'exploitation forestière sont des pratiques qui ont cours dans de la région. Certaines superficies de forêt sont défrichées et directement mises en cultures. Elles correspondent à 2,29 % de forêt marécageuses et 1,22 % de forêt dense.

Cette dégradation de premier niveau est aussi entraînée par la présence de braconnage qui détruit le milieu pour se frayer des passages dans les forêts. Il s'agit d'une infime partie

de de superficies forestières. Néanmoins, les formations marécageuses mises en cultures, sont bien plus nombreuses que les forêts denses destinées à l'agriculture. En effet, la présence de gros arbres, dans les forêts denses freine les petits agriculteurs, dans la création de leur plantation.

A ce stade, les formations forestières originelles infiltrées, deviennent des forêts secondaires (30,70% de formations marécageuses et 22,69% de forêt dense), et une partie insignifiante (0.03%) des sols nus. C'est le début de la transformation du milieu.

### **5.3.2.2. Niveau 2**

Ces milieux de transition que sont les forêts dégradées sont convertis en exploitation agricole, à des proportions différentes, selon le type de culture. En effet, 9,92% de forêts dégradée est converties en zone cultures vivrières et 11,56% en zone de cultures de rente. Les cultures de rente dans cette zone, mobilisent les terres de plusieurs unités d'occupation du sol, à des proportions très importantes. C'est le cas de zones de cultures vivrières qui sont converties à 51,36%. Ces cultures sont ensuite détruites, après un certain nombre d'années, pour servir de terre pour l'urbanisation (6,71%).

L'urbanisation constitue le facteur mineur de la dynamique de l'occupation du sol dans la zone d'étude. Elle se fait au détriment des cultures, notamment des cocoteraies sur le littoral et des palmeraies dans le nord de notre zone d'étude. En effet, les constructions se font de manière anarchique aussi bien sur le long du littoral qu'à l'intérieur des terres. Les poches d'habitat sont donc nombreuses. L'expansion des agglomérations urbaines, notamment la croissance démographique, l'occupation accrue de l'espace et le développement des activités économiques (Industrie, Commerce, Artisanat, Secteur Informel), ont un impact sur les changements d'unité spatiale et par conséquent sur la conservation de la diversité biologique. Car en effet, la dynamique la plus marquée du développement urbain a été observée en zone forestière et plus particulièrement sur la frange littorale.

### 5.3.3. Discussion

Toutes ces tendances de dynamique sont du fait de facteurs anthropiques. Nos travaux déterminent l'agriculture de rente comme le facteur principal des dynamiques dans notre zone. BROU en 2008 renchérit en expliquant que 94% des forêts dense humide et mangroves ont été remplacées par des plantations ou des jachères entre 1955 et 2000, dans cette même zone. Ainsi les mutations touchent aussi les écosystèmes de mangrove. L'exploitation de bois, l'urbanisation ne sont pas sans conséquences les changements d'unités spatiales des sols. Cela est certifié par les travaux de HAUHOUOT (op. cité) qui montrent que l'accroissement de la population a un impact direct sur l'évolution du milieu. En effet, le développement de l'urbanisation et ses aménagements correspondants (lotissements, routes, zones d'activités, parkings, décharges...) se fait au détriment du couvert végétal: disparition totale, cloisonnement, mitage des zones humides et forestières, pollution chimique et physique.

Nos résultats sont aussi en accord avec ceux de KOLI BI qui en 2010, remarque que la progression des surfaces consacrées aux cultures agro-industrielles (hévéa, cocotier, palmier à huile, ananas) constitue la dimension la plus originale de la transformation du littoral Est entre 1986 et 2000. En effet, l'introduction et le développement de ces cultures représentent un exemple édifiant des tendances agricoles sur le littoral ivoirien. En 14 ans, ces cultures ont réorganisé le paysage rural. Cela s'est fait sous la forme de reconversion des terres au détriment des cultures vivrières ou d'agrandissement au détriment de la forêt. Dans ce cas particulier, la forêt disparaît et laisse la place à une végétation secondaire mitée ou à une végétation marécageuse impropre aux cultures. Mais, dans nos travaux nous avons démontré que de plus en plus, la végétation marécageuse dite impropre aux cultures, par KOLI BI (Op. cité), ne l'ai plus, elle est maintenant utilisée pour des cultures de rente, des cultures vivrières, pour l'habitat.

Aussi, nos recherches révèlent que la perte de superficies de cultures vivrières est une menace pour l'autosuffisance alimentaire. René DUMONT, dans les années 1960, avaient déjà pressenti cette évolution des cultures d'exportation au profit des cultures vivrières, en Afrique. Il a été suivi, par d'autres chercheurs dans sa thèse (CHALEARD, 2003 ; SCHWARTZ, 1986) qui ont mis en garde contre la famine.

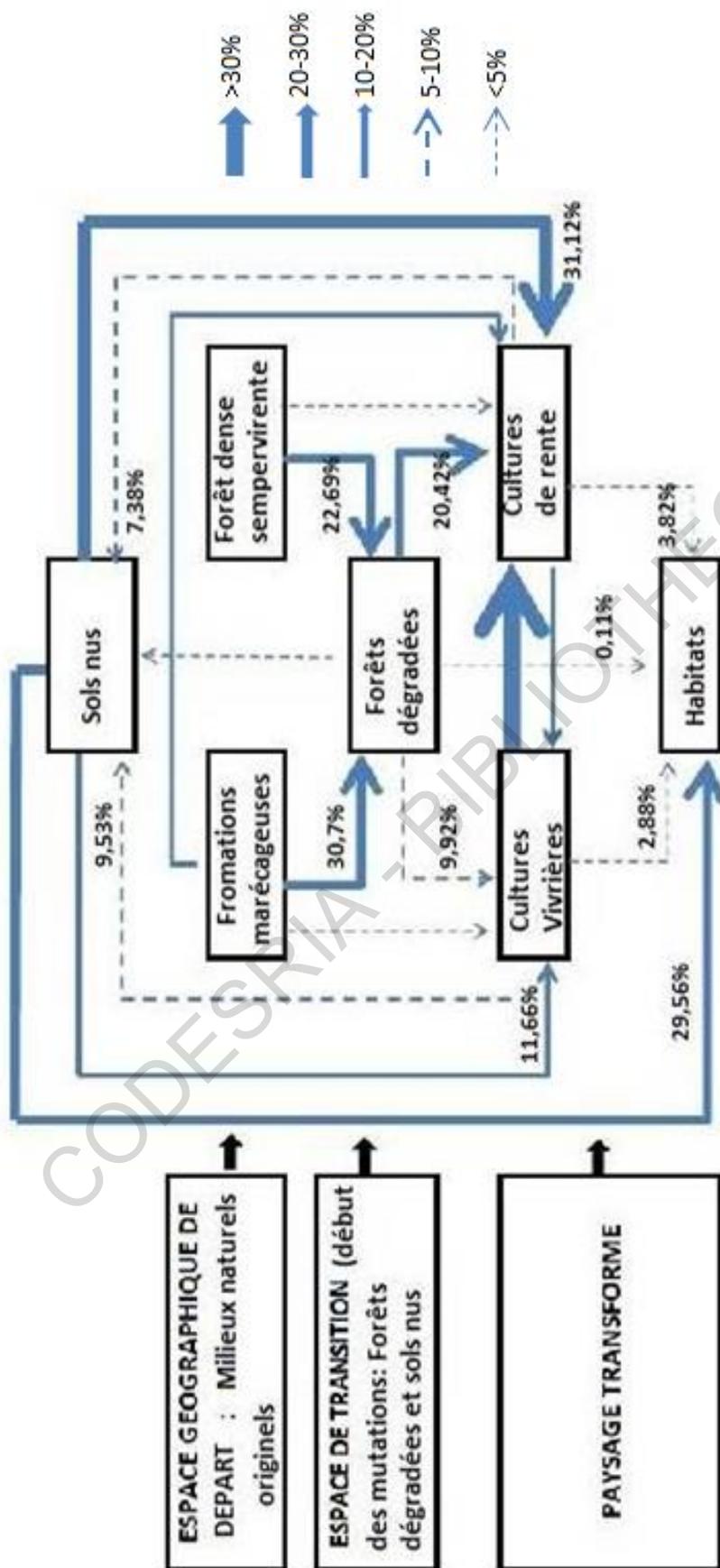


Figure 27 : Représentation graphique des mutations entre 1986 et 2013

### **CONCLUSION PARTIELLE :**

L'analyse de l'occupation du sol, entre 1986 et 2013, révèle que la zone de RAMSAR de Grand-Bassam a subi de profondes mutations. Les formations naturelles ont subies depuis 1986, des pressions humaines de natures diverses et ont été converties en formations dégradées, en zone de cultures ou en zone pour l'urbanisation, de façon générale.

Cette transformation du milieu se fait en deux étapes. A un premier niveau, Des prélèvements directs de bois, dans les forêts ont entraîné une dégradation des milieux naturels.

Ces milieux dégradés sont ensuite mis en culture pour la plupart, ou utilisés pour la construction d'habitats urbains. Ainsi, l'agriculture est le moteur principal de l'évolution du milieu.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## **CHAPITRE 6: EVALUATION DE LA PRESSION HUMAINE SUR LE MILEU NATUREL**

Evaluer la pression humaine revient à faire de la modélisation Ce chapitre mettra l'accent sur deux techniques de modélisation différentes.

### **6.1. Approche spatiale du risque de déforestation**

Les changements d'occupation du sol sont la résultante d'un ensemble dynamique entre l'environnement et l'Homme qui inclut les conditions d'accès aux ressources et les perceptions environnementales.

Les analyses précédentes ont révélées que le facteur de mutation principal dans cette zone est l'agriculture, suivie par l'urbanisation. Ce facteur est sous-tendu par une multitude de facteurs humains ou naturels entre autre le réseau routier, la proximité à des localités, le réseau hydrographique qui influent sur les différentes unités de paysage.

Il faut pouvoir modéliser la déforestation pour comprendre les liens entre les systèmes anthropiques qui causent la déforestation et les systèmes physiques qui sont affectés par la déforestation. Le développement de modèles de déforestation est motivé par trois bénéfices potentiels qui sont : la contribution à une meilleure compréhension des causes et des mécanismes de la déforestation, la prédiction des futurs taux de défrichement qui peuvent conduire à des décisions politiques en vue de répondre à ces évolutions.

Dans le cadre de ce travail, une première approche est tentée grâce à l'élaboration d'un SIG représentant l'évolution de la déforestation pour comprendre l'influence des différents facteurs sur la zone RAMSAR de Grand-Bassam. Cela revient à :

- Analyser les phénomènes par un SIG en fonction de facteurs déterminés,
- dresser une cartographie du risque de conversion des espaces forestiers en parcelles agroforestières.

## **6.1.1. Variables et occupation du sol**

### **6.1.1.1 La proximité du réseau hydrographique dans la dynamique de déforestation**

En général, Le réseau hydrographique est une variable importante dans la mise en place ou dans la gestion de plantations agroforestière. D'une part, il offre un accès plus aisé à certaines parcelles inaccessibles, et d'autre part, il facilite la mise en place d'exploitations agricoles. L'analyse de son impact, sur les forêts, est faite à partir de zones tampons générées au tour du réseau hydrographique constitué par les lagunes et grands cours d'eau présents dans la zone.

#### **6.1.1.1.1. Rapport entre la déforestation et la proximité du réseau hydrographique en 1986 à 2000**

Entre 1986 et 2000, 22% des forêts dégradées se situent entre 0 et 1000 mètres de distance du réseau hydrographique. Un peu plus de forêt (27%) ont été converties à une distance comprise entre de 2000 et 3000m du réseau hydrographique (Figure 28). Ce taux de forêt convertie, diminue à partir de cette distance du réseau hydrographique pour atteindre 12,64% à plus de 4000m du réseau hydrographique (Tableau XVI).

#### **6.1.1.1.2. Rapport entre la déforestation et la proximité du réseau hydrographique entre 2000 à 2013**

A cette période, la logique de déforestation n'est pas bien perçue. Entre 0 et 1000 m, la superficie forestière détruite atteint 15,04%, des forêts dégradées (Tableau XVII). Mais les superficies s'accroissent ou régressent entre 1000 et 2000m, 2000 et 3000m et à plus de 4000m respectivement avec 13,90%, 25,8%, 21,09% et 24,7% de forêt dégradée (Figure 29).

En tenant compte des zones tampons autour du réseau hydrographique, il n'existe aucune logique qui sous-tende cette dégradation des forêts, dans la zone.

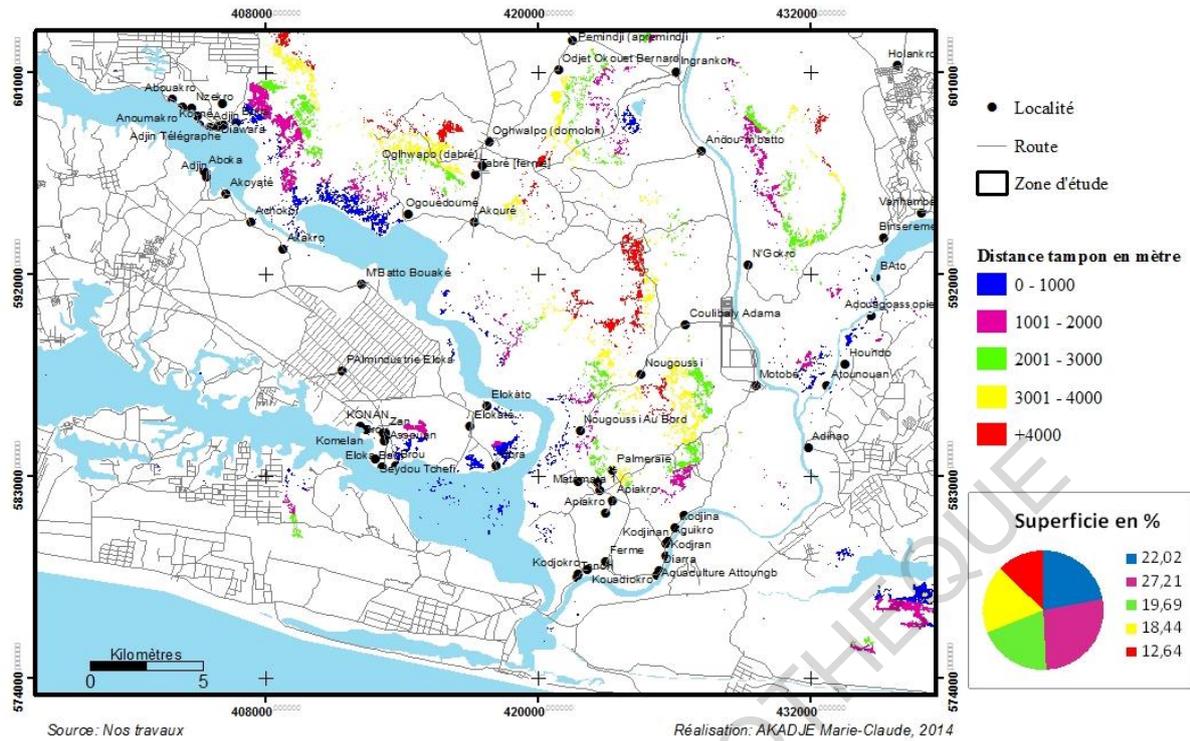


Figure 28: Forêt dégradée entre 1986 et 2000, en fonction de la proximité avec le réseau hydrographique

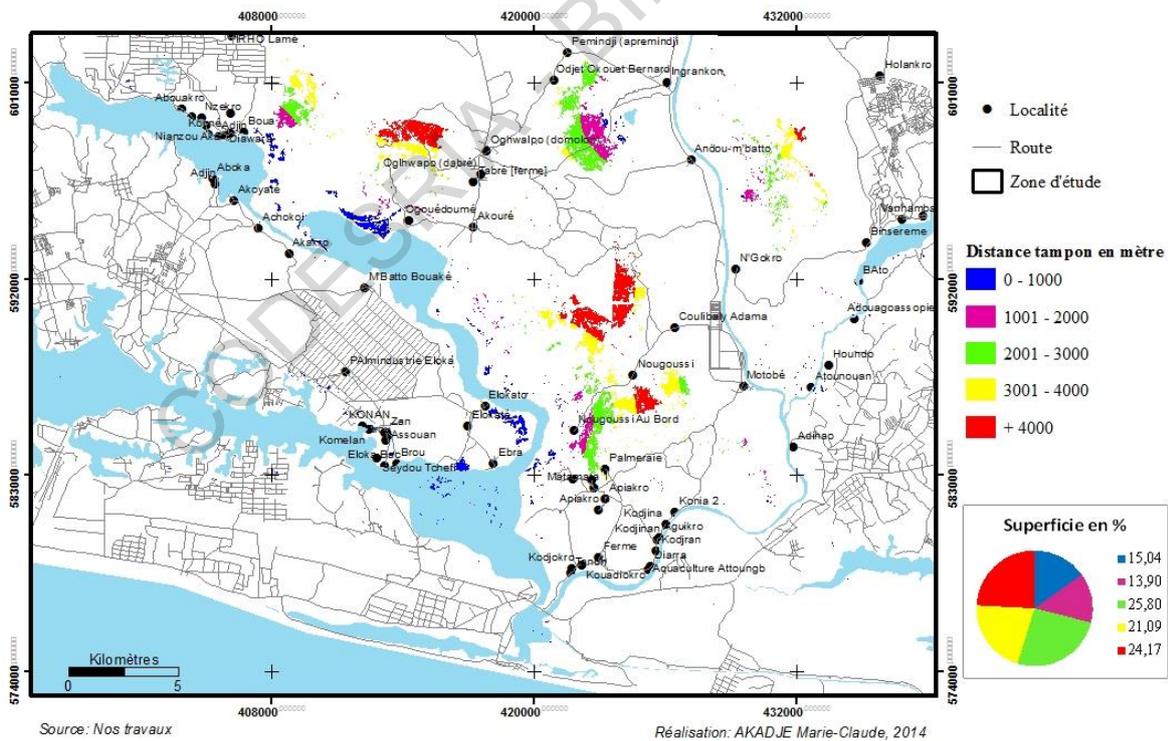


Figure 29 : Forêt dégradée entre 2000 et 2013, en fonction de la proximité avec le réseau hydrographique

**Tableau XVI: Forêt détruite par rapport à la proximité avec l'hydrographie entre 1986 et 2000**

<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE DE FORET DETRUITE (en HA)</b>	<b>SUPERFICIE DE FORET DETRUITE (en %)</b>
<b>1000</b>	859,573888	22,02
<b>2000</b>	1062,35504	27,21
<b>3000</b>	768,844601	19,69
<b>4000</b>	719,940244	18,44
<b>5000</b>	493,659421	12,64

**Tableau XVII : Forêt détruite par rapport à la proximité avec l'hydrographie entre 2000 et 2013**

<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE DE FORET DETRUITE (en HA)</b>	<b>SUPERFICIE DE FORET DETRUITE (en %)</b>
<b>1000</b>	423,163925	15,04
<b>2000</b>	391,017512	13,90
<b>3000</b>	725,797018	25,80
<b>4000</b>	593,407222	21,09
<b>5000</b>	679,860648	24,17

### **6.1.1.2. La proximité du réseau Routier dans la dynamique de déforestation**

Le rôle de la variable réseau routier n'est plus à démontrer dans l'extension des espaces en conversion. L'analyse est faite à partir de la totalité du réseau routier, pour la simple raison que les voies principales ne sont pas nombreuses et ne sont pas forcément proches des zones forestières transformées. Aussi, les chemins et les pistes créées par les exploitants ou par les braconniers, sont très fréquentés par les populations agricoles.

Le taux de déforestation est évalué par rapport à la proximité avec les routes, sur la base de la même distance tampon, cette fois générée autour du réseau routier.

#### **6.1.1.2.1. Rapport entre la forêt détruite et le réseau routier de 1986 à 2000**

Dans la période entre 1986 à 2000, 48% de la forêt a été détruite dans les 1000m, aux alentours des routes. Elle a été transformée en grande partie en forêt dégradée ; ce qui représente la moitié de la forêt transformée.

La zone tampon de 2000 m autour des routes, regroupe 31% de la forêt transformée. Ces proportions se réduisent encore plus avec l'éloignement des routes (17,62 à 3000 m, 2,12% à 4000m). A une distance de 5000m, la proportion de défrichement est nulle (Tableau XVIII). Ainsi, Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du réseau routier, le taux de déforestation régresse (Figure 30). La route est donc un facteur important dans la déforestation, à la période 1986 à 2000. En effet, c'est à partir des chemins et pistes laissés par les exploitants forestiers ou les braconniers que les populations agricoles s'introduisent dans les forêts, à pieds, à vélo ou à motocyclette.

#### **6.1.1.2.2. Rapport entre la forêt détruite et le réseau routier entre 2000 et 2013**

Entre 2000 et 2013, le phénomène de déforestation constaté suit la même logique qu'entre 1986 et 2000 (Figure 31). Plus l'on s'éloigne de la route, moins, il y a de dégradation de la forêt. Plus de la moitié de la déforestation a été faite dans les environs de 1000m de la route. Seulement 10,88% du total des forêts transformées se situent aux environs de 4km de la route (Tableau XIX). Au-delà de cette distance, les forêts n'ont pas été touchées.

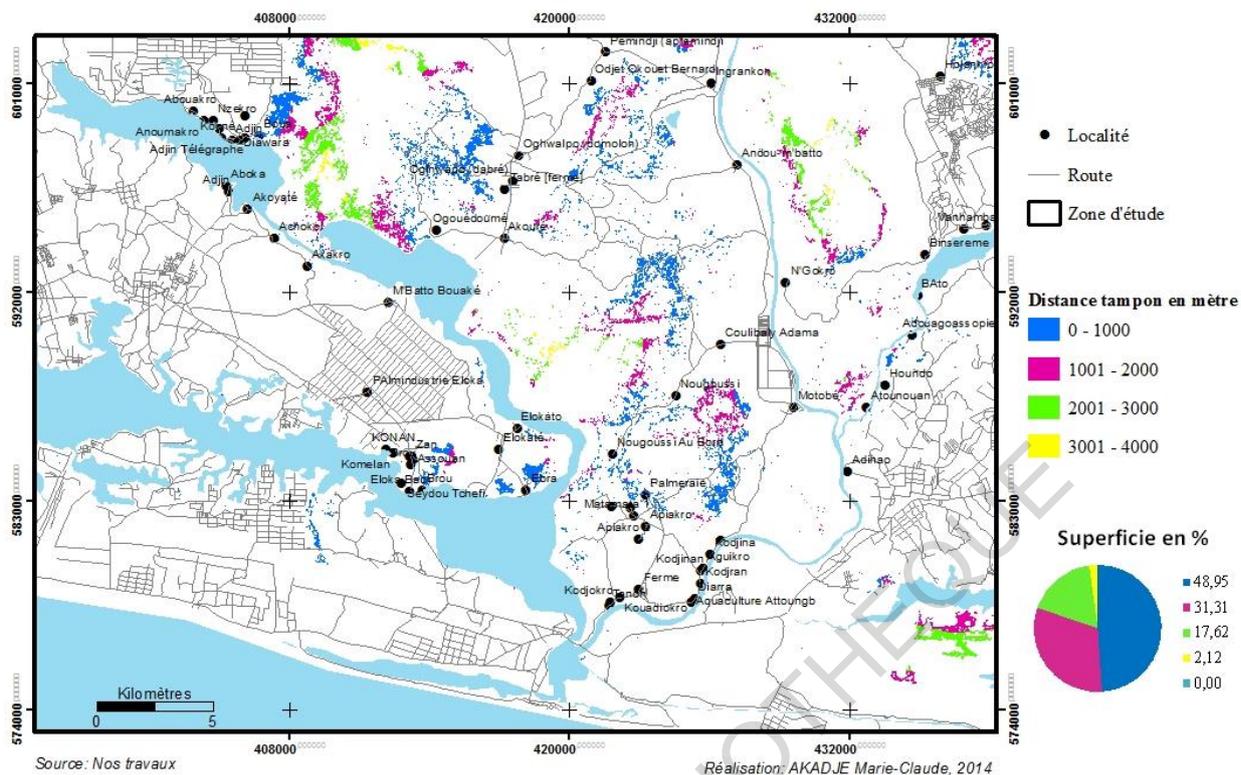


Figure 30: Déforestation en fonction de la proximité du réseau routier entre 1986 et 2000

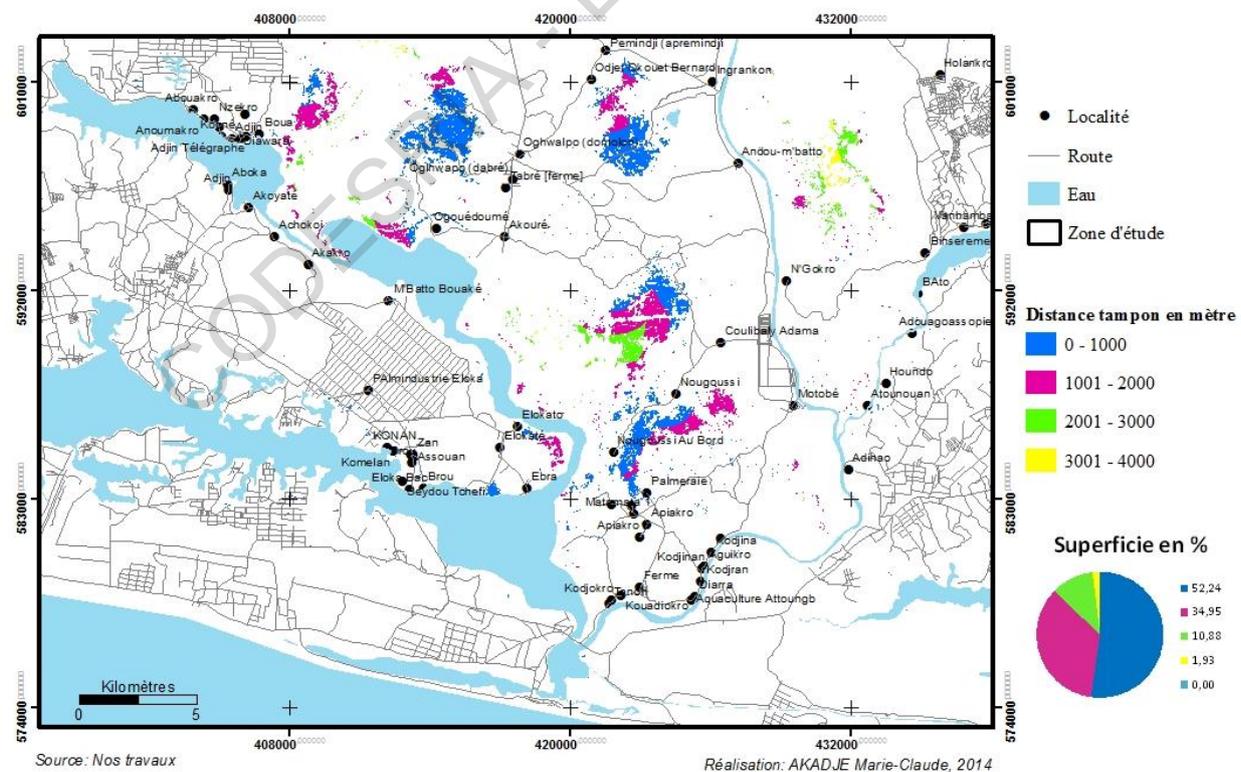


Figure 31 : Déforestation en fonction de la proximité du réseau routier entre 2000 et 2013

**Tableau XVIII : Foret détruite par rapport à la proximité du réseau routier, entre 1986 et 2000**

<b>1986-2000</b>	<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE FORET DETRUITE (en HA)</b>	<b>DE FORET (en %)</b>	<b>SUPERFICIE FORET (en %)</b>	<b>DE DETRUITE</b>
	1000	2197,446921		48,95	
	2000	1405,854152		31,31	
	3000	791,083388		17,62	
	4000	95,144924		2,12	
	5000	0		0,00	

**Tableau XIX: Foret détruite par rapport à la proximité au réseau routier, entre 2000 et 2013**

<b>2000-2013</b>	<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE FORET DETRUITE (en HA)</b>	<b>DE FORET (en %)</b>	<b>SUPERFICIE FORET (en %)</b>	<b>DE DETRUITE</b>
	1000	1718,51433		52,24	
	2000	1149,62014		34,95	
	3000	357,755334		10,88	
	4000	63,459629		1,93	
	5000	0		0,00	

De 1986 à 2013, au fur et à mesure que l'on s'éloigne des routes, les superficies de forêt exploitée diminuent. Ainsi donc, la route est un facteur essentiel dans la conversion des espaces forestiers.

### **6.1.1.3. La proximité des localités**

Les localités et campements participent à la dégradation du milieu, par leur présence à proximité de zones forestières. Ainsi, pour cette analyse, sont prises en compte, toutes les localités de la zone. Les aires d'influence des localités sont déterminées à partir de zones tampons de 1000m d'équidistance autour des localités et campements.

#### **6.1.1.3.1. Rapport entre la forêt détruite et la proximité des localités (1986 et 2000)**

Dans la zone tampon 0 à 1000m des localités, 13,41% des superficies forestières ont été transformées en d'autres types d'occupation du sol (Tableau XX). Les zones tampons entre 1000 - 2000 et 2000 - 3000m regroupent respectivement des proportions de 30,42% et 30,85% des forêts détruite entre 1986 et 2000. Après 3000m de distance des localités, les défrichements régressent jusqu'à atteindre 4,81% à 5000m de distance (Figure 32).

#### **6.1.1.3.2. Rapport entre la forêt détruite et la proximité des localités (2000 et 2013)**

Entre 2000 et 2013, peu de forêts ont été défrichées, à proximité des localités ; c'est-à-dire à moins d'un kilomètre des localités (Figure 33). Entre 2000 et 4000m, les défrichements ont été plus intenses avec 21,86, 26,12 et 25,75%. Aussi, les défrichements se sont fait, à intensité moindre, à plus de 4000m de distances des localités. Cette logique est constatée sur la période précédente (Tableau XXI).

Après analyse, il est important de noter que, plus le réseau routier est éloigné, moins il y a de déforestation. Ainsi, les voies de communication sont essentielles et primordiales dans le processus de déforestation.

Néanmoins, la proximité des localités, avec les forêts est aussi un facteur important, dans la mesure où après 3000m, le taux de superficie régresse.

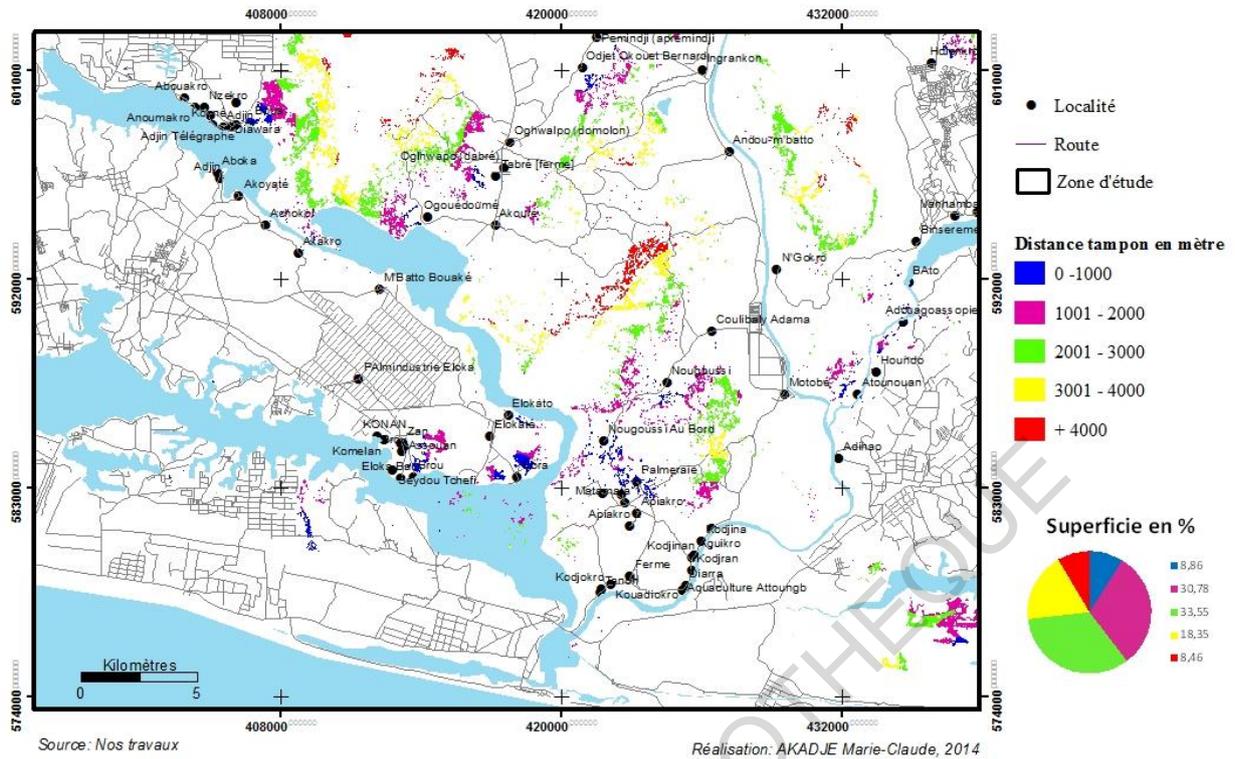


Figure 32: Déforestation en fonction de la proximité des localités entre 1986 et 2000

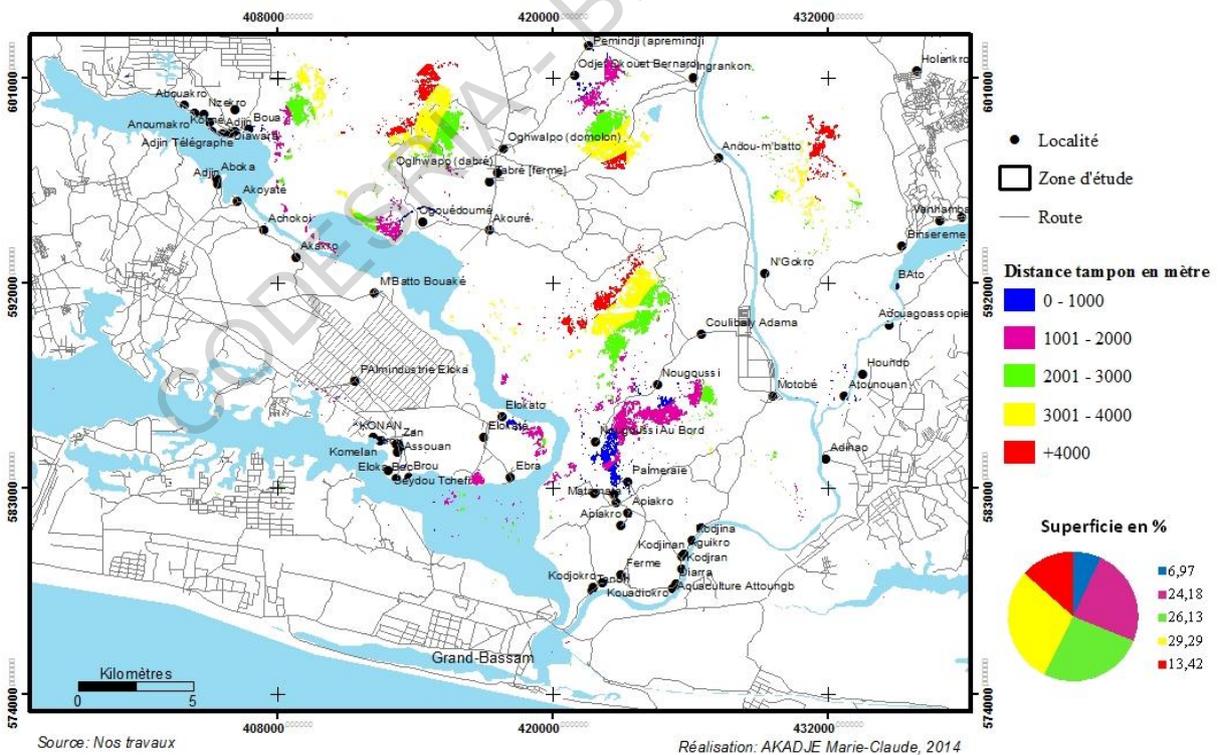


Figure 33: Déforestation en fonction de la proximité des localités entre 2000 et 2013

**Tableau XX : Forêt détruite par rapport à la proximité des localités entre 1986 et 2000**

<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE FORET (en HA)</b>	<b>DE DETRUITE</b>	<b>SUPERFICIE DE FORET DETRUITE (en %)</b>
<b>1000</b>	1034,61		13
<b>2000</b>	2346,15		30
<b>3000</b>	2379,55		31
<b>4000</b>	1581,56		21
<b>5000</b>	371,05		5

**Tableau XXI : Forêt détruite par rapport à la proximité des localités entre 2000 et 2013**

<b>DISTANCE TAMPON (en m)</b>	<b>SUPERFICIE FORET DETRUIE (en HA)</b>	<b>DE DETRUITE (en %)</b>
<b>1000</b>	769,51	11
<b>2000</b>	1575,45	22
<b>3000</b>	1882,44	26
<b>4000</b>	1855,45	26
<b>5000</b>	1123,71	16

## **6.1.2. Cartographie des risques de déforestation**

L'étude des risques de déforestation, se base sur les ilots forestiers existants en 2013. Des simulations sont faites par superposition de ces ilots avec les différentes zones tampons des variables, générées auparavant. Ces superpositions conduiront à la stratification des forêts en fonction des zones tampons (Figures 34, 35, 36). Ainsi, les différents niveaux de risque de déforestation seront déduits en se basant sur les analyses déjà effectuée.

### **6.1.2.1. Carte des risques de déforestation**

#### **6.1.2.1.1. Carte des risques de défrichement en fonction de la proximité des routes**

Tenant compte des distances de défrichements forestiers, dans les années antérieures, un tableau des risques de déforestation a été élaboré. Le niveau de risque de défrichement est très faible entre 3000 et 4000 m de distance (Tableau XXII). Il est élevé à moins d'un kilomètre de la route.

#### **6.1.2.1.2. Carte des risques de défrichements en fonction de la proximité aux localités**

Elle présente le niveau de risque de dégradation pour chaque forêt, en se basant sur les rapports distance tampon de la variable proximité à la localité et défrichements antérieurs. Ce risque est élevé entre 2000 et 3000mètre de distance des localités et très faible à plus de 4000 m de distance des localités (Tableau XXIII).

#### **6.1.2.1.3. Carte des risques de défrichements en fonction de la proximité au réseau hydrographique**

Cette carte est tout aussi utile dans cette analyse (Figure 39). Elle donne une vision des défrichements forestiers en tenant compte de la proximité du réseau routier et des tendances de déforestation qui ont eu lieu antérieurement.

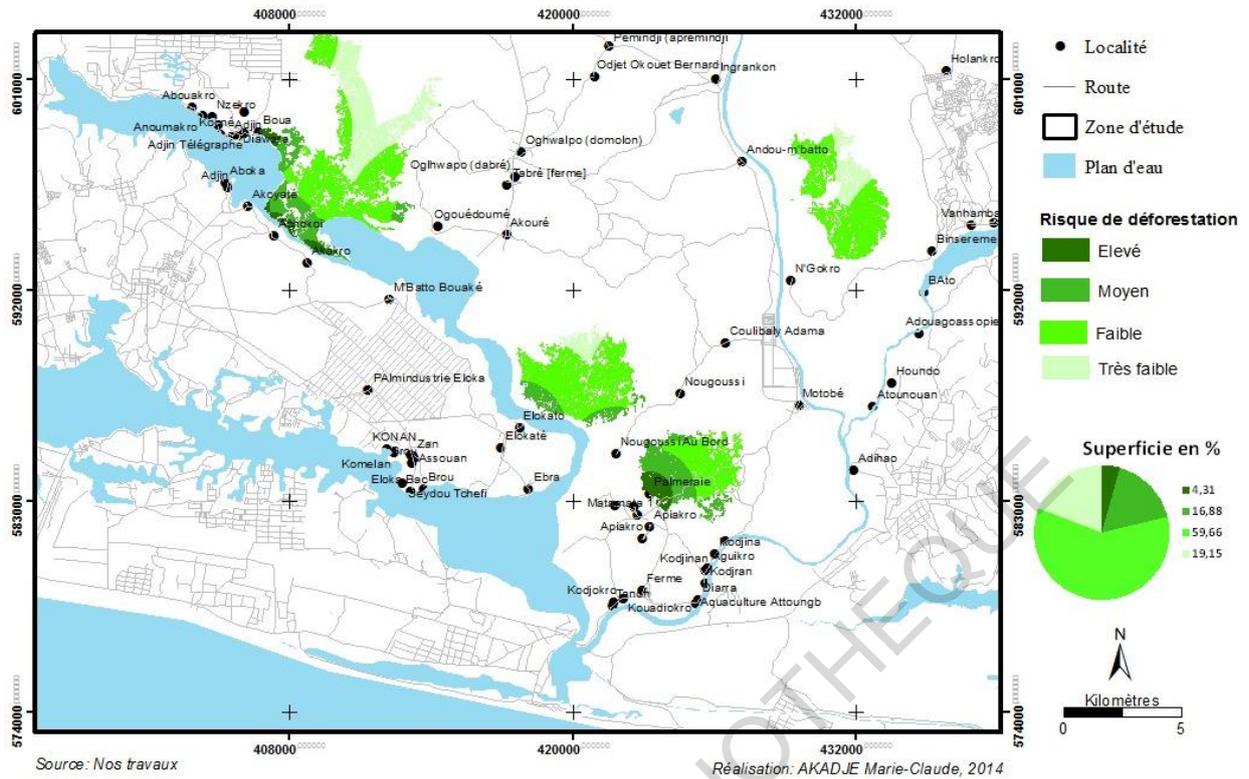


Figure 34: Risque de déforestation en 2013, en fonction de la proximité des localités

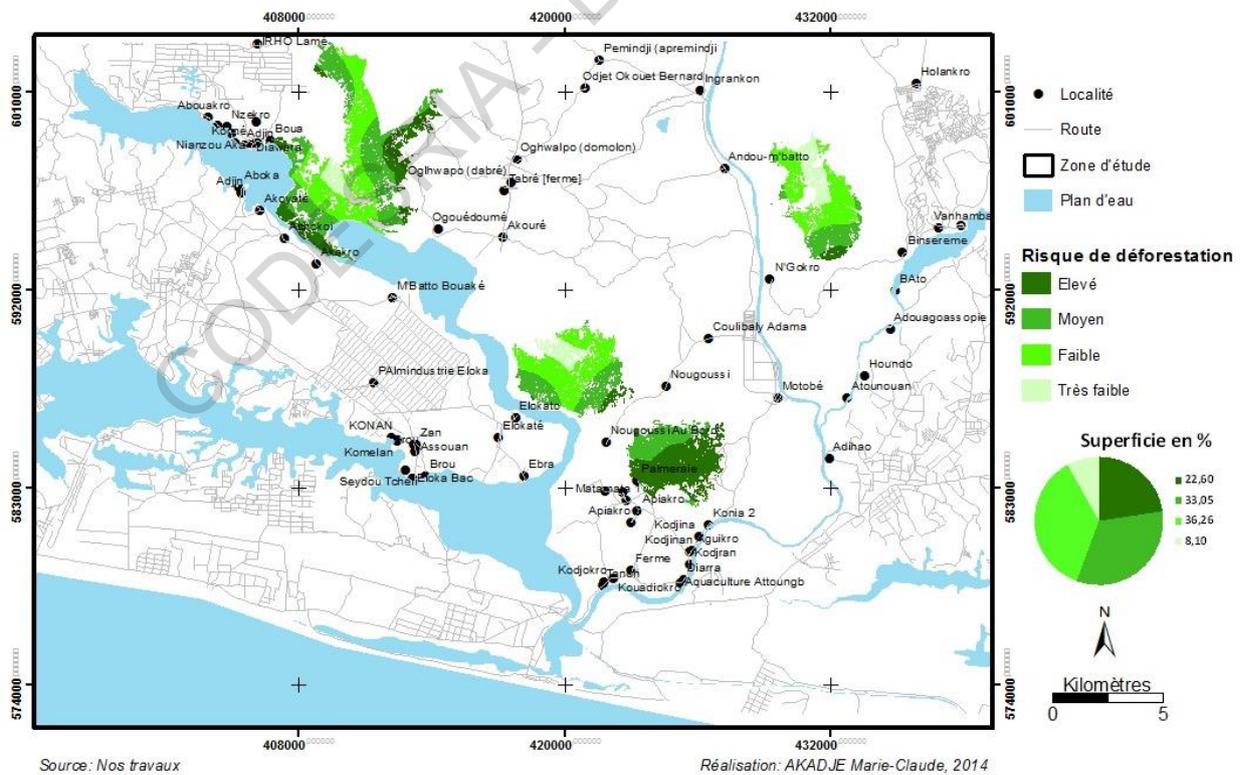


Figure 35: Risque de déforestation en 2013, en fonction de la proximité des routes

**Tableau XXII : Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité au réseau routier**

<b>Tampon autour des routes (en mètre)</b>	<b>Risque de défrichement</b>
0 - 1000	Elevé
1001 - 2000	Moyen
2001 -3000	Faible
3001 - 4000	Très faible

**Tableau XXIII : Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité aux localités**

<b>Tampon autour des Localités (en mètre)</b>	<b>Risque de défrichement</b>
2001 -3000	Elevé
1001 - 2000	Moyen
3001 - 4000	Moyen
0 – 1000	Faible
+4000	Très faible

**Tableau XXIV: Risques de défrichement forestier en fonction de la proximité au réseau hydrographique**

<b>Tampon autour du réseau hydrographique (en mètre)</b>	<b>Niveau de défrichement</b>
0 - 1000	Faible
1001 - 2000	Moyen
2001 -3000	Elevé
3001 - 4000	Faible
+4000	Très faible

### **6.1.2.2. Croisement et analyse des différentes cartes des risques de déforestation**

La détermination des risques de déforestation se fait par le croisement de toutes les cartes de risques liées aux différents facteurs que sont la proximité au réseau routier, hydrographique ou de localités de la zone.

#### **6.1.2.2.1. Poids des critères**

Chaque critère correspond à une zone tampon ; c'est-à-dire à une distance bien définie entre la forêt et le facteur correspondant. Pour évaluer l'impact des défrichements, il est important de pondérer les critères afin de stratifier le risque de déforestation. Pour ce faire, un « poids » correspondant à un numéro a été affecté à chaque niveau de défrichement, selon les facteurs de déforestation (Tableau XXV). Ainsi, plus le niveau de défrichement est élevé (Fort), plus le Poids qui lui est attribué est aussi élevé (4).

#### **6.1.2.2.2. Croisement spatial des cartes de risque**

Le croisement des trois cartes de risque, établies selon les variables proximité avec les routes, le réseau hydrographique et les localités se fait à partir des « poids ». Il a pour résultat une carte de poids du risque de déforestation de la zone d'étude (Figure 37). Elle est issue du poids cumulé des critères de chaque facteur.

Des niveaux de risque sont, ensuite déterminés en fonction de ces poids calculés. Le risque de défrichement de la forêt est donc faible, si le poids est inférieur ou égal à 6 (Tableau XXVI). Dans le cas où il varie entre 7 et 9, le risque de déforestation est moyen. Lorsque le poids des critères est supérieur à 10, le risque de déforestation est élevé.

Ainsi, 497,03 ha de forêt en 2013 présentent un risque de défrichement élevé. Il s'agit de forêts situées à moins d'un kilomètre des routes, entre 2 et 3 km des grandes étendues des eaux et entre 1 et 4 km des localités (Figure 38).

Dans le même cadre, 2759,88 ha de forêt ont un risque de déforestation faible, car elles sont à plus de 3km des routes, et à plus de 4 km des localités et des grands points d'eau.

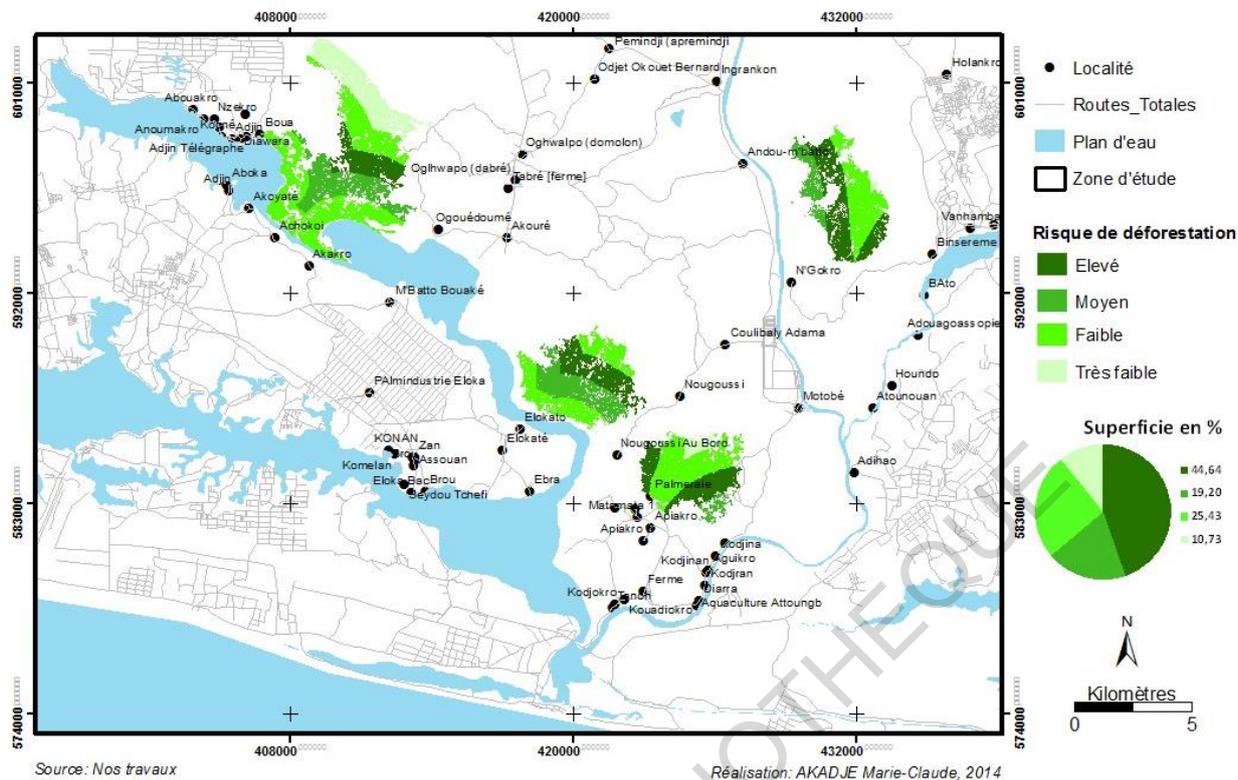


Figure 36: Risque de déforestation en fonction de la proximité du réseau hydrographique

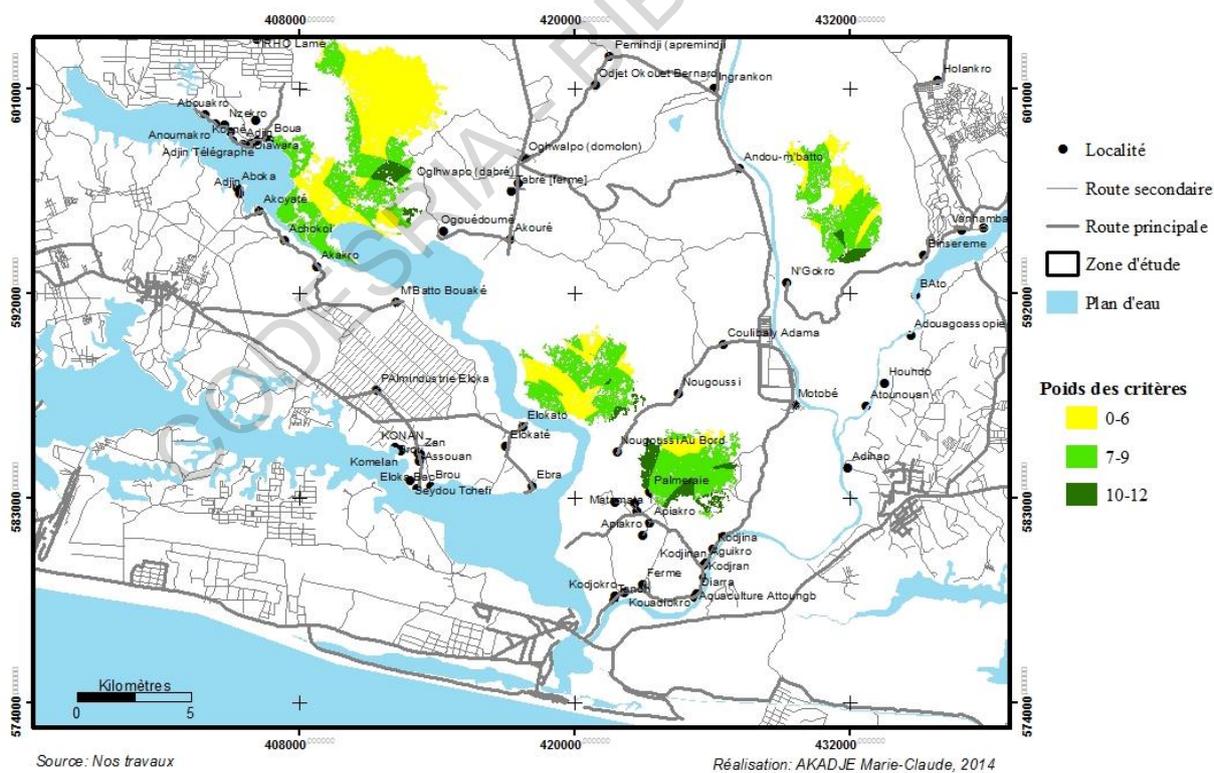


Figure 37: Représentation spatiale du croisement des critères de déforestation spécifiés

**Tableau XXV : Poids des niveaux de défrichement**

Niveau de défrichement	POIDS
Fort	4
Moyen	3
Faible	2
Très faible	1

**Tableau XXVI: Evaluation du risque de déforestation**

POIDS des critères	Risque de dégradation des forêts
0 - 6	Faible
7 - 9	moyen
10 - 12	Elevé

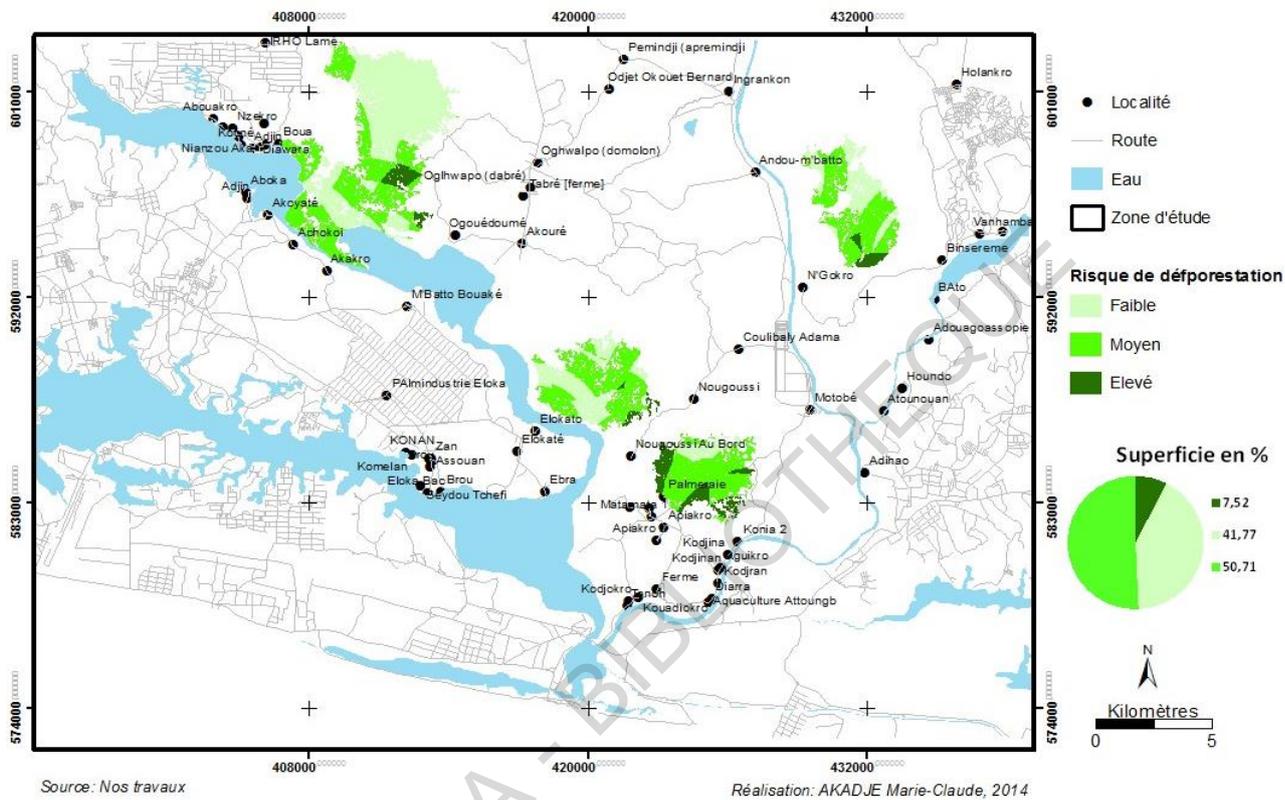


Figure 38: Carte de simulation du risque de dégradation par analyse spatiale

### 6.1.3. Discussion

Le modèle de risque de dégradation décrit partiellement les mécanismes de cette dégradation, en montrant comment les facteurs comme la proximité à la localité, au réseau routier ou au réseau hydrographique influencent les le processus. Ils permettent d'exprimer directement l'impact de la pression humaine sur le milieu.

C'est aussi l'avis qu'a donné KONAN (2008) après avoir utilisé la modélisation par analyse spatiale, comme bon nombre de chercheurs, pour estimer le risque de dégradation de la végétation du parc National d'Azagny. Les variables étudiées par lui sont la densité de population et la distance aux localités. Il en a été de même pour Oswald (2005), qui a étudié la dégradation de la forêt de Béki, suite aux pratiques agricoles illicites. Dans ses recherches, il a plutôt mis en relation la déforestation avec les trois principales variable considérées pour l'analyse que sont la proximité au réseau de pistes, au réseau hydrographique et aux localités. Il a constaté que, la plupart des champs se trouvent entre 150 et 450 mètres et ne sont pas limitrophes des pistes. Le réseau hydrographique n'intervient que très peu dans la mise en place de nouvelles parcelles agroforestières de rente en 1986, son étude présente peu d'intérêt. Le réseau de pistes apparaît plus pertinent pour expliquer et comprendre cette répartition, de par son rôle de canal de propagation privilégié. Les bordures de pistes sont essentiellement occupées par des unités de végétation forestière, telles que les forêts denses ouvertes ou fermées, les forêts dégradées et des bas-fonds.

Notre étude a certes utilisée les mêmes variables de distances, mais le résultat de l'analyse est tout autre. Il montre plutôt des changements à proximité des routes. Mais encore, cette proximité est relative dans la mesure où la taille des buffers est différente d'une étude à l'autre. ATTA (2009) dans ses travaux de recherche est plutôt en accord avec cette étude sur l'augmentation du taux de changement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du réseau hydrographique; alors qu'il a utilisé les mêmes distances de zones tampon, que OSWALD (op.cité). Il serait selon lui, intéressant de corrélérer les analyses développées avec la rupture des précipitations constatées. De même, il serait intéressant de développer une étude socio-économique plus précise, notamment sur les flux entre le village et les champs qui se situent aux alentours. Cette étude permettrait de mieux considérer les flux de population et la relation entre les villages et les parcelles cultivées.

## **6.2. Simulation prédictive de l'occupation du sol en 2030**

### **6.2.1. La calibration du modèle**

Afin de modéliser la dynamique et de simuler l'occupation du sol à l'horizon de 2030, il convient au préalable de calibrer le modèle sur les données connues. L'image de 2013 ( $t_2$ ) étant la plus récente, elle fait l'objet d'une première simulation-test, calibrée par les deux dates antérieures ( $t_0 = 1986$  et  $t_1 = 2000$ ).

Les cartes d'occupation du sol de 1986 et 2000 sont utiles pour extrapoler les quantités de la future occupation du sol. Il s'agit d'une extrapolation linéaire, car la simulation se base sur deux points dans le temps, afin de calibrer le modèle. Cette étape est fondamentale, car la qualité des résultats obtenus dépendra du bon paramétrage du modèle.

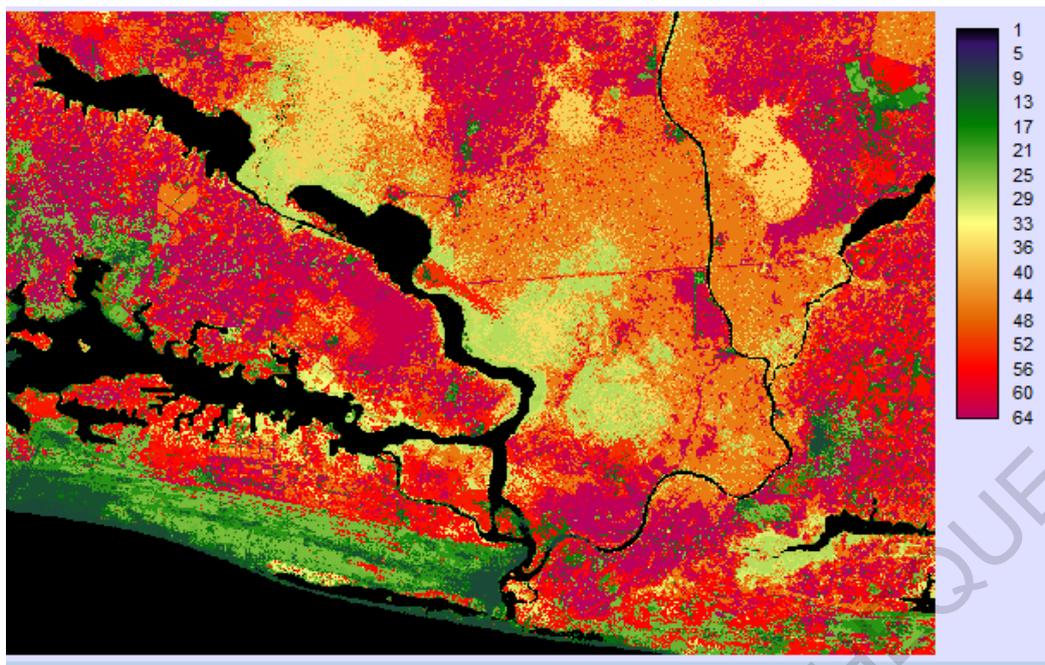
#### **6.2.1.1. Transitions et sous-modèles de transitions entre 1986 et 2000**

La carte des changements entre 1986 et 2000 (figure 39), permet de déterminer les transitions observées, avec leur regroupement (non-systématique) en sous-modèles de transition.

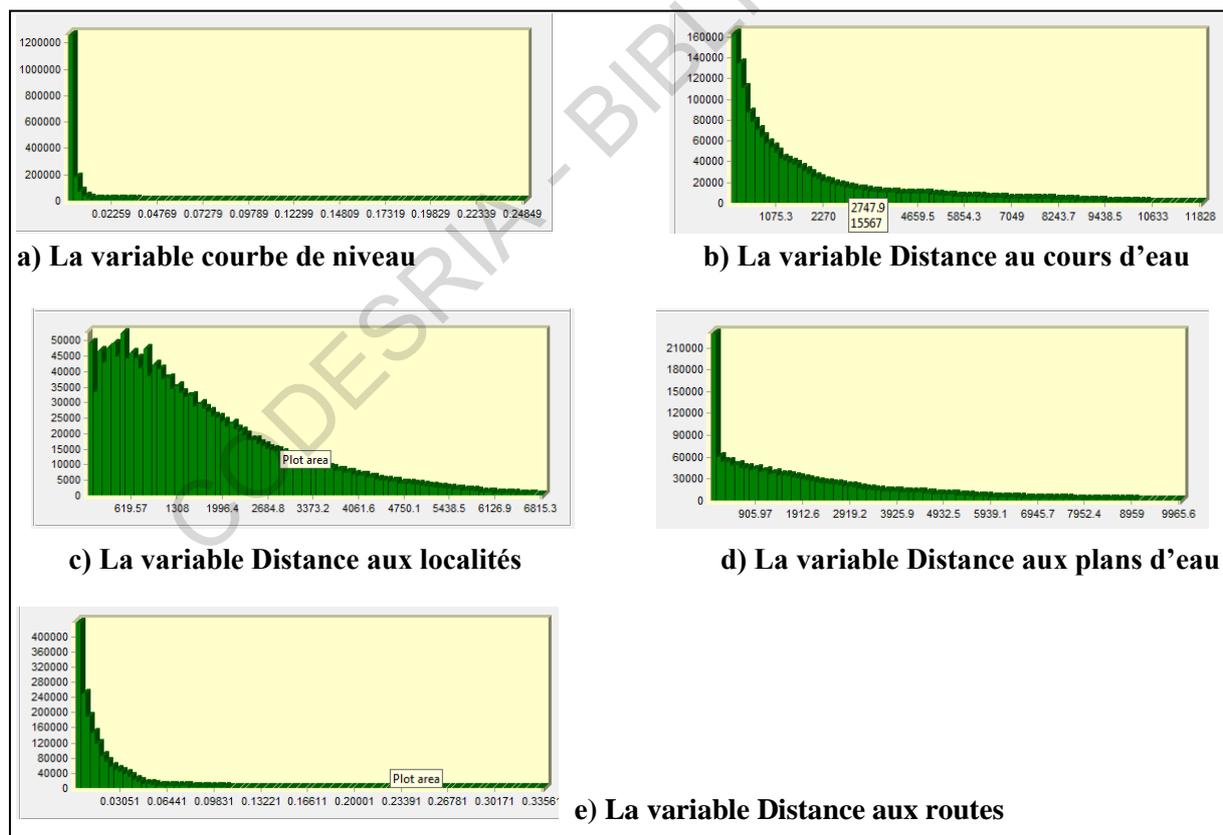
Une transition représente le passage d'un type d'occupation du sol (forêt dégradée par exemple) à un autre (Sol nu). L'analyse des changements entre 1986 et 2000 met en évidence plusieurs catégories de changements regroupées en une dynamique majeure ou sous-modèle nommé PRESSION (Tableau XXVII).

##### **6.2.1.1.1. Analyse de la relation entre les variables explicatives et la carte des changements 1986-2000**

Il est important pour le modèle, de ne prendre en compte, que des variables qui ont une influence sur le paysage. Cela nécessite une analyse fine de la relation variable et couche d'occupation du sol, qui met en rapport l'effet d'une variable et les mutations qui s'opèrent dans la zone de Grand-Bassam (Figure 40).



**Figure 39 : Carte booléenne de toutes les transitions d'occupation du sol entre 1986 et 2000**  
*(Chaque valeur représente une transition d'occupation du sol)*



**Figure 40 : Représentation des relations non linéaires entre les changements d'occupation du sol et les variables explicatives en mètre par hectare.**

#### 6.2.1.1.1. La variable courbe de niveau

En exploitant le diagramme représentant la variable courbe de niveau et les changements observés, il s'avère que plus de 90% des changements d'occupation du sol se situent à basse altitude (0). En effet, cette zone est une zone de très basse altitude.

#### 6.2.1.1.1.2. Les variables « proximité aux routes » et « proximité aux cours d'eau »

La variable « proximité aux cours d'eau » apparaît comme l'une des variables déterminantes de la déforestation entre 1986 et 2000. Il existe une corrélation négative entre les changements d'état des sols et les cours d'eau. Cela signifie qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne des berges, le taux de changement d'occupation du sol diminue.

Le graphe représentant le réseau routier en fonction des changements se présente de la même manière que celui de la proximité aux cours d'eau. Plus l'on se rapproche des routes, plus les changements d'occupation du sol s'intensifient.

#### 6.2.1.1.1.3. La variable « proximité e aux plans d'eau »

Cette variable est plus ou moins significative dans le processus de dynamique d'occupation du sol. En effet, plus l'on s'éloigne des grands plan d'eau de la zone, moins on a de changement.

#### 6.3.1.1.1.4. La variable « Proximité aux Localités »

La relation entre la variable « Proximité aux localités » et changement d'état des sols diffère des autres relations. A proximité des localités, c'est-à-dire entre 0 et 619m, les taux de changements augmentent crescendo, au fur et à mesure que l'on s'éloigne des localités. Ensuite après les 700m, le taux se remet à baisser jusqu'à ce qu'il atteigne 0 changement à 6815m de distance.

### **6.2.1.1.2. Les cartes de probabilité de transition (2000-2013)**

Ces cartes de probabilité de transition sont générées par le réseau neuronal en combinant une carte de transition (1986-2000) aux variables explicatives de ces changements.

**Tableau XXVII: Transitions et sous-modèles de changement**

<b>Transition</b>	<b>Processus de changement (Sous modèle)</b>	<b>Explication</b>
Foret -> Autre	PRESSION	- Conversion de la forêt en un autre type d'occupation du sol
Sol -> Autre		- Conversion des sols en plantations exotiques ou l'urbanisation
Culture -> Autre		- Conversion des zones de cultures en l'urbanisation ou entre cultures

**Tableau XXVIII: Variable explicite pour la transition DEFORESTATION**

<b>VARIABLE</b>	<b>Rôle</b>	<b>Basic layer type</b>	<b>Opération</b>
<b>EVLIKELIHOOD</b>	Static		
<b>Proximité cours d'eau</b>	Static		
<b>Proximité Plan d'eau</b>	Static		
<b>Proximité aux routes de 1986</b>	Dynamic	Roads	Distance
<b>Proximité Localités de 1986</b>	Dynamic	Land cover	Distance
<b>Courbe de niveau</b>	Static		

Les cartes résultantes correspondent à chacune des transitions susmentionnées, en exprimant, pour chaque pixel, leur probabilité graduelle d'occurrence, sur une échelle continue de 0 à 1. Ce sont des cartes de risques qui mettent en exergue les zones potentiellement soumises à des changements.

Ainsi, le risque potentiel pour les sols, les forêts et les zones de culture de changer pour un autre type d'OCS est fort dans les zones rouges (figure 41). Le risque des sols de la zone de devenir des habitats est élevé dans le sud-Ouest vers Port-Bouet et dans les environs de Grand-Bassam. Le risque est tout aussi fort dans les alentours de la forêt de Abatta et dans la zone de Lamé au Sud-est de la zone de travail où les sols nus deviendraient des zones de culture de rente, de culture vivrière ou de jachère.

### **6.2.2. Occupation du sol simulée en 2013**

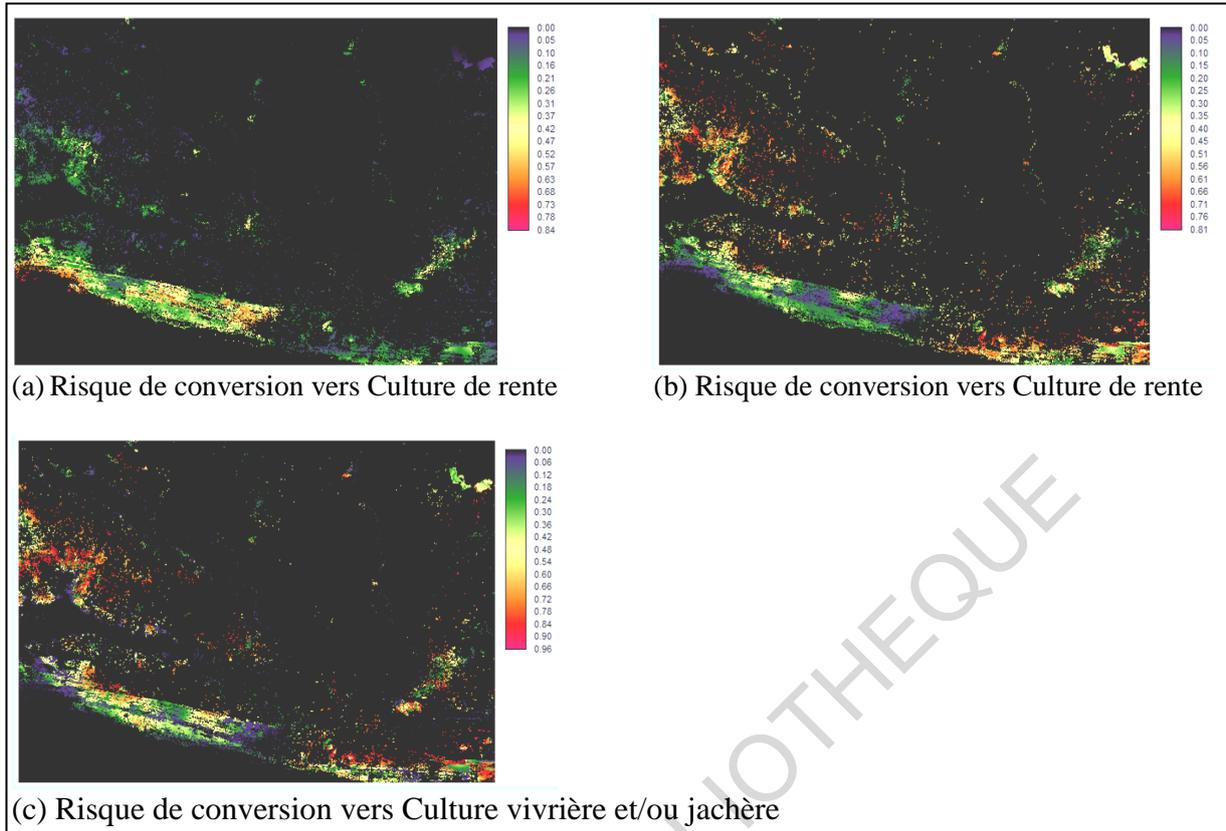
En s'appuyant sur les variables explicatives et les sept cartes de probabilités de transitions, le modèle attribue la distribution idéale pour chaque type d'occupation du sol. La quantification des changements se fait grâce aux chaînes markoviennes qui prennent en compte les dynamiques passées et les probabilités de transitions entre chaque type d'occupation du sol.

La carte de vulnérabilité (figure 42) présente toutes les zones de changement possibles, allant des zones les moins vulnérables à celles qui le sont plus, entre 2000 et 2013. Les zones les plus vulnérables se localisent comme suit :

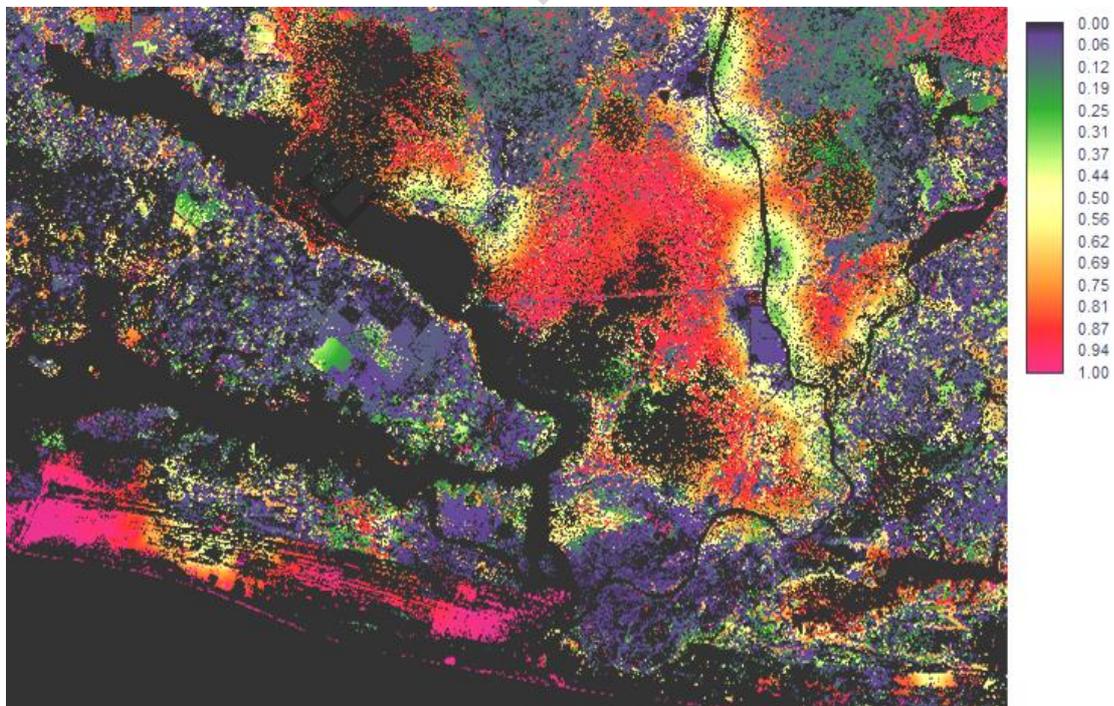
-Dans le centre de la zone : c'est une zone de forêts dégradées en proie à la pression humaine

- La zone sud : C'est une zone constituée de sols nus et d'anciennes plantations. Elle est proche de la plus grande métropole du pays (Abidjan) et se situe dans les villes de Grand-Bassam et Bingerville (Abatta) et dans la zone de Bonoua. Ce sont toutes des zones en pleine mutation.

-Les alentours des forêts denses sont aussi d'une grande vulnérabilité.



**Figure 41 : Potentiel de transition des sol vers un autre type d'occupation du sol**  
*(Indice variant entre 0 et 1, avec 0 représentant les zone stable et 1 l'indice de changement le plus fort)*



**Figure 42: Carte de vulnérabilité des types d'occupation du sol simulé en 2013**  
*(Indice variant entre 0 et 1, avec 0 représentant les zone stable et l'indice de changement le plus fort)*

La matrice de Markov entre 2000 et 2013 (tableau XXIX) indique la probabilité dont dispose chaque catégorie d'occupation du sol, en 2000, de changer pour une autre catégorie, ou de rester stable en 2013.

Le taux de précision de la simulation est de 80,39%. L'examen visuel donne une estimation de la qualité de la prédiction en comparant la carte de référence 2013 et la simulation 2013 (Figure 43 a et b); néanmoins, les données statistiques permettent une meilleure explication de l'évolution (Tableau XXX).

La carte simulée présente une évolution des forêts dégradées, presque identique à l'évolution du sol réel, en 2013. Il s'agit de 25829,7 hectares de forêts dégradées simulées, contre 24014,79 hectares de forêts dégradées existantes. Les forêts denses et formations marécageuses sont quant à elles presque intactes.

Les zones urbanisées simulées en 2013 sont relativement plus nombreuses que celles qui ont été constatées en 2013. Il s'agit de 11928,9 hectares habités et 8866,9 hectares de sols nus simulés contre respectivement 7927,84 hectares habités et 4411,03 hectares de sols nus réels. La majeure partie des différences est constatée au Sud-Est de la zone d'étude, où beaucoup plus de zones urbanisées ont été créées par le modèle, ainsi que de nombreux sols nus dans le Sud.

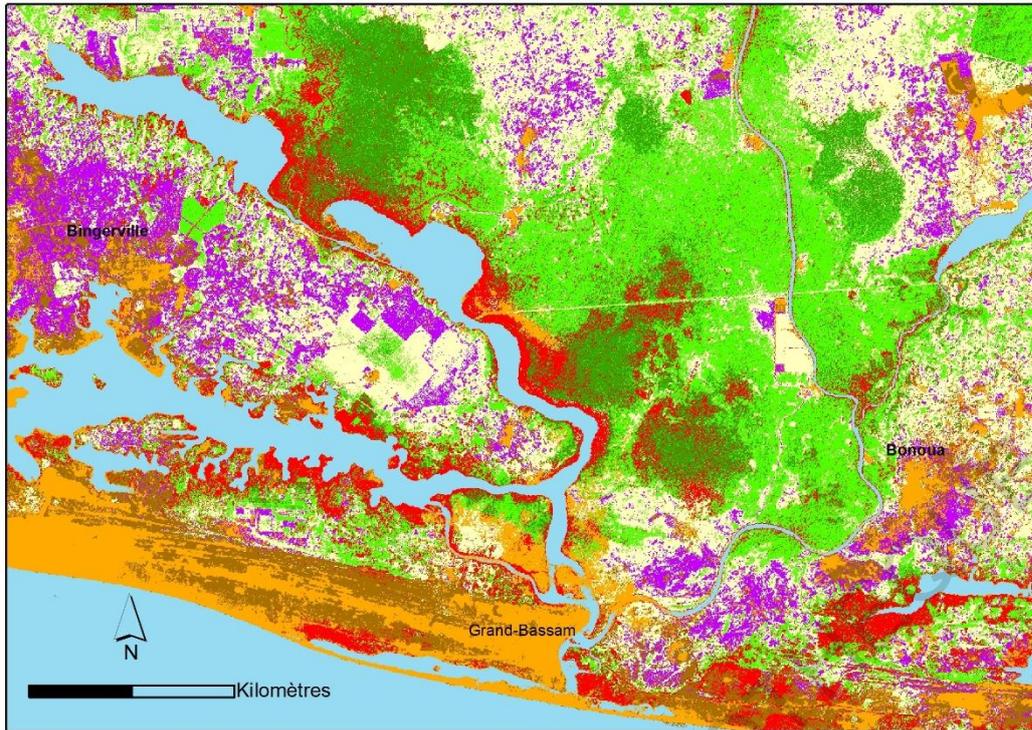
Les erreurs les plus importantes commises par le modèle ont été observées sur la classe « cultures vivrières ». En effet, dans le nord-Ouest, la simulation a surévalué les quantités de ce type d'occupation du sol qui est passé de 14081,69 hectares réels à 24 311,6 hectares simulés en 2013.

**Tableau XXIX: Matrice de Markov**

	Eau	Habitat	Sol nu	Formation marécageuse	Forêt dense	Forêt dégradée	Culture de rente	Culture vivrière
Eau	0,9682	0,0047	0	0,0219	0,0003	0,0013	0,0029	0,0006
Habitat	0,0287	0,6109	0,2306	0,0464	0,0016	0,0131	0,0343	0,0343
Sol nu	0,0022	0,4335	0,1834	0,0619	0,0034	0,0349	0,1401	0,1407
Formation marécageuse	0,0541	0,0678	0,0043	0,4166	0,098	0,1905	0,1373	0,0315
Forêt dense	0	0	0	0,1801	0,5108	0,2521	0,057	0
Forêt dégradée	0	0,0012	0,0002	0,0452	0,089	0,566	0,2645	0,0339
Culture de rente	0,0011	0,0836	0,0107	0,0802	0,0173	0,1654	0,4269	0,2148
Culture vivrière	0,0051	0,0403	0,0056	0,0363	0,0157	0,1539	0,5821	0,1609

**Tableau XXX: Superficies des types d'occupation du sol simulés en 2013 et 2030**

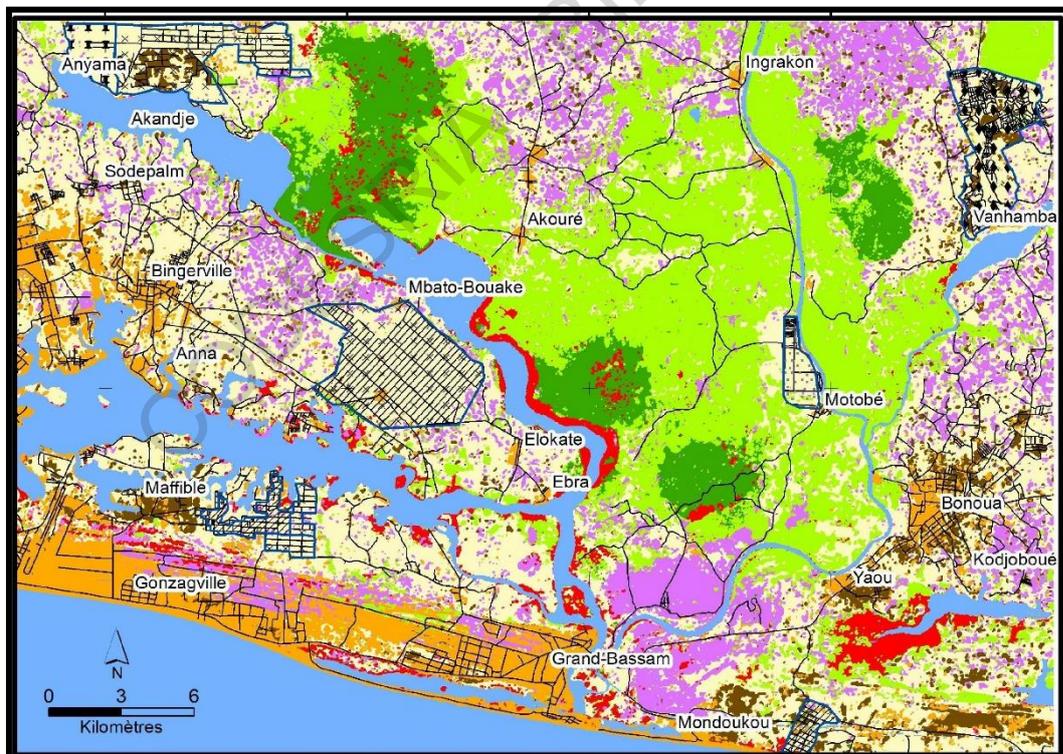
	OCS REELLE 2013	OCS SIMULE 2013 (en Ha)	OCS SIMULE EN 2013 (en%)	OCS SIMULE 2030 (en Ha)	OCS SIMULE EN 2030 (en%)
Eau	22 753,53	22 890,00	16,48	22 950,00	16,52
Habitat	7 927,84	11 928,90	8,59	20 474,40	14,74
Sol nu	4 411,03	8 866,90	6,38	1 968,70	1,42
Formation marécageuse	3 928,34	5 725,53	4,12	5 317,10	3,83
Forêt dense	8 286,97	9 544,40	6,87	8 982,50	6,47
Forêt dégradée	24 014,79	25 829,70	18,60	12 392,80	8,92
Culture rente	53 498,78	29 803,80	21,46	58 495,70	42,11
Culture vivrière	14 081,69	24 311,60	17,50	8 321,40	5,99
TOTAL	138 902,97	138 900,83		138 902,60	100,00



Source: Nos travaux, 2015

Conception et réalisation: AKADJE Marie-Claude, CURAT

a) Occupation du sol simulée en 2013



b) Occupation du sol réelle en 2013

**Figure 43: Comparaison des occupations des sols réelles et simulées en 2013**

### 6.2.3. Simulation prédictive en 2030

L'évolution des catégories d'occupation des terres dans le temps et dans l'espace est projetée à l'horizon 2030, sur la base des changements actuels et des probabilités déterminées. L'analyse de cette projection révèle, qu'à l'horizon 2030 (figure 44), pendant que les agglomérations ainsi que les plantations et jachères augmenteront, les forêts dégradées connaîtront une forte régression (12 392,80 hectares). Les surfaces habitées doubleront, d'ici 2030, selon le model et atteindront 20474,40hectares. En effet, les prochains changements continueront de se faire, au dépens des espaces forestiers et au profit des espaces agricoles et des agglomérations.

### 6.2.4. Discussion

Les résultats des simulations de 2013 et 2030 montrent les mêmes tendances dans l'évolution de l'occupation du sol. Les zones de culture de rente et d'habitation ont augmenté considérablement, au détriment des forêts dégradées, surtout.

Avant de simuler l'occupation du sol en 2030, la précision de la simulation a été testée en comparant la carte d'occupation du sol simulée de l'année 2013 à celle de la carte de "référence" de la même date, par interprétation visuelle puis par analyse de l'indice de Kappa.

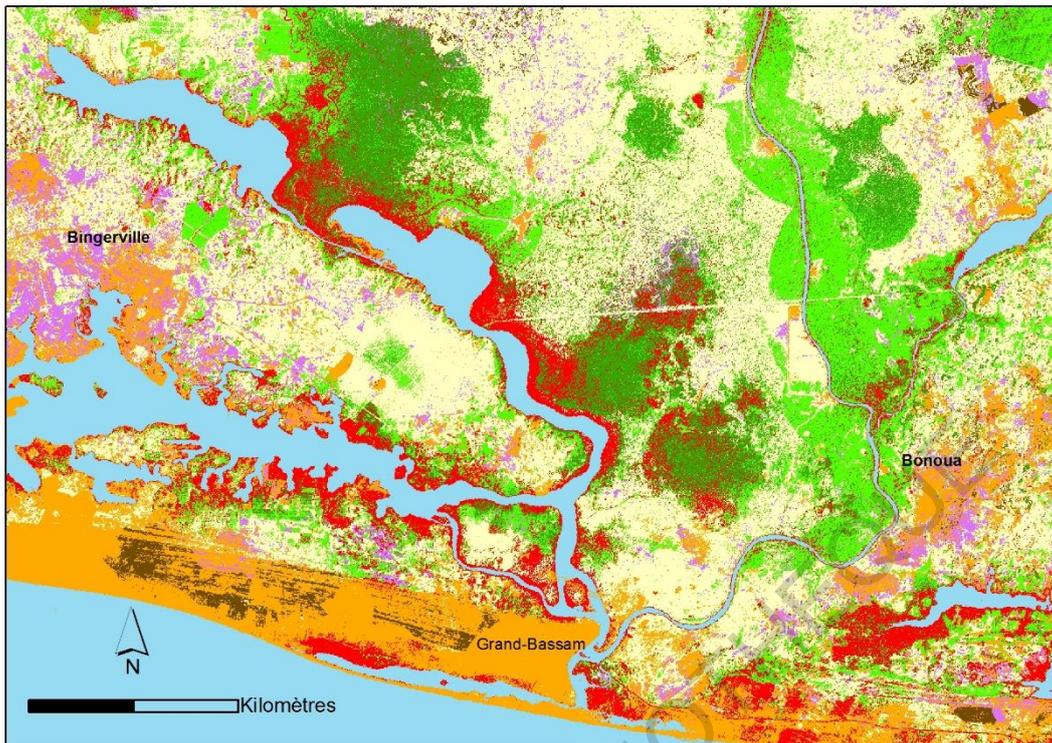
L'indice de réussite de la simulation est de 0,80. Selon PONTIUS (2000), les valeurs de Kappa supérieures à 0,50 indiquent un bon accord entre le «réel» et la carte simulée ; les résultats sont bons et exploitables. Sur la base de ce critère d'accord, il y a une divergence entre les cartes d'occupation du sol "réelle" et simulée. Les raisons de ces écarts pourraient être attribuées au nombre restreint de facteurs utilisés pour modéliser le phénomène (carte d'aptitude) et aux erreurs de classification des classes entre les images de 1986 et 2000. L'utilisation des cartes d'aptitude dans la simulation a une grande influence sur le résultat de la prédiction (BEHERA *et al.*, 2012). Par ailleurs, KOUASSI K. (2014), soutient que la complexité du système forestier rural ivoirien ne peut effectivement pas se résumer à un nombre restreint de facteurs. Aussi, certains auteurs ont montré que l'ajout de données explicatives supplémentaires pouvait être limité par leur nature non quantifiable et leur indisponibilité en format digital (MAESTRIPIERI et PAEGELOW, 2013). C'est en effet, le cas de précipitations, ou encore d'exploitations forestières recueillies sur la zone, pour cette étude. Leur non-

quantification dans l'espace ne permet pas leur utilisation dans le modèle alors qu'elles jouent un rôle important dans la dégradation du milieu.

L'occupation du sol simulée de 2030 indique une tendance d'augmentation des surfaces agricole et urbanisées et une diminution de surfaces forestières. Cela induit une augmentation des terres agricoles et une perte de végétation naturelle. Cette tendance serait due aux pressions anthropiques et l'augmentation de la population. En effet, les projections faites selon INS (1998) prévoient une augmentation de la population en 2015 pour la zone d'étude. Dans les régions à forte densité de population (généralement autour des villes), tout l'espace disponible sera converti à l'agriculture dans un futur proche. Les conversions ultérieures de l'utilisation des sols sont rencontrées le long des routes proches des forêts, aux endroits où la probabilité d'activité agricole est élevée. Cela aboutira à un fort taux de déforestation, surtout dans ces régions. Si les limites des forêts protégées (propriété publique) ne sont pas contrôlées, les petites forêts seront certainement converties en terres agricoles.

C'est donc dans le but de prévenir cette déforestation, que le Plan National de Développement 2012-2015 adopté par le Gouvernement, visant à faire de Côte d'Ivoire un pays émergent à l'horizon 2020, s'est fixé comme objectifs: d'améliorer la compétitivité, notamment par l'accroissement de la productivité, d'aider à atteindre l'autosuffisance et la sécurité alimentaire. Malheureusement, compte tenu du faible taux de rendement en milieu paysan et des techniques culturales non encore améliorées, l'atteinte de ces objectifs passe nécessairement par une augmentation des superficies cultivées. Cette augmentation de superficie se fait au détriment des forêts qui connaîtront une réduction plus prononcée à l'horizon 2030. C'est le cas de l'hévéaculture avec une prévision de production estimée à 600 000 tonnes de caoutchouc pour une superficie de 300 000 ha (MINAGRI, 2013).

Si les tendances évolutives constatées sont maintenues, les prévisions faites dans le cadre des études de perspectives à long terme seront affectées.



Source: Nos travaux, 2015

Conception et réalisation: AKADJE Marie-Claude, CURAT

**Type d'occupation du sol**



**Figure 44: Prédiction de l'occupation du sol en 2030**

### **CONCLUSION PARTIELLE:**

Ce chapitre a permis de faire une simulation des risques de déforestation et de changement d'occupation du sol ; donc une simulation des pressions qui s'exercent sur la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs, à l'aide de l'analyse spatiale, dans un SIG, en tenant compte de certains facteurs de la déforestation. Cette simulation s'est basée sur des critères qui ont été défini en exploitant les changements d'occupation du sol à plusieurs périodes dans la même zone.

La spatialisation des scénarii prospectifs tendanciels et contrastés montre leur plein potentiel afin d'identifier les zones à enjeux socio-environnemental. Leur capacité à quantifier et localiser les changements futurs d'occupation du sol constitue une base plus ou moins solide dans le processus décisionnel, dans la mesure où ils servent d'entrée pour calculer les impacts des processus environnementaux.

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude met en évidence, l'évolution importante de l'occupation du sol et les différentes mutations observées dans la zone RAMSAR de Grand-Bassam et ses environs, suite aux pressions anthropiques qui s'y exercent.

A l'aide de la télédétection l'occupation du sol a été cartographiée et les différents types de superficies ont été évaluées, à partir, à trois images LANDSAT datant de 1986, 2000. Les superficies forestières sont évaluées à 52 812,02 hectares, soit 38,02% en 1986. Elles passent, à 44 558,5 et 36 230,10 hectares. Respectivement en 2000 et 2013. Pour chaque période les forêts dégradées sont les plus importante. Aussi, les superficies de cultures de rente et l'habitat se sont accrus, durant cette période. L'habitat est passé de 1% de superficie à 6% et les cultures de rente de 19% à 39%.

Les cultures vivrières quant à elles ont fortement régressées (de 21% à 10% de 1986 à 2013)

Le système d'information géographique a mis en exergue les mutations qui ont lieu dans le milieu. Il s'agit d'une dégradation et un recul du couvert végétal naturel de la zone écologique RAMSAR de Grand-Bassam et de ses environs. Entre 1986 et 2013, Presque 7922,64 hectares des forêts denses sempervirentes, et 4735,8 hectares de formations marécageuses sont devenus des forêts secondaires. Aussi Les forêts dégradées sont mises en grande partie en culture. Il s'agit de 8 924,39 hectares (31,75 %) converties en culture de rente et 1 206,39 en cultures vivrières (4,29%). les superficies de cultures de rente transformées en habitats et en sols nus représentent respectivement 6,5 et 5,28% de ses surfaces. En général, les transformations du milieu se font en deux étapes. En premier lieu, les forêts originelles ((30,70% de formations marécageuses et 22,69% de forêt dense) subissent des prélèvements directs de bois, dans les forêts ont entraîné une dégradation des milieux naturels. Ces milieux dégradés, en générale, les forêts dégradées sont converties en sol nu, pour ensuite être mis en culture pour la plupart, ou utilisés pour la construction d'habitats urbains. Ainsi, l'agriculture est le moteur principal de l'évolution du milieu. Cette évolution est préjudiciable à la biodiversité et à l'équilibre du milieu naturel, milieu qui renferme des habitats où vivent et se reproduisent des espèces fauniques vulnérables et aujourd'hui menacées d'extinction. Elle est due aux actions anthropiques : c'est une transformation principalement lié aux cultures de rente.

L'évaluation des risques de déforestation, par l'analyse spatiale a démontré que 497,03 ha de forêt en 2013 présentent un risque de défrichement élevé. Il s'agit de forêts situées à

moins d'un kilomètre des routes, entre 2 et 3 km des grandes étendues des eaux et entre 1 et 4 km des localités ; contre 2759,88 ha de forêt qui ont un risque de déforestation faible, car elles sont à plus de 3 km des routes, et à plus de 4 km des localités et des grands points d'eau.

La simulation de la pression de l'occupation du sol par « Land Change Modeler » a permis de prédire l'occupation du sol pour les années 2013 et 2030 avec une précision de 80.39% et 67,12 %. Elle a montré qu'il existe des relations spatiales entre ces facteurs et les changements d'occupation. En outre, elle montre que les tendances actuelles de décroissance des surfaces forestières et d'expansion des plantations et zones habitées se poursuivront à l'avenir.

Malgré ces résultats jugés acceptables, nous ne devons pas perdre de vue les contraintes rencontrées lors de l'étude. Les erreurs enregistrées pendant le traitement des images sont en partie dues à la présence de gros nuages présents sur les images de 2013. La prévision relativement faible de l'occupation du sol est due au manque de données (critères) disponibles pour mener l'étude.

Ce travail est un apport important pour mettre en place une politique de gestion de la zone d'étude, zone de grande importance écologique. Elle permettrait de prendre des mesures correctives de gestion rationnelles et conservatrices, afin de préserver ce milieu naturel.

Mais, Il serait intéressant d'approfondir cette étude, en prenant en compte, et certains autres facteurs physiques et humains, notamment les précipitations, la population agricole dans les modèles, afin de réaliser de meilleures simulations.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ADAPTATION DE LA FORET TROPICALE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES (TROFCCA) (2006) Adaptation et vulnérabilité des forêts tropicales aux changements climatiques en Afrique de l'Ouest, Ouagadougou, Burkina Faso, 7p.
- ADEMOLA-OUATTARA M.A., ATTA K., POTTIER P. (1999) Développement des cultures vivrières et modification de l'occupation du sol en pays Adioukrou (1975-1990) cahier nantais n51, IGARUN- Université de Nantes p 131-149.
- AFFIAN K. (2005) Apport de la télédétection et du SIG à l'étude de l'interaction entre le climat et les écosystèmes forestiers en Afrique subsaharienne (cas du parc de la Marahoué en Côte d'Ivoire), Projet crosscutting de l'UNESCO sur l'application de la télédétection à la gestion des ressources en eau et écosystèmes. Contrat N° 4500010342, 69p.
- AFIDEGNON, D., FROMARD, F., BELLAN, M.F., 1998 : La réalité de terrain et le traitement d'images en milieu tropical anthropisé : cas des écosystèmes littoraux du sud du Togo vus par HRV de Spot. AS actualité scientifique, la réalité de terrain en télédétection : pratique et méthode. Ed. Aupelf-UREF, pp. 13-20.
- AKADJE L. (2005) Analyse de données bioclimatiques et étude de la dynamique végétale dans une zone de contact forêt savane à l'aide de données de télédétection et de données in-situ en Côte d'Ivoire: cas de la réserve écologique de LAMTO, Mémoire de maîtrise, 104 p.
- AKADJE L. (2011) Analyse de la cinématique du trait de côte de la baie de Port-Bouët à l'aide du couplage télédétection et SIG, Mémoire de DEA, 57p.
- ACKERMANN G., ALEXANDRE F., ANDRIEU J., MERING C., OLIVIER., (2007) Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur le Petite Côte et dans le delta du Sine – Saloum (Sénégal). Vertigo Vol. 7, N°2, Art.16 , p 93 à 118.
- AKE-ASSI L., (1984) Flore de la Côte d'Ivoire. Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Vol. 6 ; 1206 p.

- AKE ASSI L., (1988) Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 25. p. 461-463.
- AKE ASSI, L. (2001) Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue systématique, biogéographique et écologie. Conservatoire et Jardin botanique, Genève, Biosseria no 57, 396 p.
- AKE ASSI, L. (2002) Flore de la Côte d'Ivoire 2, catalogue systématique, biogéographique et écologie. Conservatoire et Jardin botanique, Genève, Biosseria no 58, 401 p.
- ALLEN JC; BARNES DF. (1985) ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, Volume 75, Issue 2, pages 163–184
- ANDRIEU J. et MERING C. (2008) Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest africaine : exemple des rivières du sud du Delta du Saloum (Sénégal) au Rio Geba (Guinée-Bissau), Université Paris Diderot – Paris 7, UMR 8586, Revue Télédétection, vol. 8, n° 2, p. 93-118.
- ANOH K.P. et POTTIER P. (2008) Géographie du littoral de Côte-d'Ivoire : éléments de réflexion pour une politique de gestion intégrée. CNRS-LETG UMR 6554 et IGT : Nantes – Abidjan, 325p.
- ARIORI S. L., OZER P., 2005. Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, Geo-Eco-Trop, 2005, 29: 61-68
- ARSENAULT, E. AND BONN, F. (2001) Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data. Proceedings of the 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing. 21-24 août 2001, Association Québécoise de télédétection, Sainte-Foy (Québec), p. 299-308
- ATELIER TECHNIQUES DES ESPACES NATURELS (2011) Gestion des zones humides et pastoralisme, N°33, 2 Place Viala, 34060 – MONTPELLIER Cedex 2 – France., 44p
- ATTA K.J. M. (2009) Contribution de la Télédétection et des SIG pour une approche modélisatrice de la déforestation en vue d'une gestion durable des forêts tropicales : cas des Forêts classées de Béki et de Bossématié dans l'Est de la Côte d'Ivoire, Thèse de géographie, Université de Nantes, 370p.

- AVENARD J.M., ELDIN M., GIRARD G, SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.L., ADJANOHOOUN E., PERRAUD A. (1971) Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, 50, Paris. 401p.
- BAATZ M. AND SCHÄPE A. (2000) Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. P. 12-23 in Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (réd.) Proceedings of the Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII Beiträge Zum AGIT-Symposium Salzburg 2000.
- BAMBA Y. (2007) Dynamique de l'occupation du sol: Cas des terres situées entre Grand-Bassam et Bonoua, Mémoire de Maitrise, Institut de géographie tropicale, Université de Cocody, Abidjan, 55p.
- BANNARI A., MORIN D., BONN F. (1999) Potentiel des mesures multispectrales pour la distinction entre les résidus de cultures et les sols nus sous-jacents. Forth International Airborne Remote sensing Conference and Exhibition/21st Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada 21-24 june1999
- BARIMA Y. S., EGNANKOU M. W., N'DOUMÉ C. T, KOUAMÉ F. N., BOGAER J. (2010) Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt savane à l'est de la Côte d'Ivoire, Revue Télédétection, vol. 9, n° 2, p. 129-138.
- BARNAUD G. (1998) Conservation des zones humides : concepts et méthodes appliquées à leur caractérisation, ed. MNHN, 447 p.
- BARIOU R., LECANU D. et LE HENAFF F. (1985) Dossier de télédétection : Réponse spectrale des végétaux, Rennes. Université de Rennes, vol. 2. 71 p.
- BEIBRO H, N'DOUBA V. (2005) Fiche descriptive sur les zones humides RAMSAR, Comité RAMSAR de Côte-d'Ivoire, Ministère des Eaux et Forêts, Direction de la Faune et des Ressources Cynégétiques, BP V 178 Abidjan 01, 17p.
- BEHERA M. D., BORATE S. N., PANDA S. N., BEHERA P. R. et ROY P. S. (2012), Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA) - Markov model : A geo-information based approach. Earth System Sciences, 121 (4) : 1011-1024.

- BENSAID A., BARKI M., TALBI O., BENHANIFIA K., et MENDA A. (2007) Analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : le cas du département de Naâme en Algérie, *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 359-371.
- BERGONZINI JC, LANLY J.P (2000) *Les Forêts Tropicales*, La Librairie du Cirad, Karthala Montpellier, 164 p.
- BIARD F., BARET F. (1997) Crop Residue Estimation Using Multiband Reflectance, *Remote Sensing Environnement*, Volume 59, pp. 530-536.
- BLAIKIE P. ET BROOKFIELD H.C. (1987) *Land degradation and society*. London, Methuen. xxiv + 296 pp
- BLASCO F. (1982) Ecosystème mangrove ; Fonctionnement, utilité, évolution. Actes Symposium International sur les lagunes côtières, SCOR/ IABO / UNESCO / Bordeaux 8 - 14 Septembre, pp 225-230.
- BLASCO F., GAUQUELIN T., RQSOLOFOHARINORO M., DENIS J., AIZPURU M., CALDAIROU V. (1998) Recent advances in mangrove studies using remote sensing data, *Mar. Freshwater Res.* 49, 287-296.
- BOULE M.E. 1994. An early history of wetland ecology. In *Global wetlands: Old world and new*. p. 57- 74.
- BRAAKHEKKE W. et MARCHAND M. 1987 - Les zones humides. La richesse de la communauté, bureau européen de l'environnement, (Mimeo.) Bruxel,24p
- BROU Y.T (2008) La végétation du littoral ivoirien, in *Géographie du littoral de Côte d'Ivoire*, Eléments de réflexions pour une politique de gestion intégrée, dir Pottier P. et Anoh Kouassi P., CNRS-LETG UMR 6554 GEOLITTOMER, IGT, 2008, p. 23-36.
- BROU Y. T. (2009) Mobilité de la population rurale et déforestation dans un contexte de variabilité climatique, Université d'Artois - Faculté d'Histoire et Géographie, Université Lille Nord de France (Artois) - EA 2468 DYRT - F-62000 Arras.

- BROU Y. T., OSZWALD J., BIGOT S. et SERVAT E. (2005) Risque de déforestation dans le domaine permanent de l'état en Côte d'Ivoire : Quel avenir pour ces derniers massifs forestiers? *Téledétection*, vol. 5, n° (1-2-3), p. 105–121.
- CASWELL H., (1988) 'Theory and models in ecology: a different perspective'. In *Ecological Modelling* (43), 33-44
- CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE LANGUEDOC-ROUSSILLON (C.R.P.F.) (2005) Biodiversité et gestion forestière durable, BP 4228 - 34097 Montpellier cedex 5, France, 2p.
- CHALEARD J. L. (2003) Cultures vivrières et cultures commerciales en Afrique occidentale : la fin d'un dualisme ?, « L'Afrique vulnérabilité et défis » Collection question de géographie, Nantes (France), Edition du temps 447p, pp 267-292.
- CHARBONNIER L. (1984) Evolution des zones humides d'intérieur de Bretagne, ed. Bretagne Vivante SEPNEB, 267 p.
- CHAVEZ, P.S., JR. (1996) Image-based atmospheric corrections—revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9): pp.1025-1036.
- CIBIEN ET ÉTIENNE M. (2008) La démarche MAB Man and Biosphere - Paris (FRA), Entre l'homme et la nature, une démarche pour des relations durables. Paris (FRA) : UNESCO (Réserves de Biosphère Notes Techniques, 3), 2008. 12-15
- CIZEL O., GHZH, (2010) Protection et gestion des espaces humides et aquatiques Guide juridique, Pôle-relais Lagunes, Agence de l'eau RM&C, 29p.
- COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE (CGDD) (2010) Le point sur l'évaluation économique des services rendus par les zones humides, un préalable à leur préservation, Observations et Statistiques, environnement, n° 62, 4p.
- COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE (CGDD) (2012) Le point sur L'évolution des zones humides entre 2000 et 2010 : Des pressions toujours fortes, Observations et Statistiques, environnement, n°144 de Septembre 2012, 4p.

- CORNIER-SALEM M.C. (1994) Dynamique et usage de la mangrove dans les pays des rivières du Sud, Actes de l'atelier de travail de Dakar du 8 au 15 mai 1994, ORSTOM éditions, Collection COLLOQUES et SÉMINAIRES, Paris, France., 354p.
- CORNIER-SALEM M.C. (1999) (Ed), Rivières du sud. Sociétés et mangroves Ouest africaines. Paris, IRD, Vol1461p.
- CYR L., BONN F., PESANT A.(1995) Vegetation indices derived from remote sensing for estimation of soil protection against water erosion, Ecological Modelling, Vol 79, N°3, pp277-285
- DABIN B., LENEUF N., RIOU G. (1960) Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1-2.000.000, Publiée par le secrétariat d'Etat à l'agriculture, Direction des sols, Abidjan, Côte d'Ivoire, 39p.
- DAVRANCHE A. (2008) Suivi de la gestion des zones humides camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique, Université de Provence-Aix-Marseille 1, UFR Sciences géographiques l'aménagement - CNRS 6012 E.S.P.A.C.E. Tour du Valat ONCFS Ecole doctorale : Espaces, cultures, sociétés, 235p.
- DIRECTION DE LA PROTECTION DE LA NATURE (1996) Etude pour le renforcement de la protection et l'aménagement de la réserve intégrale des Monts Nimba et des parcs nationaux du Mont Péko et des îles Ehotilé. III. Plan d'aménagement du parc national des îles Ehotilé (550 ha), 47 p.
- DIRECTION DE LA PROTECTION DE LA NATURE (2001) Monographie des parcs nationaux et réserves naturelles de la Côte d'Ivoire. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales, Abidjan, Côte d'Ivoire. MINAGRA, 28 p.
- DIRECTION DE LA PROTECTION DE LA NATURE (2002) Stratégie nationale de conservation et d'utilisation durable de la diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Ministère de l'Environnement, Abidjan, Côte d'Ivoire, 74p.
- DIRZO R., RAVEN P.H., (2003) Global state of biodiversity and loss. Annual Review of Environmental Resources. 28, p.137-167.

- DUMONT R. (1961) *L'Afrique noire est mal partie*, Paris, Le seuil, coll. Politique, 288p.
- ECKHARDT, D.W., VERDIN, J.P. AND LYFORD, G.R., (1990) Automated Update of an Irrigated Lands GIS Using SPOT HRV Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59 (11): 1515-1522.
- EICHELHEM J.L. (2008) *Introduction à la mangrove, Intervenir pour le développement écologique et l'environnement en Casamance*, BP120 Ziguinchor, 22p.
- ELDIN M. (1971) « Le milieu Naturel de Côte d'Ivoire » ORSTOM, 108p
- ELMORE A.J., MANNING S. J., MUSTARD J.F., CRAINE J. M. (2000) Decline in alkali meadow vegetation cover in California: the effects of groundwater extraction and drought, *Journal of Applied Ecology* 2006, Volume 43, pp 770–779
- ELSTON D.A. ET BUCKLAND S.T., 1993: 'Statistical modeling of regional GIS data: an overview'. In *Ecological Modelling* (67), 81-102.
- FAIRHEAD, J. et LEACH, M. (1998). *Reframing deforestation. global analyses and local realities: studies in West Africa*. Routledge, London. pp. xxv + 238 p
- FAO (2001) *Évaluation des ressources forestières mondiales 2000*. Rome, Italie, Fao, Étude Forêts n° 140, 181 p.
- FAO (2005) *Evaluation des ressources forestières mondiales 2005, étude thématique sur les mangroves de Côte d'Ivoire, Profil national, Version préliminaire*, 11p.
- FAVIER C. (2003) *Hommes, Savanes, Forêts : modélisation de systèmes dynamiques liant l'homme à son environnement*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris XI Orsay, 233p.
- FEM (2002) *Rapport annuel du FEM : une confirmation de notre vocation à préserver durablement la planète*, Fonds pour l'environnement mondial, 1818 H Street NW Washington, DC 20433 États-Unis, 80 p.
- FRAZIER S. (1999) *Vue d'ensemble des sites RAMSAR*. Wetlands International. vi + 42 pp.

- FGDC (1992) Application of satellite data for mapping and moniplant stress using leaf spectral reflectance: implications for toring wetlands. Technical Report 1, Wetlands Subcommittee of Wetland Remote Sensing. *Wetlands* 16: 477–487.
- GOETZE D., HÖRSCH B. AND POREMBSKI S. (2006) Dynamics of forest–savanna mosaics in north-eastern Ivory Coast from 1954 to 2002. *Journal of Biogeography*, Vol. 33, p. 653-664.
- GOND V., FEAU C., PAIN-ORCET M. (2003) Télédétection et aménagement forestier tropical : les pistes d'exploitation, *Bois et forêts des tropiques*, N° 275 (1), Aménagement forestier / Télédétection, 2003, p 29-36.
- GUILLAUMET J. L., (1979) : végétation in "Atlas de la Côte d'Ivoire". Association des atlas de Côte d'Ivoire, Abidjan, P. 160.
- GUILLAUMET J.-L. et ADJANOHOUN E. (1971) La végétation de la Côte d'Ivoire, In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, pp. 157-263, Mémoires O.B.S.T.O.M., n° 50, Paris, p 157-263.
- HAMMADA S., DAKKI M., IBN TATTOU M., OUYAHYA A. et FAI M., (2004) Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc, flore rare, menacée et halophile, *Acta Botanica Malacitana*, N°29, p 43-66.
- HAPPI Y., BONVALLOT J. (2000) La disparition des savanes au Centre-Cameroun entre 1950 et 1990. P. 199-200 in M. Servant et S.Servant-Vildary (réd.) *Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*. Orstom-CNRS, Paris, 433 p.43-66p.
- HAUHOUOT C. (2002) LES PROBLEMES DE L'AMENAGEMENT DE L'ESTUAIRE DU FLEUVE COMOE A GRAND-BASSAM. *LES CAHIERS D'OUTRE-MER*, 219 | 2002, 307-324.
- HAUHOUOT C. (2004) Les pressions anthropiques sur les milieux naturels du sud-est ivoirien, *Géo-Eco-Trop*, 2004, 28, 1-2: 69-82.
- HAUHOUOT C., POTTIER P., BAMBA Y. (2011) Recul des formations forestières dans la zone humide du littoral de grand-Bassam, Côte d'Ivoire in : *Revue internationale de la*

*géomatique : Changement d'occupation et d'usage des sols, suivi et modélisation* ; Edition Lavoisier. Volume 21 n°3/2011,327-339.

HILL, J., HOSTERT, P., TSIURLIS, G., KASAPIDIS, P., UDELHOVEN, TH. AND DIEMER, C. (1998) Monitoring 20 years of intense grazing impact on the Greek island of Crete with earth observation satellites. *Journal of Arid Environment*, vol. 39, p. 165-178.

HOANG K. H., BERNIER M. et VILLENEUVE J.-P. (2008) les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant e la rivière Càu au Viêtnam, *Revue Télédétection*, vol. 8, n° 4, p. 227-236.

HOFFMANN L. (1964) Project MAR, Proceedings of the MAR Conference, Les Saintes-Maries-de-la-mer, France, Novembre 12-16, 1962. IUCN New Series N°3, Morges

HOSTERT P., RÖDER A., HILL J. (2003) Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands, *Remote Sensing of Environment* 87, pp183 – 197

HOUEHANOU Y.C., HOUNTONDI (2008) Dynamique environnementale en zones sahéenne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, Faculté des sciences de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, 153p.

HOUNTONDI Y.- C. H. (2008) Dynamique environnementale en zones sahéenne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, , Université de Liège, Thèse de Doctorat, Faculté des sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, 131p.

IDEE Casamance (2008) Programme d'appui au développement Socio-économique pour la paix en Casamance, Rapport d'activités dans le cadre de la convention CSL003/07PROCAS-IDEE Casamance du 12/09/2007, N°07.2013.6-001.00, 13p.

IRD (2012) Qui a déforesté l'Afrique centrale : l'Homme ou le climat ? *Actualité scientifique*, N° 416, 2p.

- JENSEN J. R., NARUMALANIS., WEATHERBEE O., MACKAY H. E. (1993) Measurement of seasonal and yearly cattail and waterlily changes using multirate SPOT panchromatic data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, N° 59, p519–525.
- JOUANIN C. (1972) La conférence des Saintes-Marie-de-la-Mer pour la conservation et l'aménagement des marais, *PENN AR BED*, n° 31, p.233-248
- KLEIN O. (2007) Modélisation et représentations spatio-temporelles des déplacements quotidiens urbains Application à l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard, Thèse de Doctorat de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, France, 265 p.
- KOFFI K. E. (2012) Mutation des paysages de zone humide et enjeux environnementaux et socioéconomiques dans le sud-est de la cote d'ivoire : cas du territoire des sous-préfectures de Dabou, Azaguié et du District d'Abidjan, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan-Cocody, UFR des Sciences de l'Homme et de la Société, Institut de géographie tropicale, Thèse de géographie, 237p.
- KOFFI K. et AMON K. J. (1991) Contribution à l'étude des modifications hydro-sédimentaires consécutives à la reouverture artificielle de l'embouchure du Comoé à Grand Bassam. *J. Ivoir. Océanol. Limnol. Abidjan. Vol. I, n°2, Nov. 1991: 47-60.*
- KOLI BI Z. (2009). Dynamique de l'occupation du sol et des mutations socio-spatiales en pays Ehotilé d'Assinie sur le littoral Est de la Côte d'Ivoire, *Géotrope*, p. 3-19.
- KONAN K. E. (2008) Conservation de la diversité végétale et activités humaines dans les aires protégées du Sud Forestier Ivoirien : l'exemple du Parc National d'Azagny, Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, 270p.
- KONÉ M., AMAN A., ADOU YAO C., COULIBALY L. et N'GUESSAN K. (2007) Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanaise en Côte d'Ivoire, *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 433-446.
- KOUASSI K. J. L. (2014) Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des Systèmes d'informations Géographique : cas de la direction régionale des eaux et forêts d Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), Mémoire de DEA, Ecole Supérieur

- d'Agronomie, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny de Côte d'Ivoire, 73p.
- KWASSI E. A, BLIVI A., AFFIAN K., DJAGOUA E. (2005) Utilisation de l'imagerie pour la définition spatiale des mangroves des îles Ehotilé en Côte d'Ivoire, *Geo-Eco-Trop*, 29: 51-60, 14p.
- LABORATOIRE DE TELEDETECTION ET DE L'ANALYSE SPATIALE APPLIQUEE A L'HYDROGEOLOGIE (2009) Etude faisabilité des forages manuels : identification des zones potentielles, DGEA, Côte d'Ivoire, 73p.
- LAMBIN E.F. (1994) Modelling deforestation processes: a review. *TREES Series B. Research Report 1*. European Commission, Brussels, EUR 15744 EN, 113P
- LANLY J.P. (1982) Les ressources forestières tropicales - Etude FAO, *Forêts* no 30, pp 30-37
- LANLY, J.-P. (1993), « Les principes du rendement soutenu en foresterie tropicale », *Bois et forêts des tropiques*, 234 (1), pp 7-11.
- LASSIEUR S. (2006) Utilisation de la télédétection et des techniques SIG pour détecter et prévenir les activités de déforestation illégales, *SIG et Gestion de l'Espace*, Université Jean Monnet NATO NC3 Agency (La Haye, Pays-Bas), 45p.
- LECLERE, A.S. (1999) Contribution à l'observation nationale des zones humides : apport de la télédétection et des SIG à l'identification, à la caractérisation et au suivi des zones humides, Thèse de doctorat, Paris, 332p.
- LE DUC (1979) Définition et rôle des zones humides, *Penn ar bed* n°12, p. 141-152
- LE LOEUFF P., MARCHAL E. (1971) Géographie littorale, le milieu marin, environnements et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, 8p
- LEPERS E., LAMBIN E. F., JANETOS A., DEFRIES R. S., ACHARD F., RAMANKUTTY N., (2005). A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. In: *BioSciences* 55: 115-124.

- LE POINT : ÉCONOMIE ET ÉVALUATION (2010) l'économie de l'évaluation et de l'intégration du développement durable : « L'évaluation économique des services rendus par les zones humides, un préalable à leur préservation », Commissariat Général au développement durable, n° 62, 4p.
- LOINTIER M. (1996) Hydrologie des zones humides tropicales apport de l'information spatialisée aux problèmes de gestion intégrée application en Guyane, Thèse de doctorat de l'université de Pierre et Marie-Curie, Paris VI, 297p.
- LUEDELING E., BUERKERT A. (2008) "Typology of oases in northern oman based on LANDSAT and SRTM imagery and geological survey data". *Remote sensing of environment*, 112, pp. 1181-1195.
- MAESTRIPIERI N. et PAEGELOW M. (2013) Validation spatiale de deux modèles de simulation : l'exemple des plantations industrielles au Chili. *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*. 653, 30 p.
- MANCHE Y. (1997) Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles, *Revue de géographie alpine*, Tome 85 N°2. pp. 49-62.
- MANAUD F. et MONBET Y. (1980) Évaluation des zones humides. Étude documentaire. CNEXO-COB-ELGMM. Rapport, 263 p
- MENGUE-MEDOU C. (2002) « Les aires protégées en Afrique : perspectives pour leur conservation », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 3, Numéro 1, [www.vertigo.revues.org/4126](http://www.vertigo.revues.org/4126) ; DOI : 10.4000/vertigo.4126.
- MEROT et AL (2000) Ty-Fon : typologie fonctionnelle des fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse, rapport de synthèse final, ed. PNRZH, 115 p.
- .MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (2003) Diagnostic de l'environnement du littoral de Côte-d'Ivoire. 89p.

- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FORET (1999) Diversité biologique de la Côte d'Ivoire, Rapport de synthèse Editeurs Scientifiques Jean-Baptiste L.F. Avit Patrick Léon Pedia Yacouba Sankaré, Côte d'Ivoire, 273p.
- MORAND – DEVILLER, 2003. Le droit de l'environnement (2003) PUF, 6ème éd. Coll. Que sais-je?, Paris.
- MORAND S. (2008) La prise en compte des changements globaux Réserves de Biosphère 2008 Notes techniques 3 –Garnier, L. (ed.), 77p.
- MOREAU N. (2004) Mise en évidence et cartographie de l'évolution des forêts de mangrove dans les Iles du Saloum au cours des trois dernières décennies (1972 à 2001), Photo-Interprétation, n° 2004/4, pp.23-55.
- MOULOD J.M., (1995) Embouchure de Grand-Bassam : impact socio-économique et environnemental. Conference, Mars 1995, 17 p
- MYERS N. (1989) Tropical deforestation: rates and causes. Friends of the Earth., Biodiversity and Conservation 8:1621-1641 . London,
- MYERS N. (1991) The World's forests and Human Populations: the Environnement Connection, Population and Development Review 16, p 237-258.
- N'DA D. H. (2007) Etude et suivi par télédétection et système d'informations géographiques d'aire protégée soumise aux pressions anthropiques : Cas du Parc National de la Marahoué. Thèse, Université de Cocody, 181p.
- N'GUESSAN E., BELLAN MF., BLASCO F. (2003) Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques, Télédétection, vol.3, n°5, p.443-456.
- N'GUESSAN E., N'DA D.H., BELLAN M-F., BLASCO F. (2006) Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : apport de la télédétection, Télédétection, 2006, vol. 5, n°4, p. 307-323.
- NOËL J. (2009) Etude de faisabilité pour l'estimation du débit en rivière au Québec méridional à l'aide du capteur satellitaire MODIS, INRS-ETE, Projet INRS ,France, 4p.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'EDUCATION, LA SCIENCE ET LA CULTURE (UNESCO) (1994) Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau RAMSAR, Paris, 9 p.

OSZWALD J. (2005) Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) : Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique, Université des Sciences et Technologies de Lille, UFR de Géographie et d'aménagement, Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés (UMR CNRS 8141), Thèse de doctorat, 304p.

OSZWALD J., KOUACOU A.J.M., KERGOMARD C. et ROBIN M. (2007) Représenter l'espace pour structurer le temps : approche des dynamiques de changements forestiers dans le Sud-est de la Côte d'Ivoire par télédétection, *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 271-282.

PLANTE-CUNY M. R. (1977) Pigments photosynthétiques et production primaire du microphytobenthos d'une lagune tropicale, la lagune Ebrié (Abidjan C. I.). *Cah. ORSTOM. Ser. Oceanogr.* 15: 3-25.

POMEL S. et SALOMON J.-N. (1998) La déforestation dans le monde tropicale. Presse Universitaire de Bordeaux, Collection Scieteren, Bordeaux, 144 p.

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

RAKOTONIAINA S., COLLET C. (2010) Amélioration de la qualité d'une image multispectrale à l'aide d'un classificateur contextuel. *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 3-4, p. 259-270.

RAMADE F. (1993) Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, ed. Ediscences, 822 p.

RESERVES DE BIOSPHERE (2008) Entre l'Homme et la nature, une démarche pour des relations durables Notes techniques 3 – Garnier, L. (ed.). UNESCO, Paris, 143p.

REPETTO R. (1990) 'Deforestation in the tropics'. In *Scientific American* (262-4), p 36-42.

- ROBIN M., RENOUX E., DEBAINE F., HOBIALISOA D.B., LAMBERTS C. (2010) Cartographie de la mangrove du delta de la Mahajamba par classification d'une image SPOT selon une approche orientée objet, *Téledétection*, Editions scientifiques GB, 2010, 9 (3-4), p.195-208
- ROSSI G., 1999. Forêts tropicales entre mythes et réalités. *Natures, Sciences, Sociétés*, vol. 7, (3): 22-37.
- ROUGERIE G. (1977) *Géographie des paysages, que sais-je*, presse universitaire de France Collection: Que sais-je N° dans la collection: 1362, 128p
- ROUGERIE G. (1964) *La Côte d'Ivoire*. P.U.F. , Collection Que sais-je ? 128p
- RUF. F. (2009) L'adoption de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire : Prix, imitation et changement écologique. 3èmes journées de recherches en sciences sociales INRA/SFER/CIRAD, 9-11, 22p.
- SAHEB E. K. (2011) Vers une modélisation spatio-temporelle de scènes en imagerie satellitale, Thèse de doctorat en informatique, ENST de Bretagne, France, 114 p.
- SAKO N. (2011) Dynamique paysagère et biodiversité des aires protégées du littoral ivoirien : exemple des Parcs Nationaux du Banco et des Îles Ehotilé (sud-est de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat en Géographie-Environnement, Université Paris Diderot, 290p.
- SANKARE Y., AMON K. et KONAN A. (1991) Les effets de la réouverture de l'embouchure du fleuve Comoé sur la végétation littorale lagunaire (Lagune Ebrié- Côte-d'Ivoire). *J. Ivoir. Océanol. Limnol. Abidjan*. Vol. I, n°2, Nov. 1991: 71-79.
- SANKARE V., AVIT J .B.L.F. EGNAKOU W., SAENGER P. (1998) Etude floristique des mangroves des milieux margino-littoraux de Côte d'Ivoire, *Bulletin du jardin botanique national de Belgique*, n°67, p. 169-183.
- SCHIEWE J., TUFTE L. AND EHLERS M. (2001) "Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing". *GeoBIT/GIS*, vol. 6, p. 34-39.

- SCHWARTZ A. (1986) La culture de rente 'se nourrit-elle de la famine en Afrique' ? L'exemple du coton au Togo, Lomé. ORSTOM, 16p.
- SECRETARIAT DE LA CONVENTION DE RAMSAR (2013) Le Manuel de la Convention de RAMSAR, 6e édition : Guide de la Convention sur les zones humides (RAMSAR, Iran, 1971), Rue Mauverney 281196 Gland, Suisse, 118p.
- SKOLE D. L., CHOMENTOWSKI W. H., SALAS, W. A., et NOBRE A. D. (1994) Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience*, 44, p 314–321.
- SOUDANI K. (2006) Maître de Conférences, Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale, Université Paris-Sud XI- 91405 Orsay Cours Télédétection ECO II (Version 1.2 – mars 2005) Cedex - kamel.soudani@ese.u-psud.fr, 19 p.
- SODEFOR (1995) Les partenariats pour gestion forestière durable, Actes du Premier forum International d'Abidjan sur la forêt, éditeur SODEFOR, 272p :24-27.
- SPARFEL L., GOURMELON F., LE BERRE I. (2008) Approche orientée objet de l'occupation des sols en zone côtière, Laboratoire Géomer (UMR 6554 CNRS-LETG) Institut Universitaire Européen de la Mer Université de Bretagne Occidentale Technopôle Brest-Iroise, France *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 4, P. 237-256.
- SYLLA D. (2012), Modélisation spatio-temporelle de la vulnérabilité du milieu à la dégradation des sols en milieu semi-aride à partir de données radar. Thèse de télédétection, Université de Sherbrooke, 207 p.
- TEN BRINK P., RUSSI D., FARMER A., BADURA T., COATES D., FÖRSTER J., KUMAR R. ET DAVIDSON N. (2013) The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. Executive Summar, (IEEP) et Secrétariat Ramsar, 16p.
- TURNER M.G., ROMME W.H., GARDNER R.H., O'NEILL R.W. ET KRATZ T.K., 1993: 'A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes'. In *Landscape Ecology* (8), pp. 213-227.

- THAMPANYA U., VERMAAT J.E., SINSAKUL S., ET PANAPITUKKUL N. (2006) Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 68, Issues, pp. 75-85.
- THERIAULT M., SPARFEL L., GOURMELON F., LE BERRE I. (2011) Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Cadres formels et exemple d'application. *Revue Internationale de Géomatique* 21 (3/2011): 267-295
- THOMAS A. (2005) Application de l'approche orientée objet à l'extraction de fragments forestiers à partir de scènes Spot DESS SIGMA, 30p.
- UICN/PNUE/ WWF (1991) Sauver la planète, Stratégie pour l'avenir de la vie. Gland, Suisse, 250 p.
- UICN/BRAO (2008) Evaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées : parcs et réserves de Côte d'Ivoire. 43p Publié par : UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni.
- VAN ROSSUM F., GODEFROID S. et VERTE P. (2012) Stabilité de la végétation du marais de Heinsch (Lorraine belge) sur trois décennies, Jardin botanique national de Belgique, Domein Van Bouchout, B-1860 Meise. rue JC Hugo 75, B-6730 Bellefontaine.
- VENARD C., DELAITRE E., CALLOT Y., OUESSAR M., OUERCHEFANI D (2009) Exploitation d'images satellitaires à très hautes résolution spatiale fournies par Google Earth. Exemple d'application à l'étude de l'ensablement d'oliveraies en Tunisie. *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 1, p. 59-71.
- VINCKE P. (1989) L'aide multicritère à la décision. Éditions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 178 p.
- VOMSCHEID M. (2011) Etude de l'habitat du cercocèbe à collier blanc et de sa fragmentation, Université de Rennes1, 53p.
- VUATTOUX, R. (1970). - Observations sur l'évolution des strates arborée et arbustive dans la savane de Lamto (Côte d'ivoire). *Ann. Univ. Abidjan, Sér. E*, 3 : 285-315

YAN G., MAS J.-F., MAATHUIS B.H.P., XIANGMIN Z. AND VAN DIJK P.M. (2006) Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches – a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no 18, p. 4039-4055.

YOUTA H. J. (1998) Arbres contre graminées : la lente invasion de la savane par la forêt au Centre-Cameroun, Université de Paris-Sorbonne (PARIS IV), U.F.R. de géographie et Aménagement, 241p

ZHOU W., TROY A. AND GROVE M. (2008) A comparison of object-based with pixel-based land cover change detection in the Baltimore Metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data. 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IV-683 – IV-686.

#### **DOCUMENTS EN LIGNE**

ALBALA A. (2008) De la définition de la biodiversité, Terre des jeunes, <http://terredesjeunes.org/es/node/87>, 6p, consulté le 07/02/2014

AMANI L.P. et OUISSIKA C.B. (2011) Analyse de la déforestation et de la dégradation des forêts en république du Congo, Rapport de la formation - Belém, Brésil du 11 au 28 novembre 2011, <http://www.osfac.net/index.php?lang=fr&Itemid=358>, consulté le 04/02/2014

<http://ct33.espaces-naturels.fr/rappel-de-linteret-patrimonial-des-zones-humides>, consulté le 12/06/2014

COURT M. (2013) Diminution de la surface des zones humides dans le monde, <http://www.lefigaro.fr/environnement/2012/05/09/0102920120509ARTFIG00722>, consulté le 04/02/2014

Evaluation régionale des ressources en eau, application à la Côte d'Ivoire : rapport de synthèse. Abidjan: ORSTOM, 1993, 154 p. multigr. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:38764>, consulté le 16/11/2013

- FARAU S. (2012) L'avifaune des milieux humides girondins: rôle des approches économiques et sociétales de ces dynamiques spatio-temporelles, [www.web.univ-pau.fr/RECHERCHE/SET/INTRANET/fiche\\_identite.php?user=farau](http://www.web.univ-pau.fr/RECHERCHE/SET/INTRANET/fiche_identite.php?user=farau), consulté le 28/02/2014,
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE (2013) Statistiques sur l'agriculture ivoirienne. [En ligne] [http://www.agriculture.gouv.ci/index.php?option=com\\_content&view=article&id=164&Itemid=88](http://www.agriculture.gouv.ci/index.php?option=com_content&view=article&id=164&Itemid=88), consulté le 20/01/2014
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE (2005) Stratégie nationale de conservation et d'utilisation durable de la diversité biologique de la Côte d'Ivoire, [www.cbd.int/doc/world/ci/ci-nbsap-01-fr.pdf](http://www.cbd.int/doc/world/ci/ci-nbsap-01-fr.pdf), 74p.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (2009) Situation des forêts du Monde 2009, Rome, Italie, [www.cicid.org/intervenons/txt/5040000002\\_situation\\_Forets2009.pdf](http://www.cicid.org/intervenons/txt/5040000002_situation_Forets2009.pdf), 168 p.
- PRIGENT C. et DACHER P. (2012) Des zones humides sous pression démographique, Presse CNRS 3p, <http://www2.cnrs.fr/presse/communique/2605.htm>, consulté le 12/12/2013
- REEVES H. (2006) Comprendre l'importance des zones humides, Sauvons la planète N°3, <http://www.hubertreeves.info/chroniques/pdf/20061207.pdf>, consulté le 04/11/2014.
- [www.erb-zh.pagesperso-orange.fr/definitions.htm](http://www.erb-zh.pagesperso-orange.fr/definitions.htm), (2004) Les zones humides en Bretagne Eau et rivière de Bretagne. [www.eptb-vienne.fr](http://www.eptb-vienne.fr), [epbv@epbv.fr](mailto:epbv@epbv.fr), 20p, consulté le 21/01/2014
- [www.ics.trieste.it/media/135548/df2464.pdf](http://www.ics.trieste.it/media/135548/df2464.pdf), Mise en place d'un SIG sur les zones sensibles du littoral ivoirien : Document de méthodologie et d'explication des cartes, 13p, consulté le 21/01/2014

## ANNEXE 1: FICHES D'ENQUETE

### QUESTIONNAIRE AUX AGRICULTEURS

N° de fiche...../...../..... Date de l'interview....

Département : .....

#### I. IDENTIFICATION DE L'ENQUETE

1. Nom et Prénoms.....

#### II. INFORMATION SUR LES EXPLOITATIONS

2. Que cultivez-vous ?

3. Quelle est la superficie de votre exploitation et son âge

4. Quelles sont les étapes pour la création d'une plantation ?

5. Quelle est la périodicité de vos récoltes ?

6. Sur quel site se trouve votre exploitation ?

Plateau.....Plaine.....Bas-fonds..... autre

7. Quelle est la Typologie de votre exploitation ?

Vente .....Location.....Métayage.....  
..... Cession.....Gage.....

8. Selon vous y a-t-il un manque de terre pour l'agriculture ? Justifiez votre réponse.

#### III. LES SYSTEMES DE CULTURE

9. Comment se fait la création de nouvelles plantations ?

Défrichement ..... brulis.....fertilisation des sols. Expliquez ?

10. Quel système de cultures pratiquez-vous ?

Assolement .....Association de cultures.....rotation. Pourquoi ?

11. Quelles sont vos techniques culturales ?

Manuelle.....Attelage.....Mécanique

12. Pratiquent-ils la jachère ? Si oui, pendant combien de temps et pour quelle superficie ? Expliquez votre système.

.....

## QUESTIONNAIRE AUX ENCADREURS D'AGRICULTEUR

N° de fiche...../...../..... Date de l'interview...

Département : .....

### I. IDENTIFICATION DE L'ENQUETE

1. Nom et Prénoms.....

2. Structure d'encadrement :

### II. INFORMATION SUR LES EXPLOITATIONS

1. Qui encadrez-vous ?

2. Quelle est leur situation géographique ?

3. Combien sont-ils ?

4. Quelles sont les surfaces moyennes de leurs exploitations ?

5. Quels est l'âge moyen des exploitations?

6. Quelles sont les étapes pour la création d'une plantation ?

7. Quel est la périodicité des récoltes ?

8. Sur quel site se trouvent les exploitations ?

Plateau.....Plaine.....Bas-fonds..... autre

9. Quelle est la Typologie des exploitations ?

Vente .....Location.....Métayage.....

..... Cession.....Gage.....

10. Selon vous y a-t-il un manque de terre pour l'agriculture ? Justifiez votre réponse.

### III. LES SYSTEMES DE CULTURE

11. Comment se fait la création de nouvelles plantations ?

Défrichement ..... brulis.....fertilisation des sols

Expliquez ?

12. Quel système de cultures pratiquent-ils ?

Assolement .....Association de cultures.....rotation

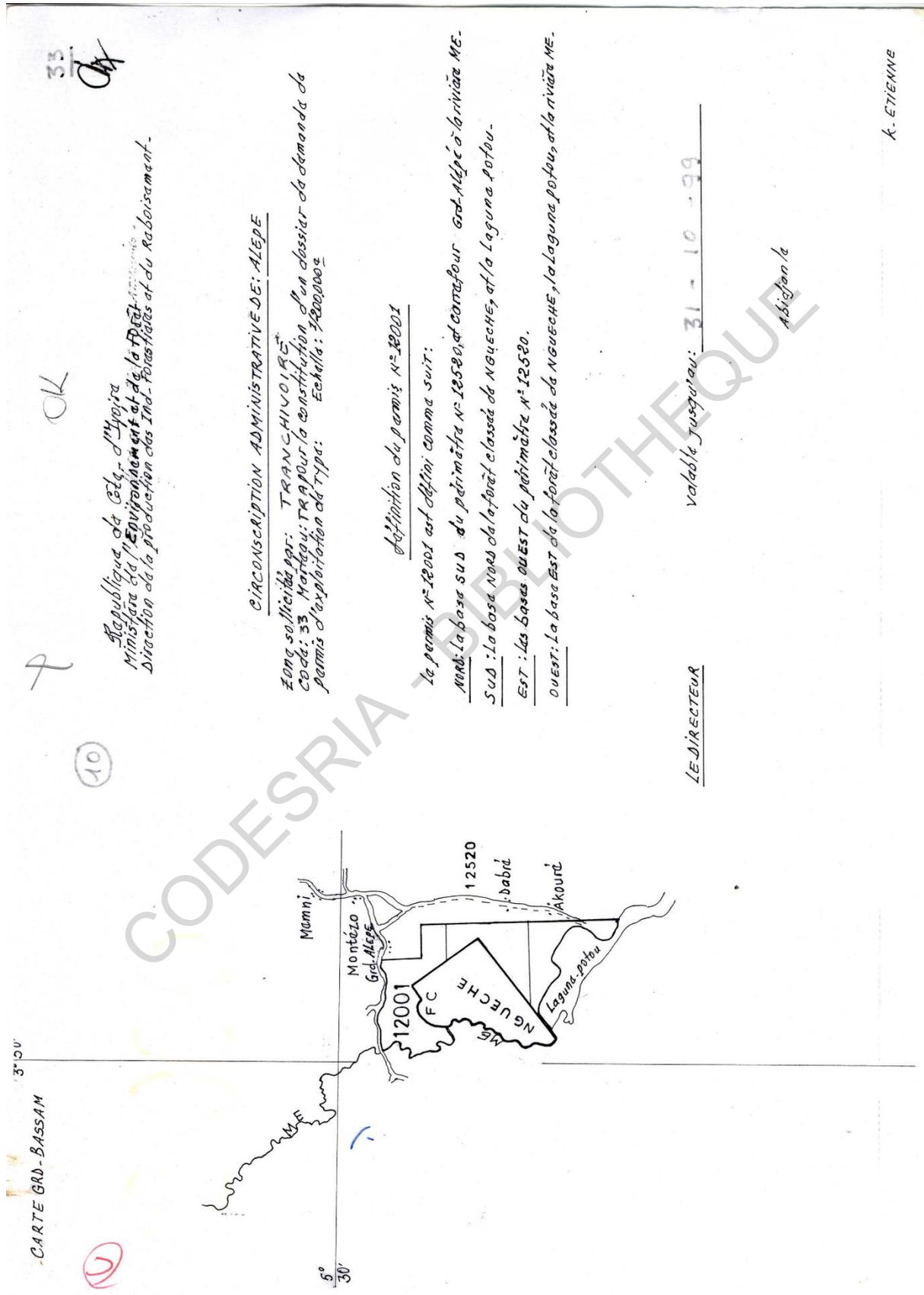
Pourquoi ?

13. Quelles sont leurs techniques culturales ?

Manuelle.....Attelage.....Mécanique

14. Pratiquent-ils la jachère ? Si oui, pendant combien de temps et pour quelle superficie ?

**ANNEXE 2 : CROQUIS DES PERIMETRES D'EXPLOITATION FORESTIERE DE LA ZONE DE RAMSAR DE GRAND-BASSAM ET SES ENVIRONS**



50  
 41' CARTE GRD-BASSAM.  
 SOUS-DIRECTION de:  
 - ANYAMA

Ne  
 République de Côte-d'Ivoire  
 Ministère des EAUX ET FORÊTS  
 Direction de la production des Ind. Forestières

CIRCONSCRIPTION ADMINISTRATIVE DE ABIDJAN

Zone soumise par: SINTRA  
 c/o: Le Marteau; S.A. pour la constitution d'un dossier de demande  
 de permis d'exploitation de type: SA Echelle: 1:50000

Définition du permis N° 12012

Le permis N° 12012 est défini comme suit:  
 NORD: du confluent des rivières ME et Abé sur la rive Nord-sud géogr. de 3km500, sur la  
 rive A sur la rive B, située à 7km200 à l'Ouest géogr. de A.

SUD: la rivière Abibi, et la lagune ADJIN

EST: La rivière ME.

OUEST: La base EST du périmètre N° 11430.

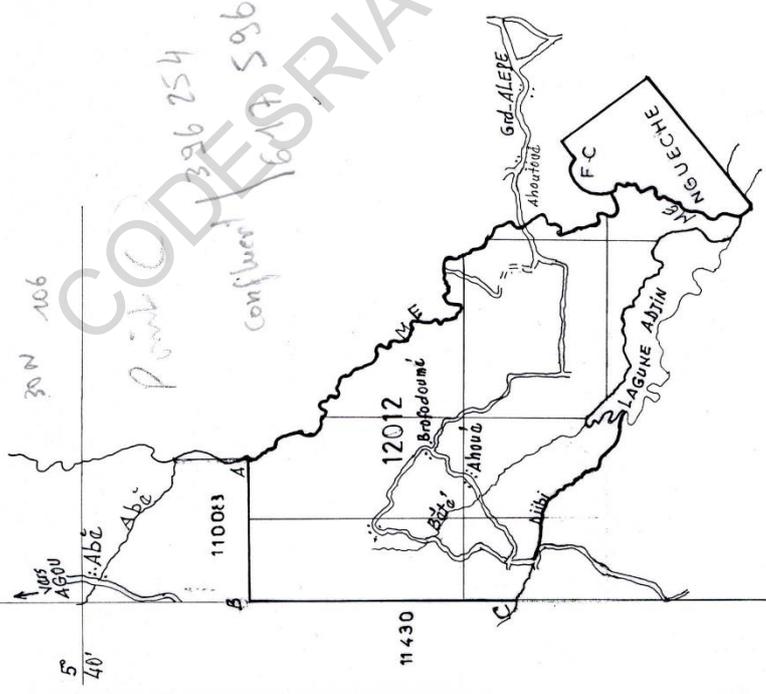
pejane est mé

LE DIRECTEUR

Valable jusqu'au:

Feu 5 Abidjan le 31.10.05

MAG FELICIEUX



914  
OKB

Republique de Côte d'Ivoire  
Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts  
Division de la production et des ind. Forestières

DL

3° 30' NOIR CARTE  
GRD. BASSAM.

SOUS. PREFECTURE

BONOUA.  
ADIAKE.

CIRCOSCRPTION ADMINISTRATIVE - ABIDJAN -

Révisé et certifié par: S.C.A.F.

Code: 94 N°carte: S.C.F. pour la constitution d'un  
dossier de demande de permis d'expl. Echelle: 1/200.000  
de type A.

Définition de périmètre n° 12.500

Ce périmètre se définit comme suit:

Nord: Axe routier BONOUA-ADIAKE.  
Sud: Océan Atlantique.  
Est: Lagune Aby (Adiaké, Daffin, Assini).  
Ouest: Flanc Komoe (BONOUA-  
MOSSOU, Gd BASSAM).

Révisé et certifié le 3-4-06

Le DIRECTEUR.

Ce croquis remplace le n° 18  
du 22-08-2000-

Valable  
JUSQU'AU

31-11-00

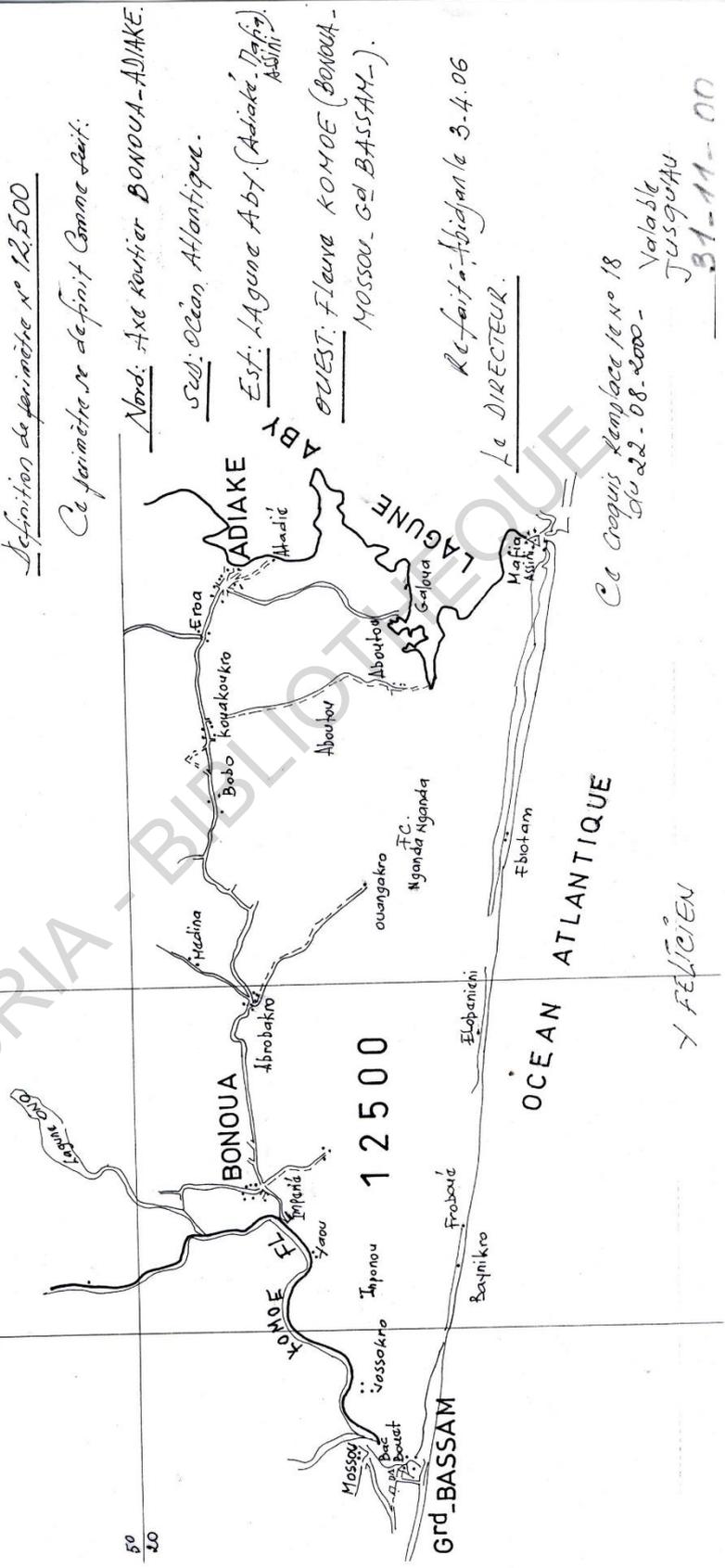
3° 40'

U

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

3° 30'

5° 40'



X FELICIEU

OK *CA*

République de Côte d'Ivoire  
Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales  
Direction de la Production et des Industries Forestières

CIRCONSCRIPTION ADMINISTRATIVE DE: ABIDJAN

Zone sollicitée par: STE TRANCHINOIRE  
Cada: 33 Mortagy: T.R.A. pour la constitution d'un dossier de demande  
de permis d'exploitation de type A Echelle: 1:200000

délimitation du périmètre N° 12520

Axe du point situé sur la rivière ME, une droite ouest-est géographique  
que de 6 km 100, situe le point A.

B - situé à 2 km 450 au sud géogr. de A.

C - situé à 2 km 500 à l'est géogr. de B.

D - situé à 12 km 650 au sud géogr. de C sur la Lagune potou.

Au point A, une droite sud-nord géographique de 2 km 500, situe  
le point D.

E - situé à 13 km 300 à l'est géogr. de D sur la flaque KOMOE.

F - situé à 7 km 200 à l'ouest géogr. de D sur la rivière ME.

LES BASES:

NORD: EF

SUD: BC - flaque KOMOE - axe routier G.M. N° 1 au pont sur la rivière ME.

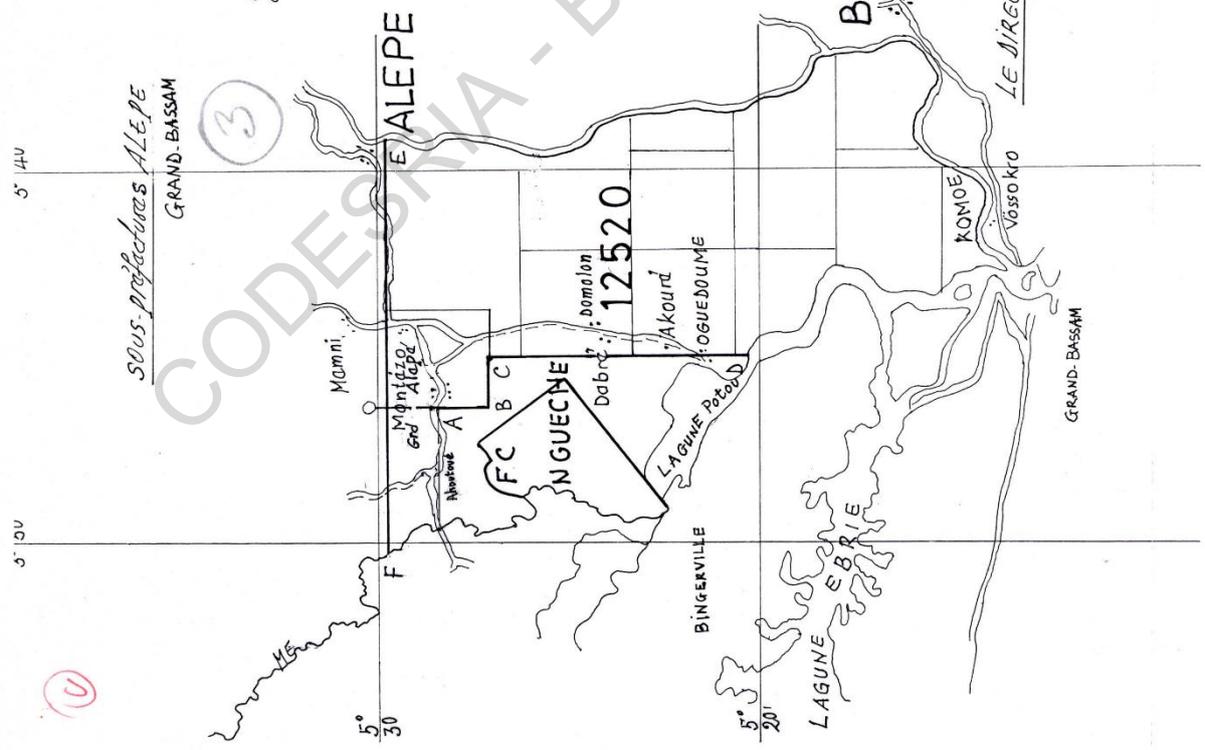
EST: flaque KOMOE

ouest: AB - CD - Rivière ME (du pont Fay pont) Lagune Potou (du point D à l'embouchure de la lagune Ebrié et le Fleuve Komoe).

Valable jusqu'au: 31-12-95

ABIDJAN le 11.08.95

K. ETIENNE  
GNAMKÉ



**CERTIFIE CONFORME  
A L'ORIGINAL**  
 ABIDJAN, le 23.07.2014

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE  
 .....  
 MINISTERE DES EAUX ET FORETS

DIRECTION GENERALE DES EAUX ET FORETS  
 .....  
 DIRECTION DE LA PRODUCTION ET DES INDUSTRIES FORESTIERES

N° 322 ..... MINEF/DGEE/DPIE/SDPFC/SIGESFOR  
 C<sup>e</sup> LOUKOU K. MIAH *[Signature]*  
*Ingenieur des Eaux et Forêts*

**DIRECTION REGIONALE D'ABENGOUROU**

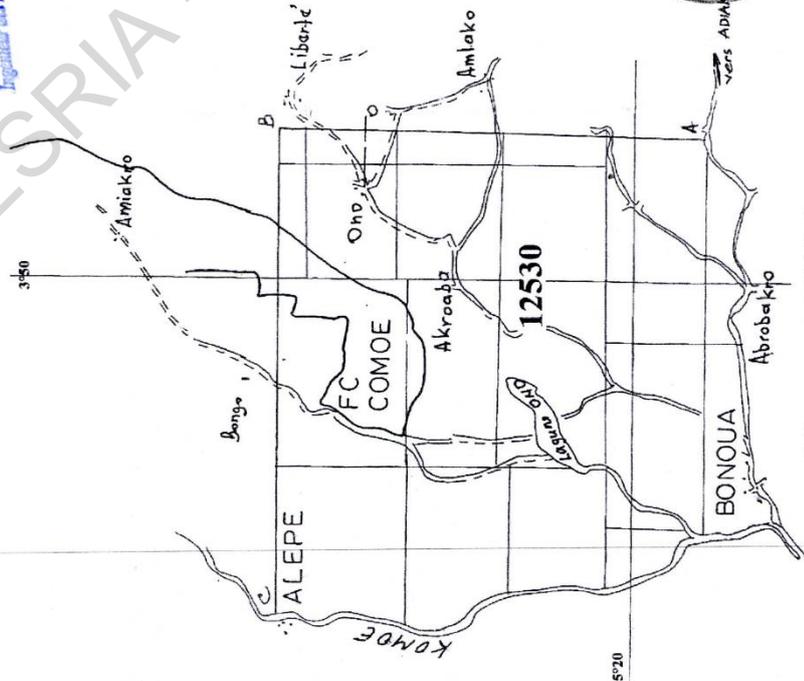
Zone sollicitée par : la société **TRANCHIVOIRE** Code : **33** Marteau : **TRA**

Pour la constitution d'un dossier de demande de périmètre d'exploitation de type A

**DEFINITION DU PERIMETRE N° 12530**

Le périmètre **12530** est défini comme suit :

POINTS	NATURE	DESCRIPTION
Carrefour	Ancrage	Des routes Ono – Liberté, Ono – Amlako, Ono - Akroaba
O	Référence	Situé à 2 km 900 à l'Ouest-Est géographique du carrefour
A	Sommet	Situé à 17 km 750 au Sud géographique de O sur l'axe Adiaké - Bonoua
B	Sommet	Situé à 4 km 500 au Nord géographique de O
C	Sommet	Situé à 24 km 700 à l'Ouest géographique de B sur le fleuve Comoé

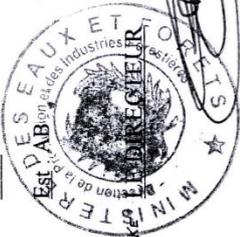


**LES BASES**

Nord : BC  
 Sud : du point A à la ville de Bonoua

Ouest : fleuve Comoé

Abidjan, le 23 JUL. 2014.



**Département d'Aboisso**