UNIVERSITÉ DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE :

Sciences de la Société : Territoires, Économie et Droit — SSTED

ÉQUIPE de RECHERCHE :

UMR 7324 Cité Territoires Environnement et Sociétés — CITERES

THÈSE

présentée par :

Cédric Mpié Simba

Soutenue le : **12 janvier 2022**

Pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Tours**

Discipline : Géographie — Spécialité : Géomatique appliquée à l'environnement et à l'aménagement

Dynamiques des paysages périurbains de la presqu'île de Libreville. De la caractérisation des trajectoires à la modélisation prospective

THÈSE dirigée par :

M. YENGUE Jean Louis	Professeur des Universités, Université de Poitiers
Mme OKANGA GUAY Marjolaine	Maîtresse-assistante CAMES, Université Omar Bongo

RAPPORTEURS :

M. SAQALLI Mehdi	Chargé de recherche HDR, CNRS Toulouse
M. TSAYEM DEMAZE Moïse	Professeur des Universités, Le Mans Université

JURY :

M. MARTOUZET Denis	Professeur des Universités, Université de Tours (Examinateur)
Mme OKANGA GUAY Marjolaine	Maîtresse-assistante CAMES, Université Omar Bongo (co-directrice)
Mme SERVAIN Sylvie	Professeure, INSA Centre-Val de Loire (Présidente du jury)
M. SAQALLI Mehdi	Chargé de recherche HDR, CNRS Toulouse (Rapporteur)
M. TSAYEM DEMAZE Moïse	Professeur des Universités, Le Mans Université (Rapporteur**)**
M. YENGUE Jean Louis	Professeur des Universités, Université de Poitiers (Directeur)

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse, le professeur Jean-Louis Yengué, qui m'a donné l'opportunité de réaliser ce travail de recherche. Tout au long de ces années, il a toujours été disponible, très réactif malgré ses multiples charges et responsabilités. Il a su m'encourager, m'orienter et m'accompagner dans la production d'articles scientifiques, la participation à des colloques scientifiques et m'inciter à assurer les charges pédagogiques. Je tiens aussi à saluer son humanité et, la simplicité qu'il a presque imposée dans nos relations, laquelle a permis de fluidifier nos échanges. Pour tout cela, je le remercie et lui exprime toute ma gratitude.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de ma co-directrice, Marjolaine Okanga Guay, qui m'accompagne depuis le début de mon master. Merci pour sa bienveillance. Les conseils qu'elle nous a prodigués, sa disponibilité, la confiance et la patience qu'elle nous a témoignée ont été très déterminants tout au long de ce parcours. À vous, Marjolaine et Jean Louis, je vous porte un profond respect.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury : Sylvie SERVAIN, Denis MARTOUZET, Moïse TSAYEME DEMASE, Mehdi SAQALLI pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je remercie aussi l'école doctorale SSTED dirigée par Denis Martouzet et le laboratoire CITERES, dirigé par Nora SEMMOUD, pour les conditions d'accueil ainsi que toute l'équipe. Merci en particulier à Sévérine Fromiau, à Patricia Greneche, mais aussi à Christelle Gaudron de l'école doctorale pour leur disponibilité et leur professionnalisme.

Mercie également aux doctorants et compagnons de route, Sarah Anaïs, Pléa Oumar, Fatémeh, Armel Biboutou, Louis Yembi Yembi, Noël Nkouta, Dimitri Essono, Emmanuel Libongui, Marcy Ovoundaga, mais aussi à toute l'équipe « Pars-en-thèse ».

Je pense aussi à mes parents, particulièrement à ma regrettée mère feu Joséphine Mpiga qui nous a quitté au cours de cette thèse. Je ne pourrais trouver les mots dans les langues des hommes pour lui exprimer à la fois ma reconnaissance et mon regret. La reconnaissance pour tous les sacrifices qu'elle a consentie pour ma scolarité, pour son amour inconditionnel et toutes ses belles valeurs qu'elle m'a transmises. Mon grand regret est que le ciel n'a pas permis qu'en retour, je prenne soin d'elle.

Ces remerciements ne peuvent s'achever sans penser à ma tendre Elfie qui, toute seule, prend soin de la petite boule de câlin *Laurette Kyria* depuis mon « exil » à ce jour. Merci pour les compromis, les moments passés toutes seules et ton soutien inconditionnel.

Enfin, à mon père, à celui en qui je puis tout, je confie tout et j'espère tout, reçois toute ma reconnaissance.

Liste des sigles et acronymes

AGEOS : Agence Gabonaise des Études et de l'Observation Spatiale

ANGTI : Agence Nationale des Grands Travaux et des Infrastructures

ANPN : Agence Nationale des Parcs Nationaux

ANUTTC : Agence Nationale de l'Urbanisme, des Travaux Topographiques et du Cadastre

AWR: Arborétum Raponda Walker

CGET : Commissariat Général à l'Égalité des Territoires

CNUED : Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement

DATAR : Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale

DGEA : Direction Générale des Écosystèmes Aquatiques

ETM : Enhanced thematic mapper

FOA : Food and Agriculture Organization

GEOFORAFRI : Renforcement de capacités et accès aux données satellitaires pour le suivi des forêts en Afrique Centrale et de l'Ouest

IC : Indice de Cuirasse

IGAD : Institut Gabonaise d'Appuis au Développement

IPA : Indice de Pression Anthropique

IR : Infra Rouge

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

IRET : Institut de Recherche en Écologie Tropicale

LAGRAC : Laboratoire de Géomatique, de Recherche Appliquée et de Conseil

LMC : Land Change Modeler

LUC : Land Use change

LULC : Land use and land cover

MDMLERD : Modélisation de la Dynamique des Mangroves de Libreville et ses Environs et Risque de Dégradation

MLP : Multi-Layer Perceptron

MNS : Modèle Numérique de Surface

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MORIDEF: Modification du milieu et Risques des Dégradations des Écosystèmes Forestiers

NDPI: Normalized Difference Point Index

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NDWI: Normalized Difference Water Index

OSFACO: Observation Spatiale des Forêts Tropicales

PIR : Proche Infrarouge

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

POS : Plan d'Occupation des Sols

PSGE : Plan Stratégique Gabon Emergent

RGPH : Recensement Général de la population et de l'Habitat

RGPL : Recensement Général de la Population et du Logement

RUF : Registre Foncier Urbain

SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale

SDAU : Schéma Directeur d'Aménagement Urbain

TEDDIF : Territoire, Environnement et Développement Durable en Île-de-France

TM : Thematic mapper

USGS : United States Geological Survey

WRI: Word Resources Institute

Sommaire

REMERCIEMENTS I

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES II

SOMMAIRE IV

INTRODUCTION GÉNÉRALE 3

PARTIE I : TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES PAYSAGES PÉRIURBAINS, MODÉLISATION PROSPECTIVE, DONNÉES ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 15

CHAPITRE I : COMPRENDRE, CARACTÉRISER ET MODÉLISER LES DYNAMIQUES PAYSAGÈRES : QUELLES APPROCHES ? 16

1.1. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de l'analyse des dynamiques paysagères 16

1.2. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de la modélisation prospective des changements d'occupation des sols 32

Conclusion du chapitre 1 ..... **49**

CHAPITRE 2 : COMPRENDRE LE CONTEXTE SOCIOGÉOGRAPHIQUE DU SITE D'ÉTUDE ET SON ÉVOLUTION 53

2.1. Géographie de la presqu'île de Libreville 53

2.2. Évolution démographique et urbanisation 61

2.3. Gouvernance territoriale et activités socioéconomiques 70

Conclusion du chapitre 2 ..... **81**

CHAPITRE 3 : DESCRIPTION DU PROCESSUS DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES ET DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE 85

3.1. Description du processus de collecte et de traitement des données utilisées 86

3.2. Prospective territoriale spatialisée appliquée à la presqu'île de Libreville 101

Conclusion du chapitre 3 ..... **112**

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE **113**

PARTIE II : ANALYSE MULTISCALAIRE DES TRAJECTOIRES D'OCCUPATION ET D'USAGE DES TERRES ETDÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS OBSERVÉS 117

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES CHANGEMENTS PAYSAGERS PAR TÉLÉDÉTECTION À L'ÉCHELLE DE LA PRESQU'ÎLE DE LIBREVILLE 118

4.1. Identification spatiale des entités d'occupation du sol 118

4.2. Détection multi-dates des changements de l'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville 129

Conclusion du chapitre 4 ..... **143**

CHAPITRE 5 : CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE 147
5.1. Analyse des trajectoires de changements d'occupation du sol 147
5.2. Analyse des changements des écosystèmes forestiers à l'échelle locale 153
Conclusion du chapitre 5 ..... **170**

CHAPITRE 6 : DÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENT OBSERVÉS 173

6.1. Détermination des facteurs de changement d'occupation du sol observés 174
6.2. Indices de pressions anthropiques et hiérarchisation des facteurs de changements 196
Conclusion du chapitre 6 ..... **206**
CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE **207**

PARTIE III : MODÉLISATION PROSPECTIVE DES CHANGEMENTS D'OCCUPATIONS DU SOL ET ÉVALUATION DE LEURS IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX 211

CHAPITRE 7 : CHANGEMENTS FUTURS D'OCCUPATION DU SOL SELON LES SCÉNARIOS À L'ÉCHELLE LOCALE 212

7.1. Modélisation des changements de l'occupation du sol réellement observés 213
7.2. Simulation des changements futurs d'occupation du sol selon les scénarios à l'échelle locale 234
Conclusion du chapitre 7 ..... **257**

CHAPITRE 8 : IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE 261

8.1. Impacts liés à l'intensification du processus d'artificialisation des terres à l'échelle locale 261
8.2. De la protection des forêts à l'émergence des conflits 277
Conclusion du chapitre 8 ..... **287**
CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE **288**

CONCLUSION GÉNÉRALE 293

BIBLIOGRAPHIE 306
Liste des figures 322
Liste des tableaux 326
Annexes 328
Table des matières 340
Résumé 345

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Particulièrement depuis le début du 20e siècle, les actions humaines perturbent l'ensemble des écosystèmes de la Terre. L'homme exerce une influence de plus en plus croissante sur son milieu. Les interactions entre l'homme et son environnement sont à l'origine de la vulnérabilité des milieux et des territoires. Selon Robert et Chenorkian (2014 : 8), « l'ensemble des relations caractérisant l'influence des milieux sur les actions et le fonctionnement des sociétés humaines, et l'effet des activités et des décisions humaines sur les milieux, constitue les « interactions hommes-milieux ». L'homme influence donc, non seulement par les actions qu'il pose, mais également par ses décisions. Si les actions font référence aux activités (agriculture, industrie, exploitation du bois, habitat, etc.,), les décisions, elles, font référence aux politiques de gestion des territoires. Ces interactions (actions et décisions) ont, pour conséquence, une modification profonde des paysages. Les modifications produites sur les structures paysagères entrainent entre autres, la dégradation forestière, la déforestation, la fragmentation, la diminution de la disponibilité des ressources et services écosystémiques, les perturbations climatiques locales qui, à leur tour, participent au changement global (Oloukoï, 2013 ; Corgne, 2004). Dans le contexte actuel des changements globaux, les perturbations spatiotemporelles liées aux changements d'occupation du sol et, plus spécifiquement, ceux du milieu dit « naturel » sont devenus des indicateurs qui permettent d'évaluer ou diagnostiquer la santé des écosystèmes (Ouba, 2013).

Le concept qui désigne la modification des milieux dits « naturels » par les actions humaines est l'anthropisation. C'est donc un phénomène géographique engendré par l'homme. Ainsi, l'anthropisation des territoires est devenue un phénomène de la biosphère intensivement suivie (par satellite) et qui ne fera que croitre (Lecerf, 2008). Les effets de ce phénomène sur le paysage ont largement été évoqués (FAO, 2020 ; 2015, 2010, 1999), de même que le caractère fragile des écosystèmes naturels. De nombreuses études portant sur la déforestation et la dégradation forestière dans les régions tropicales ont été réalisées au cours des 40 dernières années et ont été facilitées par la télédétection. L'analyse systémique des dynamiques paysagères à partir des données de la télédétection et des outils connexes tels que la cartographie et le Système d'Information Géographique, constitue aujourd'hui une voie prometteuse pour la connaissance, la conservation des écosystèmes et le suivi des dynamiques paysagères (Collin, 2000). Les évaluations des ressources forestières de la FAO de 1980 à 2000 ont souvent tenté de déterminer l'importance relative des facteurs de déforestation directs et indirects au niveau national, régional et mondial. Mais les résultats de ces études, produits à l'échelle globale ou régionale, ne sont exploitables qu'à la petite échelle et ne donnent qu'une idée globale des changements (Moridef[1], 2014). Au niveau local, les moteurs de ces modifications

[1] Projet de recherche conduit par le LAGRAC et l'IRET en 2014 : « *Suivi des MOdifications du milieu et diagnostic du RIsque de Dégradation des Écosystèmes forestiers par télédétection et spatialisation d'indicateurs* ». Le projet MORIDEF

paysagères sont les activités socioéconomiques. Cela se traduit par une dynamique des structures spatiales des paysages. L'intensification des dégradations est souvent mise en lien avec la forte croissance démographique observée notamment en Afrique subsaharienne. L'accroissement de la population augmente les besoins en terre pour diverses utilisations comme la construction des infrastructures ou l'agriculture, etc. La connaissance des dynamiques spatiotemporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols est considérée comme un des éléments fondamentaux qui permettent de mesurer les impacts humains sur l'environnement. Selon Bogaert et *al.*, (2008), un des impacts anthropiques les plus critiques sur la planète Terre s'avère être la suppression de la couverture végétale originelle accompagnée de son remplacement par une autre catégorie d'occupation du sol.

Problématique

Au regard de ce qui précède, l'aménagement durable des territoires est aujourd'hui une nécessité au moment où la question de l'équilibre environnemental et les changements climatiques sont au centre des préoccupations internationales. Une des réponses efficaces pour lutter contre ces changements semble être le maintien des forêts. Or, de manière globale, la nature (en ville) est fragilisée par les pressions anthropiques, sous l'effet de la croissance démographique et des besoins économiques. À Libreville par exemple, la quête d'un équilibre environnemental est mise à mal par une gestion territoriale et environnementale mal maitrisée particulièrement en milieu périurbain, où les dynamiques liées aux pressions anthropiques sont très fortes et rapides. La croissance démographique que connait le Gabon depuis les années 1970 constitue le fait majeur des transformations des écosystèmes naturels et aménagés en périphérie de sa plus grande ville. En effet, entre 1960 et 1990, son taux d'urbanisation est passé de 13 à 73 % (RGPL, 2013). Aujourd'hui, ce taux d'urbanisation est estimé à plus de 85 % (*Ibid.*). Malheureusement, toute cette dynamique se manifeste principalement en direction d'un seul territoire à savoir Libreville, la capitale. Cette dernière a connu et connait encore, aujourd'hui, une forte croissance de sa population. À elle seule, elle abrite plus de 703 939 habitants, soit plus de 40 % de la population nationale (RGPL, 2013). Cette croissance démographique trouve son explication dans la place et le rôle que cette ville joue sur le plan national. Elle constitue, en effet, une terre d'opportunité, un bassin d'emplois et de services, vecteur de croissance, symbole de réussite sociale et lieu de toutes les convoitises des populations de l'arrière-pays. Ainsi, l'ensemble de ces éléments lui confère un pouvoir attractif et fait d'elle une place centrale et une plaque tournante. Cette attraction suscite aussi des intérêts sur le plan international. Depuis les années 1970, la ville enregistre de nouveaux arrivants issus de l'immigration internationale, favorisée par le boom pétrolier en cette même période. Les retombées économiques issues

était financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial via le programme GEOFORAFRI de l'Institut de Recherche pour le Développement.

de l'activité extractive (pétrole, mine) ont majoritairement bénéficié à Libreville au détriment des autres territoires (Pottier, 2017 ; Allogho, 2013 ; Djéki, 2004). Dès lors, ce déséquilibre a contribué à renforcer l'attractivité de la capitale par rapport au reste du pays. Bien que les villes extractives (Port-Gentil, Moanda, Mounana, etc.) ont passablement bénéficié des emplois et services qui découlent des activités minières/pétrolières et des investissements locaux tels que des équipements urbains (écoles, des centres de santé), des infrastructures (aéroport, routes, voie ferroviaire), mais c'est la capitale (administration centrale) qui a le plus bénéficié des retombés financières (impôts, taxes). Ces dernières ont permis de financer plusieurs gros chantiers (centre hospitalier, bâtiments administratifs, transport, eau, électricité, etc.) qui ont fait de Libreville un territoire attractif. Libreville polarise 51 % des travailleurs du pays et 42 % de la population active (RGPL, 2013). Le faible tissu économique des autres villes de l'intérieur du pays a contribué à l'accroissement rapide de la population des Libreville. Cette dernière a abouti à l'asphyxie et à la saturation de l'aire urbaine traditionnelle (Madébé, 2014 ; Nguéma, 2014 ; Allogho, 2013 ; Ntsebe Ondo, 2010 ; Okanga Guay, 2007). Depuis lors, la ville s'accroit de manière incontrôlée et anarchique dans ses zones périphériques. Ces installations incontrôlées transforment le paysage périurbain et contribuent ainsi à alimenter les dégradations des écosystèmes naturels.

L'exode rural a eu pour conséquence majeure le gonflement du poids démographique de Libreville et l'assèchement des autres localités (Ntsebe Ondo, 2010). En effet, entre les années 1993 et 2013, Libreville et sa région ont gagné plus de 400 000 habitants, soit près de la moitié de sa population comparativement de 1993. Il n'est pas exclu que d'ici 2023, le million d'habitants soit atteint dans la capitale. De surcroit, cette évolution démographique se fait sur un territoire complexe (un espace quasi insulaire) où l'espace disponible est à la fois restreint et contraint. Il est restreint, car cette région compte aujourd'hui plus de 40 % de la population du pays sur un territoire qui ne représente que 0,35 % de territoire national soit 859,80 km². Cette zone est 25 fois plus petite que la superficie de la province qui l'abrite, et environ 311 fois plus petite que la superficie du pays tout entier. Contraint, car la moitié du territoire d'étude est difficilement aménageable du fait d'un grand nombre d'espaces *non aedificandi*, caractérisé par des zones marécageuses, les talwegs ou bas-fonds, et des forêts littorales inondées (mangroves), les forêts continentales inondées, mais aussi une géomorphologie et une hydrographie quelquefois contraignantes. De plus, ce territoire est presque totalement entouré d'eau (Océan Atlantique, Estuaire du fleuve Komo, de nombreux bras de mer), ce qui limite ses possibilités d'extension dans toutes les directions (Nord, Sud, Est et Ouest). Cette ville côtière est aussi marquée par une biodiversité remarquable des forêts préservées (de terre ferme et inondée) en grande partie dans le parc National d'Akanda et l'Arborétum Raponda Walker (fig.1). *In fine*, les zones aménageables et constructibles sont très peu nombreuses. Ces zones concentrent l'essentiel d'une tache urbaine étalée, trop peu structurée, constituée de Libreville au centre et Akanda Nord et Owendo au sud (fig.1).

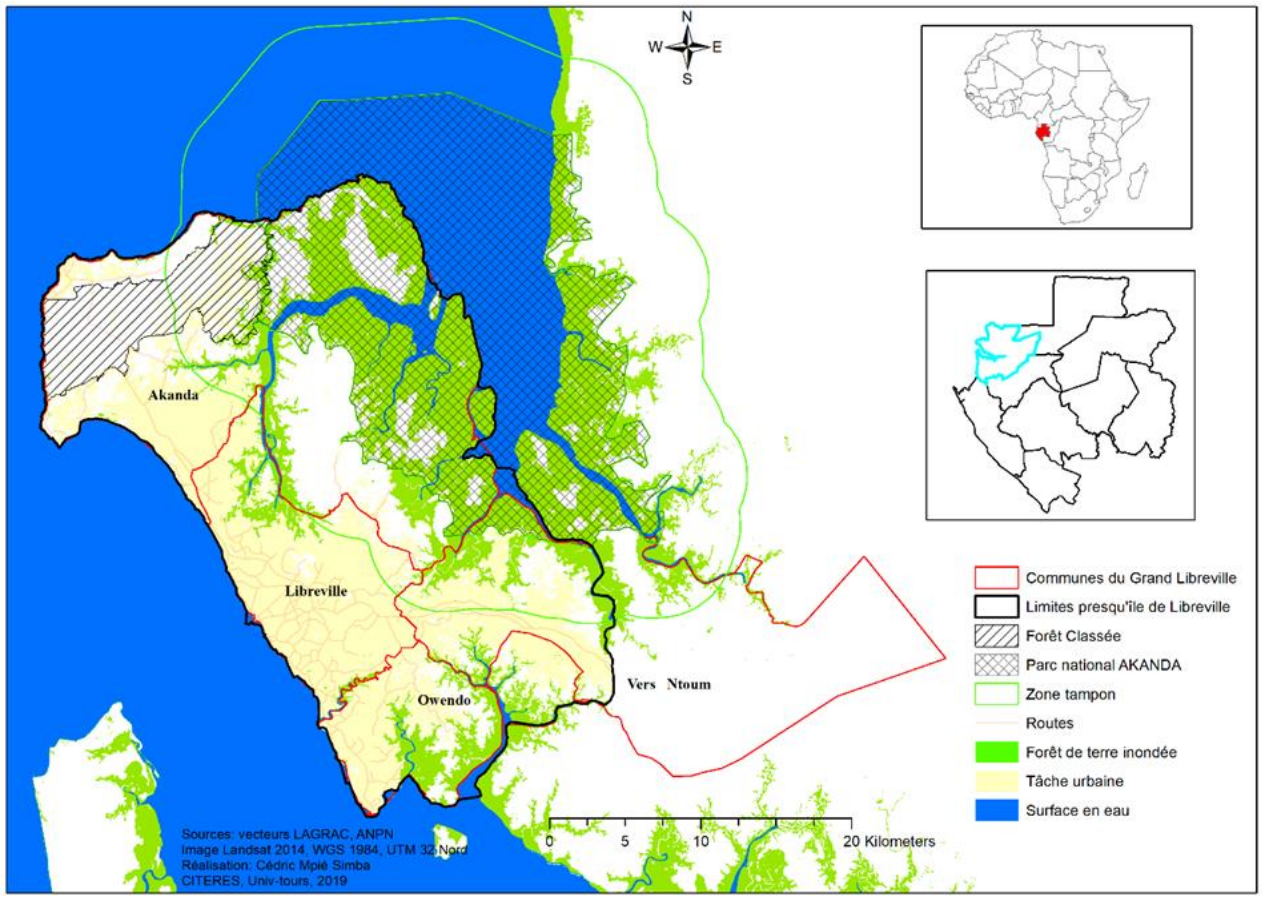


Figure 1 : Situation et emprise globale de la zone d'étude. Source : Cédric Mpié Simba, 2019

Dans les zones périphériques de Libreville, les risques de dégradations des écosystèmes par les facteurs anthropiques augmentent, en lien avec la croissance urbaine, l'occupation irrégulière et illégale des espaces, le changement et/ou les variations climatiques locales. La nature en ville, et particulièrement la forêt, est fragilisée par une frénésie immobilière. Face à ces risques, l'action de l'État est souvent indispensable. Mais, dans le domaine, l'absence de l'État ou le désengagement de l'action publique sur la question de l'occupation des espaces, mets à mal l'opérationnalisation des politiques de préservation de l'environnement. Bien que des politiques publiques soient de plus en plus souvent mises en œuvre pour lutter contre la dégradation environnementale, elles éprouvent de grandes difficultés à maitriser les dynamiques de changement. Ces changements sont en partie dus à des mécanismes socioéconomiques qui ne se préoccupent pas de l'environnement et qui échappent aux pouvoirs publics. Divers enjeux entrainent inévitablement des pressions humaines accrues sur les écosystèmes naturels qui subissent des modifications importantes, notamment au niveau des zones où se développent des fronts pionniers avec diverses activités humaines perturbatrices (Mpié Simba, 2015). Ainsi, les pressions anthropiques et les modifications en cours, particulièrement dans les zones périurbaines de Libreville, représentent de réelles menaces de dégradation de ses écosystèmes fragiles et vulnérables et pourtant très riches. En effet, l'urbanisation rapide et non contrôlée observée à Libreville et ses environs soulève la problématique des

modes d'acquisition du sol et ses conséquences sur l'environnement. La ville ou son extension ne se fait pas selon les normes urbanistiques. L'occupation des terres se fait généralement sous la forme d'espaces non viabilisés, sans aucune forme d'assistance et sans infrastructures d'accompagnements nécessaires. Toutes les terres du centre urbain sont occupées, y compris certaines zones à risque comme des terres inondables, des zones sensibles à l'érosion, les zones marécageuses y compris les surfaces de mangrove, certains lits des cours d'eau et les zones à pente forte. Les enregistrements des désastres provoqués par l'occupation de ces sites à risque sont fréquents (inondations, érosions et les glissements de terrain).

Au regard de ce qui précède, le contexte de forte croissance démographique et de ressources foncières limitées, justifie le fait que les problématiques de l'usage du sol et de l'étalement urbain soient au cœur du débat sur l'aménagement durable du territoire. Le changement d'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville prend une ampleur sans précédent depuis les deux dernières décennies. Un des principaux éléments de transformation du site s'avère être l'occupation spontanée des terres qui modifie la couverture végétale des zones périphériques, entrainant une dégradation des écosystèmes forestiers. Ces dynamiques rendent impérative la connaissance de l'état des écosystèmes particulièrement important. L'analyse et la caractérisation de ces processus, en vue d'améliorer la connaissance et la gestion des terres, constituent une première étape dans la mise en œuvre des actions de préservation et de gestion durable des terres. Cette connaissance est cruciale pour mieux éclairer la prise de décision et appuyer les processus de planification.

Plusieurs études ont été réalisées sur les impacts environnementaux et sociaux des activités humaines au Gabon, notamment à Libreville (Moughola, 2020 ; Ovono Edzang, 2019 ; Indjieley, 2013 ; Mabiala, 2010 ; Manembé, 2001). Mais ces études se limitent à des mises en évidence des dégradations et des mécanismes de causes à effets, et n'envisagent la prospective (le devenir possible du territoire) que sous la forme d'une perspective littéraire, qui insiste beaucoup plus sur la dimension qualitative de l'environnement, les dynamiques urbaines en lien avec la croissance démographique (Pottier P, 2017) et les activités socioéconomiques. Ces études permettent de connaitre en profondeur l'ensemble des maux qui minent ce territoire. Toutefois, l'analyse du devenir du territoire, et la dimension quantitative des changements environnementaux, ne sont pas souvent prises en compte dans l'analyse des dynamiques territoriales. La question de l'anticipation des changements spatiaux est encore absente des problématiques de recherches en aménagement et en environnement, car, au cours de notre recherche bibliographique, nous n'avons pas identifié de travaux qui abordent la question de l'anticipation des changements spatiaux. De plus, des études sur les changements de l'occupation du sol à l'échelle locale et régionale au Gabon sont peu nombreuses. La majorité des travaux spécifique sur cette thématique sont récents (2014). Ils sont majoritairement composés de mémoire de master (Tedjoumessi Fonda, 2018 ; Libongui, 2015 ; Essono Mila, 2015 ; Biboutou, 2015 ; Mpié Simba, 2015), ou d'appel à projets internationaux conduit par le LAGRAC (Laboratoire de Géomatique de Recherche Appliquée et de Conseil) en 2014 et 2018. Ces

travaux ont, pour dénominateur commun, l'usage de la télédétection et des SIG pour l'étude des phénomènes spatialisés. Plusieurs thématiques sont abordées allant des dynamiques forestières ou d'urbanisation, à l'analyse des bassins versants, du trait de côte et même au suivi des dynamiques agricoles. Le recours de la géomatique a, sans doute, été impulsé par la création en 2010, de l'Agence Gabonaise des Études et de l'Observation Spatiale (AGEOS). Les premières collaborations entre cet organisme et le département de Géographie ont débuté en 2015 (année de lancement effectif des activités de l'AGEOS). Avant la création de l'AGEOS, il n'existait aucune donnée de référence sur les catégories d'occupation du sol. Les premières données ont été produites en 2018. Mais elles ne concernent que les données sur l'état du couvert forestier à l'échelle nationale. À ce jour, il n'y a pas de données de référence sur l'occupation du sol à l'échelle locale.

Face à ces carences, cette thèse s'inscrit clairement dans le cadre d'une recherche appliquée. Elle proposera, à la lumière des trajectoires analysées, des scénarios d'évolutions possibles de l'occupation du sol en fonction des indicateurs retenus. La compréhension des phénomènes spatialisés en environnement nécessite d'appliquer ou de développer des modèles spatiaux d'analyse robustes qui prennent en compte la complexité des phénomènes étudiés. L'enjeu de ce travail de recherche consiste à déterminer des facteurs explicatifs des dynamiques territoriales d'origine anthropique, qui sont source de dégradations ou de déséquilibres observés. Cela nécessite de comprendre les logiques sociales, d'analyser processus et mécanismes d'appropriation des espaces. Il s'agit particulièrement d'examiner, les actions d'aménagement, d'utilisation et d'exploitation du milieu, en se focalisant sur l'impact de l'occupation/utilisation anarchique et spontanée des terres sur les écosystèmes naturels. Ces actions ont des répercussions sur la configuration spatiale du paysage. Dans cette optique, les questions suivantes se posent avec acuité : **comment les pratiques des populations influencent-elles la structure spatiale du paysage et quels changements probables peuvent-ils admettre ?** La réponse à cette question principale passe par les questions (secondaires) suivantes : quels sont les changements du milieu survenus ou en cours ? Quelles sont les causes de ces changements et leurs impacts ? Quelles sont les évolutions potentielles de ces changements et leurs conséquences probables ?

Le principe est d'identifier les différentes tendances lourdes qui ont façonné le territoire, leurs occurrences, leur maintien ou non et de projeter leur probabilité d'évolution spatiotemporelle ainsi que leurs impacts sur le plan social et environnemental. En effet, les changements liés aux modes d'occupation de l'espace ont des répercussions à la fois sur les écosystèmes naturels et sur les populations locales **(**Mpié Simba, 2015) ; (Biboutou, 2015). Précisons qu'il ne s'agit pas simplement de partir des dynamiques passées pour imaginer le futur, mais de comprendre la complexité du fonctionnement du système territorial pour discerner les probabilités (possibilités) de son évolution, bien que souvent imprévisibles. L'anticipation des dégradations pouvant affecter les écosystèmes naturels représente aujourd'hui un enjeu majeur pour leur

préservation. La modélisation de leur évolution est alors un moyen de mieux comprendre les interactions entre l'homme et son milieu. Cette thèse apportera des éléments de réflexion intéressants quant aux devenirs possibles du territoire (la presqu'île de Libreville) en termes de paysage, d'occupation des sols, et des activités

Objectifs et hypothèses

Cette thèse a pour objectif principal l'analyse rétroactive et prospective des transformations des écosystèmes naturels et aménagés de la presqu'île de Libreville et de développer une méthodologie de suivi des processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères, au moyen d'images de télédétection et des données de terrain afin d'évaluer le risque de dégradation des écosystèmes. Elle interroge les processus d'anthropisation du territoire, particulièrement les pratiques liées aux modes d'occupation des espaces et les utilisations qui y sont faites. Cette méthode se propose d'expliquer le fonctionnement des territoires comme résultant des multiples interactions entre les éléments environnementaux et sociaux imbriqués, possédant leur propre dynamique et dont l'évolution est souvent imprévisible. Les objectifs spécifiques se déclinent dans les points suivants :

— ***Identifier, caractériser les trajectoires des changements passés et actuels.*** Il faut d'abord caractériser les changements issus de dynamiques anthropiques, par l'étude des changements d'occupation du sol passée et en cours. Les changements d'occupation du sol sont très majoritairement le résultat des interactions entre l'espace et la société. L'étude des changements d'occupation du sol représente donc un enjeu important pour évaluer leurs effets sur l'environnement. Évaluer et caractériser les trajectoires des changements de l'occupation du sol exige un suivi dans le temps et dans l'espace, une analyse adaptée ainsi que des méthodes innovantes correspondant au cas d'étude. Cette première étape s'attèlera à apporter des connaissances sur la nature, l'ampleur des changements observés et en cours. Autrement dit, elle fournira des éléments de quantification de la pression anthropique qui caractérise l'état du paysage et renseigne sur les dynamiques. Il s'agit donc de procéder à un état des lieux de l'occupation du sol, c'est-à-dire faire une cartographie évolutive ou spatiotemporelle de la zone d'étude entre 1990 et 2018, en utilisant la télédétection, notamment les images satellitaires. Le recours à cette borne temporelle sera justifié dans les chapitres qui suivent.

— ***Identifier les facteurs ou les moteurs qui ont conduit aux changements observés.*** Il faut identifier les moteurs, c'est-à-dire les facteurs qui ont conduit aux changements. Cette étape permet d'établir une corrélation entre les changements observés et les facteurs explicatifs de ces derniers. Ces facteurs rassemblent l'ensemble des activités anthropiques et des pratiques identifiées lors des campagnes de terrain. Des analyses spatiales diachroniques (1990-2018) découlant de la cartographie de l'occupation du sol permettront d'identifier les facteurs de changements du milieu et de comprendre les mécanismes de

changement. Des indicateurs ou facteurs pertinents seront sélectionnés afin de décrire quantitativement, qualitativement ou de façon évolutive, un aspect particulier des dynamiques spatiales. L'objectif est de mettre en évidence les facteurs de dégradation des écosystèmes forestiers et des dynamiques périurbaines. Un accent particulier sera mis sur la détermination de leurs processus de diffusion spatiale. Cette partie consiste à produire les données qui serviront pour le développement du **modèle** sur lequel repose la modélisation prospective du territoire.

— Évaluer et décrire les répercussions des changements observés sur le paysage et le cadre de vie. Il faut ensuite expliquer et décrire l'ampleur de ces changements, c'est-à-dire leurs impacts spatiaux et sociaux. L'évaluation des impacts liés aux changements de l'occupation et utilisation du sol est une phase très importante dans le cadre des *Land Use Science*. Cette étape permet d'établir un lien de cause à effet entre les facteurs de changements identifiés et les dégradations observées. L'évaluation des changements observés passe par l'analyse des stratégies d'occupation des surfaces périurbaines, la diversité des modes d'habiter et les impacts de cette importante pression humaine sur les milieux sensibles.

— Analyser les transformations possibles du territoire au regard des dynamiques passées et présentes et de l'analyse des tendances lourdes ou des facteurs émergents. Le but est de développer un modèle prédictif pertinent, permettant d'étudier les processus de diffusion spatiale des facteurs de dégradation identifiés dans le deuxième objectif. Ici, il s'agit de l'élaboration de simulations de type prospectif de l'occupation du sol et des structures paysagères selon différents scénarios et d'évaluer l'impact de ces scénarios futurs sur l'environnement. L'utilisation des modèles prédictifs est particulièrement intéressante pour mieux comprendre les interactions entre la société et son environnement (Clément et *al.*, 2014). Il faut donc identifier et quantifier les dégradations du milieu de même que les facteurs de risque de dégradation de ce même milieu pour une construction des scénarios futurs plus robustes. Cette étape passe aussi par la formalisation des hypothèses liées au fonctionnement des réalités géographiques. Le but est d'utiliser ces hypothèses pour modéliser le fonctionnement de la zone d'étude, en abordant les relations qui existent entre les activités humaines et la dynamique des écosystèmes forestiers. L'objectif est de mettre en évidence ou maitriser les différents processus qui sont à l'origine des changements dans l'optique de déterminer leur règle de transition.

Pour atteindre chacun de ces objectifs, nous formulons un ensemble d'hypothèses. Chaque hypothèse est liée à une question de recherche et à un objectif spécifique. Ainsi, quatre hypothèses ont été retenues. La première est une réponse anticipée concernant les pratiques (sociales) des populations responsables des dégradations et des changements paysagers. *H1* : l'agriculture vivrière de transition, l'évolution du cadre bâti, l'occupation anarchique et spontanée des terres, les modes d'appropriation des terres sont les

pratiques (sociales) qui expliquent les changements des zones forestières et semi-forestières de la presqu'île de Libreville. Cette hypothèse est directement liée à notre deuxième objectif qui, rappelons-le, identifie les différents facteurs de dégradations du milieu et les processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères. Les transformations spatiales liées à ces facteurs sont analysées de manière à prouver leur implication dans les changements observés.

La deuxième hypothèse est axée sur la transformation du paysage des zones périphériques forestières et semi-forestières de Libreville. *H2* : le paysage urbain absorbe les paysages ruraux et transforme le paysage forestier. En effet, l'avancée du front urbain se caractérise par le processus de déforestation et de dégradation forestière. Les espaces forestiers laissent progressivement place à l'espace urbain, notamment au bâti, de même que les espaces ruraux se transforment en espace urbain, souvent mal structuré et sous intégré, dépourvu d'équipement urbain de base. Ce phénomène s'accompagne, d'autre part, de ségrégation sociale et spatiale, et le désordre urbain caractérisé par l'augmentation des espaces anarchiques.

La troisième hypothèse est une analyse des impacts des différents facteurs de dégradation identifiés dans le deuxième objectif et la deuxième hypothèse. Elle est, pour ainsi dire, directement liée à notre troisième objectif, qui tente d'évaluer les répercussions des changements observés sur les le paysage et la cadre de vie des populations autochtones. *H3 :* les changements observés (la déforestation, la dégradation forestière) ont pour conséquences la raréfaction des ressources et services écosystémiques, la paupérisation et le changement radical des modes de vie des populations autochtones.

Enfin, la quatrième et dernière hypothèse est une tentative de projection du devenir du territoire au regard de ses dynamiques en cours. Elle est donc directement liée à notre quatrième objectif. *H4* : l'espace libre (non occupé) de la presqu'île est totalement consommé, les zones protégées et sensibles sont mitées à l'horizon 2030 ou 2050. Cette dernière hypothèse préconise une accélération ou une continuité des dynamiques en cours. Elle fait donc allusion aux résultats de la simulation des dynamiques d'occupation du sol.

Structure de la thèse

Notre recherche de thèse s'articule autour de trois parties. La première partie présente le contexte scientifique et théorique de notre thématique de recherche, la zone d'étude ainsi que notre approche méthodologique. Elle est composée de trois chapitres. Le premier chapitre procède à une brève revue de la littérature sur les enjeux et les méthodes couramment mobilisées pour l'analyse des trajectoires d'évolution des paysages, particulièrement les changements d'occupation et d'usage des sols. Il traite de la problématique de l'anthropisation des paysages périurbains dans le contexte des villes des pays du sud, notamment en Afrique Subsaharienne, ainsi que des moteurs de changement des écosystèmes forestiers. Il revient aussi sur les approches et méthodes couramment utilisées pour comprendre et analyser les changements d'occupation du sol partant de la télédétection à l'analyse systémique. Une part belle est

réservée à la revue de la littérature sur la conceptualisation et les aspects théoriques de la modélisation, de la simulation et de la prospective. Le deuxième chapitre est dédié à la présentation et la description de la zone d'étude. Il permet de comprendre le cadre et le contexte sociogéographiques du site d'étude, la description du site, son organisation humaine, ses politiques de gestion, ses activités, ses dynamiques et ses conflits. Le troisième chapitre décrit et présente notre méthodologie générale. Il commence par la présentation des données utilisées, leur mode de collecte et les traitements appliqués. Il décrit par la suite la démarche méthodologique mobilisée, à la fois pour le suivi des dynamiques paysagères et la modélisation et simulation des changements d'occupation et d'usage des sols.

La deuxième partie est consacrée à l'analyse multi-scalaire et diachronique des changements d'occupation du sol et à la détermination de leurs facteurs de changements. Elle est composée de trois chapitres. Le chapitre 4 est consacré à l'analyse rétrospective des dynamiques de l'occupation du sol à l'échelle de la presqu'île de Libreville tandis que le chapitre 5 étudie les dynamiques de changement à une échelle locale. Après la caractérisation des changements aux différentes échelles, le chapitre 6 détermine ou identifie les facteurs qui sont à l'origine des dégradations observées par l'analyse des interactions entre les populations locales et leur environnement.

La troisième partie est dédiée à la modélisation prospective des changements ainsi qu'à l'évaluation de leurs impacts. Elle est composée de deux chapitres. Le chapitre 7 se focalise sur la modélisation et la simulation prospective des changements d'occupation du sol à l'échelle locale. Il tente globalement de projeter les changements possibles du devenir du territoire sur 3 dates, d'élaborer et de décrire les scénarios prospectifs et de construire des sous-modèles des dynamiques à simuler. Le dernier chapitre (8) se penche sur l'analyse et l'évaluation des répercussions des changements observés sur le plan environnemental et social.

Enfin, la conclusion générale revient sur les principaux résultats obtenus et procède à une analyse critique de la démarche méthodologique développée.

PARTIE I

TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES PAYSAGES PÉRIURBAINS, MODÉLISATION PROSPECTIVE, DONNÉES ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

PARTIE I : TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES PAYSAGES PÉRIURBAINS, MODÉLISATION PROSPECTIVE, DONNÉES ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Cette première partie est consacrée à la présentation de l'ensemble des connaissances et méthodes couramment utilisées dans le champ de notre thématique de recherche. D'emblée, notre thèse s'inscrit dans le cadre d'une recherche appliquée sur l'analyse des dynamiques socio-environnementales du territoire. Elle se positionne dans le champ des *Landscape Dynamics* plus précisément dans le domaine des *Land Cover and Land-Use Change*. Nous nous intéressons aux processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères par l'analyse des transformations des écosystèmes naturels et aménagés. La compréhension de ces processus passe par une étude de l'évolution historique de la configuration spatiale du paysage, c'est-à-dire l'histoire diachronique de la société à travers son espace. Les dimensions temporelles et spatiales sont donc au centre de notre recherche. Elle concerne aussi bien les dynamiques territoriales passées qu'en cours : c'est la caractérisation ou la reconstitution des trajectoires d'évolution du paysage. La dimension spatiotemporelle s'intéresse aussi aux évolutions et répercussions que pourrait engendrer la poursuite d'une dynamique territoriale observée. Cette dimension s'inscrit dans l'anticipation des changements spatiaux : c'est la modélisation spatiotemporelle des changements.

Cette thèse vise donc à étudier les changements d'occupation et d'usage du sol passés et en cours, ainsi que l'évaluation de leurs impacts futurs possibles sur les écosystèmes naturels (particulièrement les écosystèmes forestiers). Il est admis que les changements des modes d'occupation et d'usages des sols ont des conséquences sur les milieux, les ressources et engendrent des perturbations au niveau des processus qui contrôlent les écosystèmes (Butler et *al.*, 2007 ; Gordon et *al.*, 2008). Ici, l'analyse des changements est abordée selon une approche anthropocentrique. Nous nous intéressons particulièrement aux pratiques (sociales) des populations qui ont un impact sur la configuration des écosystèmes et la société. Au regard de ce qui précède, notre sujet de recherche se positionne à l'intersection de plusieurs approches conceptuelles et méthodologiques. Il fait appel à une approche géographique (approche systémique et analyse spatiale) avec les outils et méthodes tels que les Systèmes d'information géographiques, la télédétection et la modélisation pour la partie occupation du sol. Il fait aussi appel à d'autres approches telles que la prospective pour l'analyse des transformations futures possibles du territoire. Notre sujet se nourrit aussi des méthodes d'autres disciplines telles que l'écologie du paysage pour l'analyse des modifications de la structure du paysage. Si la thématique de recherche est fortement disciplinaire (géographie), elle a cependant un fort caractère transversal méthodologique (transversalité méthodologique). Ici, la prospective n'est mobilisée que comme une approche méthodologique de l'analyse des dynamiques territoriales. Il ne s'agit pas ici d'une recherche thématique en prospective, mais nous mobilisons des méthodes ou des approches telles que « *la méthode des scénarios* » pour tenter de projeter les images possibles des transformations majeures du territoire à travers les modèles et l'analyse spatiale.

CHAPITRE I : COMPRENDRE, CARACTÉRISER ET MODÉLISER LES DYNAMIQUES PAYSAGÈRES : QUELLES APPROCHES ?

Ce chapitre vise à présenter brièvement les bases méthodologiques et théoriques de l'analyse des changements des phénomènes spatialisés, de la démarche prospective, ainsi que les référents théoriques de la modélisation et simulation des changements de l'occupation du sol. La recherche tient compte de la spécificité et de la localisation de l'aire d'étude. Elle est orientée vers le devenir du territoire au regard des dynamiques et pressions en cours dans les villes du sud, particulièrement en Afrique subsaharienne. Ce chapitre est subdivisé en deux grandes sections. La première est consacrée à l'appréhension des éléments conceptuels et méthodologiques de l'analyse de dynamiques paysagère et revient sur la définition du paysage, de trajectoire et de dégradation forestière tandis que la seconde est dédiée à la modélisation prospective de l'occupation du sol. La compréhension et l'analyse des phénomènes spatialisés passent par des concepts clés qu'il est nécessaire de définir ici.

1.1. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de l'analyse des dynamiques paysagères

1.1.1. Paysage, trajectoire, déforestation et dégradation forestière : éléments de définition

1.1.1.1. Du paysage

La notion de « paysage » est fortement présente dans les échanges et publications scientifiques actuels, comme en témoigne une analyse réalisée par Veschambre (2016). D'après cette analyse, la consultation du site Calenda, qui annonce les colloques, les conférences et séminaires, permet de comptabiliser les évènements parlant du *paysage* et d'évaluer son poids dans l'ensemble des évènements scientifiques comptabilisés. Il en ressort que l'objet d'étude *paysage* est passé de 4,1 % en 2000 à 8,7 % en 2015 (fig.2). Malgré un ralentissement entre 2015 et 2020, le succès de cette notion ne cesse de s'intensifier. Le graphique ci-dessous fait une analyse comparative de l'évolution du pourcentage des évènements sur les thématiques paysage et patrimoine. Il montre que les études sur l'objet « paysage » ne cessent d'augmenter au fil des ans.

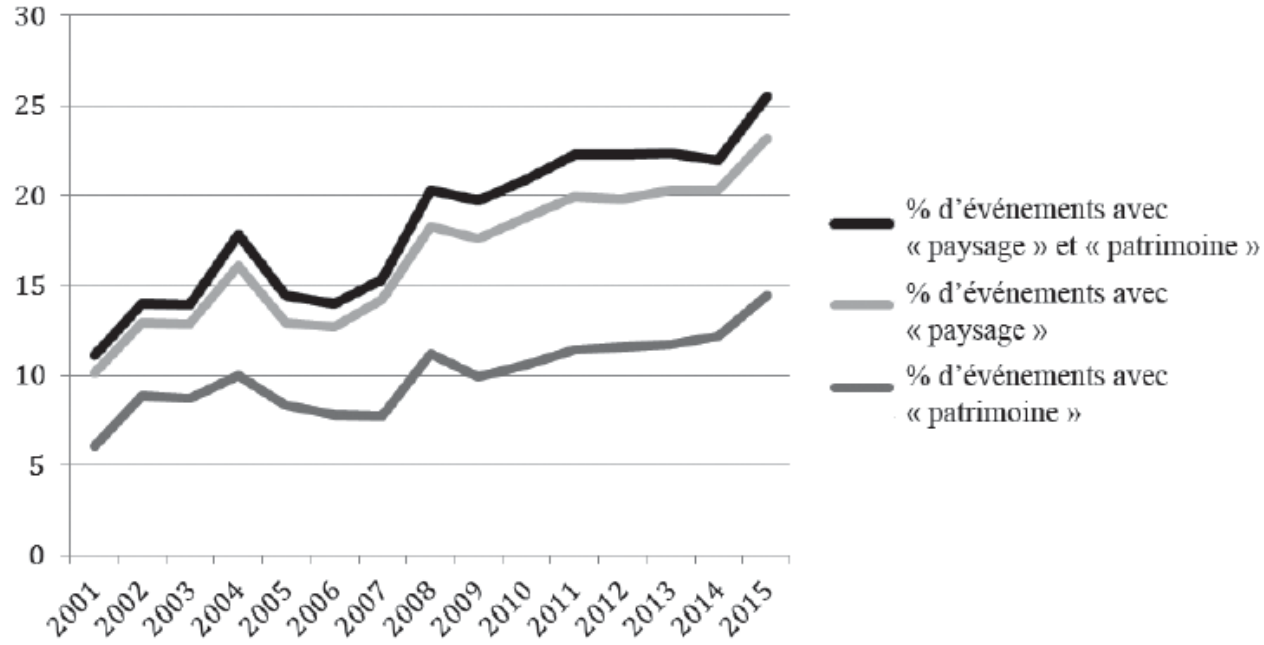


Figure 2 : Évolution du pourcentage des évènements annoncés par le site Calenda de 2000 à 2015. Source : Veschambre (2016), Paysage et patrimoine, p.12

Cette évolution démontre un intérêt particulier pour le paysage. Il fait l'objet de visions différentes. En effet, le paysage a plusieurs sens (propres ou figurés), qui correspondent à des acceptions tout aussi légitimes. Si le tourisme, par exemple, s'intéresse, entre autres, aux éléments naturels (chutes, montagnes, déserts, etc.) et aux monuments qui fascinent, ce qui attire les historiens vers le paysage est sa fonction de « lieu de mémoire » (Leveau, 2020). Dès lors, on peut déduire qu'il y a un lien très étroit entre paysage et patrimoine. Mais dans ce travail, nous ne nous intéressons pas à une dimension patrimoniale du paysage, ni à une approche historienne, encore moins touristique. Pour comprendre notre angle de positionnement, nous analysons quelques définitions.

Il existe plusieurs définitions du mot « *paysage* » (Cottet, 2019 ; Montembault et *al.,* 2016 ; Voisin et Servain, 2016 ; Watteau, 2011 ; Wieber et *al.,* 2008 ; Donadieu, 2007 ; Convention européenne, 2000 ; Fourneau et *al.,* 1991). Pour simplifier, nous retenons quelques définitions qui, pour nous, permettent d'appréhender toutes les dimensions de ce concept. Dans sa définition la plus simple telle que le donne le dictionnaire Paul Robert, un paysage est « la partie d'un pays que la nature présente à l'œil qui le regarde ». Cette définition nous permet de mettre en exergue trois principaux éléments. D'abord « le pays », dont il est une partie, qui indique qu'il s'agit d'un milieu physique délimité, où les limites peuvent être nettes ou floues. Ensuite, la « nature » qui réunit un ensemble d'éléments physiques et d'organismes vivants (biotiques et abiotiques), c'est-à-dire un écosystème. Enfin, le regard de « l'homme », qui peut agir sur les écosystèmes comme un agent modificateur. Le paysage est donc un tout, une mosaïque d'écosystèmes influencés par

l'homme. Cette assertion rejoint celle de Bertrand G, (1975) qui considérait que l'écosystème est dans le paysage ; il n'est pas tout le paysage.

Cette définition ressemble aussi à celle contenue dans la convention européenne du paysage (signée à Florence en 2000). Selon cette dernière, « le paysage définit une partie du territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations »[2]. Quelques années avant, les géographes (Fourneau et *al.* 1991) présentaient le paysage comme un territoire issu des rapports entre nature et société. Ces définitions ne s'excluent pas, mais sont complémentaires. Elles pensent le paysage comme un système complexe de relations entre plusieurs composantes. Le rôle de l'homme et la notion d'interaction sont fortement présents. Le paysage est donc défini selon une approche systémique. Il est le résultat de dynamiques complexes, qui intègrent des parts d'héritage, d'auto-organisation, de modification volontaire (Watteau, 2011). Ici, le paysage est donc soit issu des transformations intentionnelles de l'homme soit d'une évolution des lieux transformés par l'homme de façon inconsciente du fait de ses activités. Ce positionnement se justifie aussi par la spécificité de notre aire d'étude, qui a subi, à un moment donné de son histoire, des modifications à intensité variable liées à la présence de l'homme. Les paysages de notre aire d'étude sont donc anthropisés, mais à des degrés différents. Cette variabilité du degré d'anthropisation est liée aux différentes temporalités, mais aussi aux usages, aux pressions et activités exercées par l'homme sur certains milieux et/ou écosystèmes ayant une attraction ou des intérêts plus importants.

En outre, l'interaction entre l'homme et son milieu introduit la notion de la « complexité » dans l'analyse des dynamiques paysagères. Les études sur l'anthropisation des écosystèmes naturels s'inscrivent dans le cadre de l'approche systémique qui permet une bonne analyse des systèmes complexes comme le paysage et ses composantes. En effet, plusieurs travaux (Aguejdad, 2016 ; Corgne, 2014 ; Bamba, 2010 ; Oloukoï, 2008 ; Turner et *al.,* 2007 ;) montrent que les changements de l'organisation des structures spatiales du paysage ont pour causes principales, les actions humaines. Dès lors, la question de l'analyse des « trajectoires » d'évolution des paysages prend tout son sens.

1.1.1.2. Des trajectoires d'occupation du sol

Cette section propose de présenter la notion de « trajectoire » qui permet de s'intéresser à une approche singulière de l'analyse des dynamiques paysagères. Cette approche consiste à montrer que le devenir d'un paysage peut être corrélé à la caractérisation de ses dynamiques passées et en cours. Outre l'analyse diachronique de l'évolution historique de la configuration des paysages, la compréhension des trajectoires

[2] Convention du Conseil de l'Europe sur le paysage, Florence 2000, Série des traités européens — n° 176, article 1, page 2

peut aussi se faire par l'analyse des pratiques et des représentations. Ces dernières sont indispensables pour la reconstitution de l'histoire des paysages et permettent de nourrir la compréhension et l'explication des évolutions passées et futures. Mais la caractérisation des trajectoires passe également par l'analyse des pratiques (des populations), lesquelles contribuent à la modification profonde des paysages. Ainsi, le concept de « trajectoire » appliqué à l'analyse des pratiques permet de mettre en exergue leurs effets spatiaux et sociaux. Dans le cadre de cette recherche, la caractérisation des trajectoires revêt deux dimensions : l'une spatiale et l'une sociale.

La trajectoire spatiale

L'analyse de « la trajectoire spatiale » s'intéresse particulièrement aux changements physiques de la structure des paysages. Ici, ces paysages ne sont pas des entités immuables. Ils évoluent au gré du temps. En fonction des interactions, ils changent d'état, de structure ou de forme. Dès lors, s'intéresser à la trajectoire des paysages, consiste à analyser les changements survenus dans le temps et dans l'espace. Selon Authier (2014), « parler de trajectoires renvoie d'abord, de façon générale, à l'idée selon laquelle la position occupée par chaque individu/entité peut se modifier au cours du temps » (p. 21-38). Dans cette acception, la notion de « trajectoire » fait allusion aux différentes successions d'états, aux orientations des entités territoriales. En d'autres termes, étudier les trajectoires spatiales revient à saisir le sens d'orientation et/ou de mobilité des composantes du paysage ou sociale. Analyser les trajectoires d'évolution des paysages revient à caractériser leurs changements. Cette analyse est à la fois dynamique et quantitative, mais elle peut aussi être qualitative (orientation de la trajectoire dans l'espace multidimensionnel). Dans ce cas, on parle de trajectoire sociale.

La trajectoire sociale

Cette deuxième approche revêt deux caractères que l'on peut qualifier de trajectoires « objectives et subjectives ». Le premier caractère (trajectoire objective) peut être mesuré par des catégories statistiques et permet d'estimer les impacts liés aux activités humaines (agriculture, bâti, industrie, etc.). Une attention particulière est portée à la « mobilité » spatiale de ces activités afin de saisir, d'une part, le sens de leurs évolutions et, d'autre part, leurs effets environnementaux et sociaux. Le deuxième caractère (trajectoire subjective) est appréhendé par l'analyse des représentations, des discours et d'expériences individuelles ou collectives. Ces éléments peuvent permettre de reconstituer étape par étape les évolutions supposées d'un phénomène ou des processus d'occupation d'un site dans le temps et dans l'espace. Les « trajectoires subjectives » peuvent servir de fil conducteur à l'analyse des dynamiques sociales et venir en appui à l'analyse objective. Au regard de ce qui précède, nous entendons par trajectoire, une approche d'analyse qui permet de reconstituer l'évolution des paysages ainsi que les modes d'ancrage des pratiques qui

influencent leur structure, à la croisée des champs spatiaux et sociaux. L'échelle d'analyse des trajectoires parait tout aussi importante. Elles doivent être perçues comme des changements majeurs, dont les facteurs, récurrents, sont ancrés dans le temps et dans l'espace.

Rappelons que le terme « trajectoire » est utilisé dans plusieurs thématiques en sciences humaines et sociales. En France, par exemple, la première utilisation date des années 1980. En géographie, cette expression est fréquemment utilisée pour l'analyse des mobilités, notamment les mobilités migratoires (Vilaine, 2007), résidentielles (Morgan, 2018), ou pour les inégalités sociales et spatiales (Le Roux et *al.,* 2020). Le terme « trajectoire », associé à l'analyse des changements d'occupation du sol, a été étudié plus récemment avec l'avènement de la prospective territoriale spatialisée ou géoprospective (Davranche, 2015 ; Salman, 2013 ; Vaquie et *al.,* 2013 ; Aguejdad, 2009 ; Belaid, 2005). Toutefois, cela ne signifie pas que la question de trajectoires de changements d'occupation du sol ou des paysages n'ait pas été abordée avant. Elle se faisait déjà sous la forme de l'analyse diachronique, tout en prenant en compte les aspects qualitatifs et quantitatifs des changements.

1.1.1.3. De la déforestation et la dégradation forestière

L'anthropisation des écosystèmes forestiers se manifeste par la pratique d'un certain nombre d'activités humaines. Ces dernières sont les marqueurs spatiaux (des paysages) les plus importants. Elles laissent généralement des traces (ou marquent durablement les paysages), notamment sur les écosystèmes forestiers. Elles sont source de déforestation et de dégradation forestière. La problématique de la *déforestation* a été évoquée depuis le début des années 1970, par Gomez-Pompa et *al.* (1972). La déforestation est une dynamique au cours de laquelle la forêt est remplacée par un autre type d'occupation du sol. Plusieurs causes de la déforestation ont été identifiées. Lambin et *al.*, (2001) ont montré que la déforestation tropicale est liée à la croissance démographique et la pauvreté, ainsi que la culture itinérante sur brûlis. Au cours de la même période, Geist & Lambin (2001 ; 2002) proposent une autre classification des facteurs de déforestation dans les milieux tropicaux en deux grands groupes. Ils distinguent les causes de déforestation immédiates (*proximate causes*) et les causes sous-jacentes (*underlying causes*).

Les causes immédiates de la déforestation tropicale sont constituées par les activités humaines qui influencent directement l'environnement (Turner et *al.,* 1990). Ces causes sont l'expansion de l'agriculture, l'exploitation du bois et l'extension des infrastructures. Les causes sous-jacentes représentent l'ensemble des processus sociaux, comme les facteurs démographiques (pression démographique), économiques, institutionnels, sociopolitiques et culturels (Lambin, 1994 ; Contreras-Hermosilla, 2000). Sous l'influence de causes immédiates ou sous-jacentes, les activités humaines représentent des risques qui menacent les écosystèmes forestiers et naturels. Ainsi, l'anthropisation contribue à la déforestation, à la détérioration de

l'environnement, la perte de biodiversité, l'augmentation des gaz à effet de serre, la baisse des rendements agricoles, la diminution des services et ressources écosystémiques offerts par la nature.

L'anthropisation contribue aussi à la *dégradation forestière*. Cette dernière se distingue de la déforestation. Il est toujours difficile de trouver un seuil unanime qui permettrait de définir la dégradation forestière, car une forêt considérée dégradée dans un lieu peut ne pas l'être dans un autre. Néanmoins, quelques critères peuvent permettre de dégager une définition assez satisfaisante. La dégradation forestière peut être définie comme une *transformation physique* (qui correspond à une altération des qualités de la forêt), une détérioration plus ou moins réversible d'une ou plusieurs *fonctions*. Elle est, par exemple, liée à une perte de biens et de services écosystémiques. En d'autres termes, c'est l'ensemble des changements constatés au sein d'une catégorie forestière, se traduisant par le passage d'un état initial considéré intact (bien conservé) à un autre état considéré altéré, détérioré. Cette définition est construite autour de deux dimensions, à savoir l'état « *physique* » qui renvoie à la structure ou à la forme de la forêt (passage d'une forêt dense à une forêt claire ou peu dense ; d'une forêt primaire à une forêt secondaire, etc.) et la « *fonction* » qui renvoie à l'ensemble des services que peut rendre la forêt, notamment, en termes de régulation, de fourniture de biens et services écosystémiques (bois, agriculture, sol, eau, etc.). La dégradation forestière est un processus qui est causé soit par les conditions physiques, soit par l'action de l'homme. Tous ces processus induisent des changements dans la structure spatiale des paysages, particulièrement dans l'occupation et l'usage des terres. Selon Bogaert et *al.* (2008), un des impacts anthropiques les plus critiques sur la planète Terre s'avère être la suppression de la couverture végétale originelle accompagnée de son remplacement par une autre catégorie d'occupation du sol.

La problématique de changements des écosystèmes forestiers en périphérie des grandes villes africaines est un des défis majeurs du 21e siècle. Le contexte généralisé du phénomène de croissance démographique observable dans les villes des pays du sud a comme corolaire une insuffisance alimentaire et une importante dégradation de l'environnement. À l'instar de Libreville, Kinshasa, Brazzaville ou Bangui, etc., les villes ne cessent d'augmenter leur emprise spatiale sur les écosystèmes forestiers. Cette extension a des conséquences perçues comme négatives sur la société (dégradation de la biodiversité et des paysages, conflits d'usage des terres, inégalités sociales, etc.). Dans un contexte de pauvreté, et surtout de forte dépendance aux ressources offertes par la nature, comme c'est le cas en Afrique subsaharienne, le suivi et l'évaluation des changements sont un enjeu incontournable, dans un contexte de changement global.

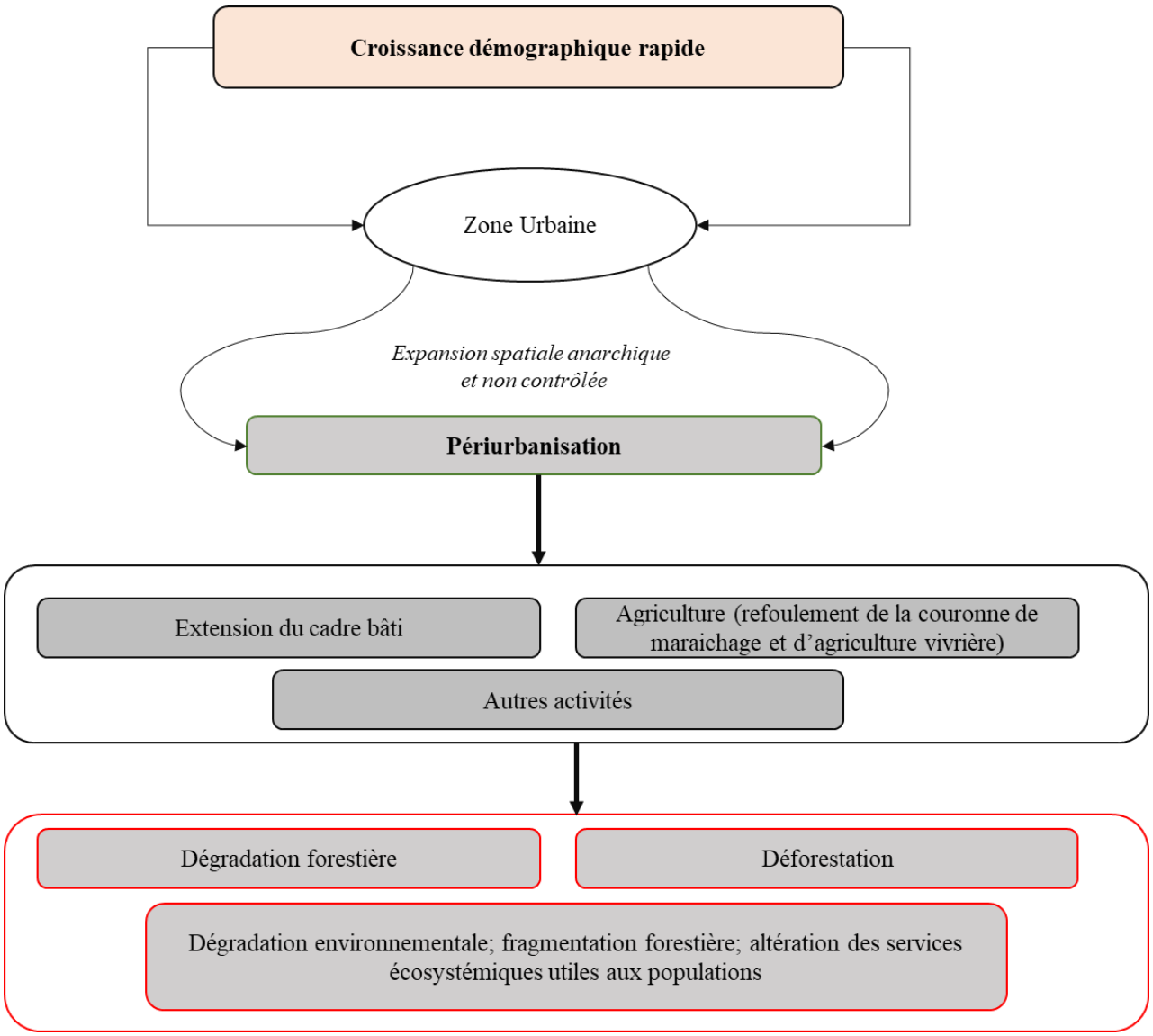


Figure 3 : Schéma conceptuel des dynamiques d'anthropisation des zones périurbaines. Réalisation : Mpié Simba, 2019

La périurbanisation est en constante progression ; de même que les processus de dégradation forestière et de déforestation. Il s'ensuit une modification radicale de la structure spatiale du paysage initial (Bamba, 2010). Aujourd'hui, la problématique de l'anthropisation des écosystèmes forestiers et du changement paysager qu'elle engendre se pose avec acuité. Les pressions liées au développement des actions anthropiques sur les écosystèmes naturels sont de plus en plus importantes et nécessitent des techniques ou méthodes adéquates pour évaluer les interactions entre ces facteurs et ces ressources naturelles (Bogaert J et Halleux J, 2015 ; Bogaert J, 2004). Le résultat de ces interactions est l'anthropisation des milieux dits « naturel ». On peut aussi parler d'artificialisation. La notion de paysage anthropisé est utilisée ici pour désigner un écosystème naturel fortement soumis à l'influence de l'homme.

L'approche anthropocentrée dans laquelle nous nous inscrivons considère que tout paysage est anthropisé. Cette posture est liée à la configuration du territoire d'étude, dans lequel il n'existe plus d'espaces non anthropisés (exemple de forêt la primaire). Tout le territoire a enregistré des perturbations humaines à un moment donné de son histoire. Les écosystèmes naturels, tels que les forêts de terre ferme, les mangroves (forêts inondées), les milieux aquatiques (qui sont des entités du paysage), ont connu et connaissent des perturbations humaines. Les paysages anthropisés sont donc fortement soumis à l'influence de l'homme, mais à des degrés différents. La croissance démographique qu'enregistrent les grandes villes d'Afrique subsaharienne semble être un facteur unanime de la déforestation et de l'extension rapide et incontrôlée des zones périurbaines (FAO, 2020 ; Bamba, 2010 ; Ridah, 2008 ; Tabutin, 1991). Cette expansion urbaine se fait généralement de manière anarchique. L'étalement du cadre bâti est l'expression la plus forte de cette périurbanisation. L'augmentation de la population entraine des besoins du foncier à bâtir, mais aussi pour les activités agricoles et d'autres activités. La pratique de l'ensemble de ses activités dans un contexte de forte pression démographique a des répercussions sur les écosystèmes en termes de déforestation, de dégradation forestière, de fragmentation forestière. Il en résulte donc une altération des services écosystémiques fournis aux sociétés (fig. 3). La déforestation et la dégradation forestière sont donc des manifestations de l'anthropisation des paysages. Au cours des 20 dernières années, plusieurs outils et méthodes ont été développés dans le but d'étudier, d'analyser et de comprendre l'ensemble des dynamiques paysagères et environnementales induit par l'action de l'homme. Ces éléments sont présentés dans la section ci-dessous.

1.1.2. Aperçu des approches de l'analyse des dynamiques d'occupation du sol

À partir des années 70, il a été admis que les sociétés humaines influencent profondément l'ensemble des écosystèmes de la planète, par l'exploitation des ressources naturelles et l'occupation et l'utilisation du sol, impactant à la fois sur le climat (Pielke, 2002), la qualité de l'eau ou des sols, les cycles biogéochimiques, la biodiversité, etc. (Steffen et *al.* 2004) à des échelles globales, régionales et locales (Lambin et *al.* 2006). Les écosystèmes naturels sont modifiés et perdent leur nature originelle. Ces transformations se font sous l'effet combiné des perturbations anthropiques, telles que l'exploitation forestière, l'agriculture, l'urbanisation, la croissance démographie, et des facteurs physiques (changement climatique, érosion des sols, etc.). Ainsi, 15 % à 20 % des émissions du dioxyde de carbone, qui participent au réchauffement climatique, sont dues à la déforestation et à la conversion des catégories d'occupation du sol (FAO, 2010). L'homme est devenu la force majeure dans la dynamique des paysages (Gardi et *al.,* 2007). Les effets induits par les dynamiques spatiotemporelles sur les systèmes écologiques sont désormais pris en compte dans le cadre des études conduites sur les changements globaux (Corgne, 2004). Les actions produites sur les structures paysagères entrainent la déforestation, la dégradation forestière, la fragmentation forestière,

des perturbations climatiques locales qui participent à leur tour au changement global (Hasan, 2019 ; Canadell et Raupach, 2014 ; Corbera et Schroeder, 2011 ; Reidsma et *al.*, 2006). Depuis plusieurs années, la connaissance des dynamiques spatiotemporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols est considérée comme un des éléments fondamentaux permettant de mesurer les impacts humains sur l'environnement.

1.1.2.1. Occupation et utilisation du sol : éléments de définition

L'occupation du sol

L'occupation du sol est une description physique de l'espace, c'est-à-dire qu'elle désigne ce qui recouvre le sol (Di Gregorio et Jansen, 1997). Pour la FAO (1998), l'occupation du sol désigne *« la couverture (bio-) physique de la surface des terres émergées »* et fait donc référence au type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme. Elle distingue plusieurs catégories biophysiques :

- Les zones de végétation (forêt, buissons, champs, pelouses),
- Les sols nus (y compris les zones de sable, les roches en surface),
- Les zones urbaines (bâtiments, les routes bitumées, les voiries…),
- Les surfaces humides et les plans d'eau (nappes et cours d'eau, zones inondables, zones marécageuses).

Les catégories d'occupation des sols sont des unités d'analyse qui permettent d'observer et mesurer les dynamiques spatiales en rapport avec les activités humaines ou les facteurs physiques, et de voir leurs répercussions sur l'environnement. L'occupation du sol est cartographiée en identifiant les types homogènes de milieux (exemple : les zones artificialisées, zones agricoles, forêts, zones humides, etc.). La carte d'occupation du sol (Land Cover) est une illustration qui s'élabore sur fond des images satellitaires combinées éventuellement à des informations supplémentaires. L'étude de l'occupation du sol peut être considérée comme la première étape pour établir un état des lieux d'un territoire. Les dynamiques d'occupation du sol rendent constamment compte des variabilités spatiales et temporelles des entités d'occupation du sol. Ces variabilités peuvent être positives, c'est-à-dire que les trajectoires des catégories d'occupation du sol s'orientent vers des situations d'équilibre ou qui ne sont pas source des dégradations des écosystèmes (exemple de la régénération d'une forêt). Ces variabilités peuvent aussi être négatives lorsque les trajectoires des catégories d'occupation du sol s'orientent vers des stades d'extrême dégradation. Ainsi, des changements de l'occupation du sol, on peut distinguer :

- La progression : évolution des surfaces des classes d'occupation du sol
- La régression : réduction de surfaces des unités d'occupation du sol
- La stagnation : il s'agit des classes qui n'ont subi aucune modification
- La conversion : passage d'une classe (ou une partie) d'occupation à une autre.

Il s'agit des processus naturels ou provoqués, destructeur de l'équilibre d'un état initial vers un état secondaire détérioré suite à une perturbation. Lorsque cette dernière est si importante et qu'elle ne permet plus de revenir à l'état initial d'équilibre, on dit que la dégradation est extrême ou irréversible.

Des typologies standardisées, traduites en nomenclatures, ont été produites dans les années 1980, dont en Europe, autour des nomenclatures Corine (Corine Biotope, Corine Land Cover). Elle propose une nomenclature hiérarchisée en 3 niveaux (1er niveau à 5 classes, 2e niveau à 15 classes et 3e niveau à 44 classes) pour des cartographies au 1/100 000e construites à partir de données satellitaires et selon un seuil surfacique minimal de 15 ou 25 hectares selon les thèmes. Entre 2005 et 2006, la FAO va développer un système de classification standardisé pour l'identification des objets spatiaux à l'échelle du globe : la nomenclature LCCS (Land Cover Classification System) qui propose une hiérarchisation des classes d'occupation du sol en 22 catégories. La FAO s'est aussi impliquée dans l'organisation du projet AFRICOV dont le but était d'établir pour toute l'Afrique une base de données numériques géoréférencée sur l'occupation du sol et des données géographiques (toponymie, routes, hydrologie, etc.) allant du 1 : 200 000 au 1 : 250 000 voir le 1 : 100 000 pour les petites surfaces. Ces nomenclatures sont complétées et améliorées au fur et à mesure des progrès techniques.

L'utilisation du sol

L'utilisation du sol correspond à l'usage ou la transformation des milieux naturels par l'homme. Cette transformation des milieux a des impacts sur les ressources abiotiques et biotiques. L'utilisation du sol correspond aux activités et aux actions que les hommes effectuent pour produire, changer ou maintenir certaines parties de terre. En d'autres termes, elle correspond à l'anthropisation des sols (prairies, champ, constructions et autres implantations humaines) par l'homme. Mücher et *al.,* (1993) définissent l'utilisation du sol comme une série d'opérations humaines visant à tirer des produits/bénéfices des ressources du sol. Elle (utilisation du sol) établit un lien direct entre l'occupation du sol et l'activité des hommes dans leur environnement. En claire, l'utilisation du sol traduit à quelle fin l'homme utilise le sol. Le sol peut être, par exemple, utilisé à des fins agricoles ou résidentielles, pour des zones industrielles, des zones de protection (parc naturel), etc. Ainsi, une carte d'utilisation du sol peut servir à faire un état des lieux des ressources d'une surface, mais aussi, comparée à des données équivalentes antérieures, pour faire l'analyse de l'évolution et des changements de couvertures du sol. Elle peut aussi servir de base de travail lors d'enquêtes de terrain.

Les effets négatifs récents les plus significatifs de l'utilisation du sol incluent l'étalement urbain, l'érosion, la désertification, la dégradation et l'imperméabilisation des sols, etc. Les pratiques de l'utilisation et de la gestion des sols ont un impact important sur les écosystèmes naturels tels que l'eau, le sol, la faune et la flore. L'information sur les utilisations du sol peut être employée pour développer des solutions pour la

gestion des écosystèmes. Tout changement dans l'usage du sol a des impacts directs à court, moyen et long terme notamment sur la biodiversité.

La compréhension des changements observés dans l'occupation et l'usage des sols passe nécessairement par une détermination des facteurs ou des moteurs de changements. Cela sous-entend que les changements ne s'opèrent pas d'eux-mêmes, mais sous l'effet d'un ou plusieurs facteurs. Il est donc crucial d'identifier les facteurs explicatifs des changements. Ces deniers varient en fonction des territoires, car chaque territoire à ses spécificités. Ils varient aussi en fonction de l'échelle d'analyse, car la détection des facteurs et leurs poids varient selon que l'analyse est effectuée à une échelle fine, locale, régionale ou globale. Lambin et *al.,* (2001) classent les facteurs en deux grandes catégories. Ils distinguent les « facteurs directs » des « facteurs indirects ». Les premiers correspondent à l'ensemble des activités anthropiques pratiquées à une échelle locale, qui contribuent à la modification des écosystèmes. Les secondes correspondent aux interactions entre les variables socioéconomiques, démographiques, technologiques, culturelles et biophysiques à des échelles régionales.

Gutman et *al.,* 2004, propose une identification des facteurs de changements majeurs :

- Les facteurs biophysiques, naturellement variables (climat, sols, topographie, faune, flore…)
- Les facteurs démographiques, dont l'urbanisation identifiée comme étant le facteur provoquant les changements d'occupation et d'usage des sols les plus rapides observés sur les territoires (notamment dans les pays en voie de développement…).
- Les facteurs institutionnels, économiques et technologiques. Ils influencent les prises de décision des acteurs locaux et ont des impacts potentiellement très forts sur les écosystèmes.
- Les facteurs culturels, incluant les croyances, les objectivités et les subjectivités, les perceptions individuelles, les perceptions des acteurs et gestionnaires territoriaux.
- La globalisation, qui est un facteur indirect, car elle peut intervenir indirectement sur les autres facteurs en les amplifiant ou les atténuant (par exemple, les politiques de conservation de certains organismes internationaux).

1.1.2.2. L'analyse systémique

La théorie des systèmes est une « théorie scientifique » dont les premiers écrits en France ont été exposés par Lemoigne (1978) dans son ouvrage *La théorie du système général*. Cette théorie a fourni aux chercheurs une méthode, des concepts et de l'aide pour expliciter les problèmes de la société. L'approche systémique en géographie se nourrit clairement de cette théorie. En effet, Chamussy et *al.* (1984) présentaient l'approche systémique comme la formulation d'un problème scientifique en référence à l'esprit de la théorie des systèmes. Elle s'attèle à conserver une vision globale du territoire ou d'un objet scientifique en

s'intéressant aux relations entre les éléments du système global (c'est-à-dire les sous-systèmes). Cette définition introduit la notion de la complexité.

L'approche systémique propose de ne jamais isoler les sous-éléments du système, du système global dont ils font partie. L'approche systémique permet donc d'analyser les systèmes complexes. Or, le territoire, objet de recherche de la géographie, est par essence un système complexe, au regard de ses composantes, ses fonctions, ses acteurs et ses dynamiques. L'étude et la compréhension de ce système complexe passent par la modélisation de ses dynamiques. Appliquée au territoire, cette modélisation se doit d'être dynamique. La modélisation est donc utilisée en géographie pour l'analyse de la complexité et des systèmes dynamiques. Elle porte l'attention sur les interrelations et les éléments du système. Or, cette attention portée aux relations et interrelations est la démarche même de l'approche systémique. Cette complexité entre les éléments environnementaux et sociaux est représentée dans la figure 4 ci-après.

Ce schéma conceptuel montre le caractère complexe des changements d'occupation et d'usage des sols. Les thèmes de recherche sont étroitement imbriqués et visent à comprendre les dynamiques d'occupation et d'usage des sols comme un *système complexe* basé sur le couple « homme-environnement » en énonçant et développant des théories, concepts et modèles relevant des sciences sociales et environnementales (Corgne, 2016).

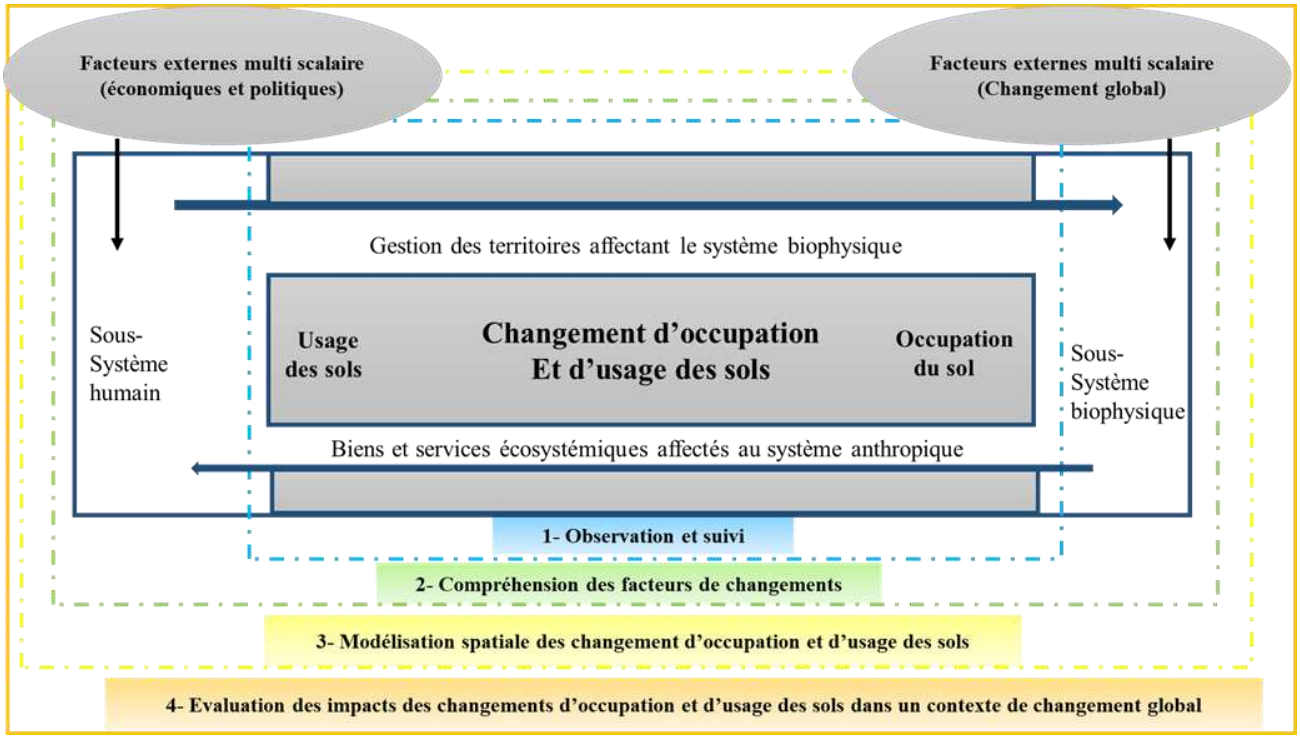


Figure 4 : Schéma conceptuel du système Land cover/ land use change (Turner et al., 2007)

L'usage des terres représente donc un véritable révélateur des dynamiques des systèmes socio-écologiques. Ces dynamiques sont le résultat d'actions et d'interactions ou d'éléments imbriqués les uns aux autres,

composés de sous-systèmes et dont le tout forme un système complexe. La prise en compte de cette complexité nécessite l'adoption des outils adaptés. Pour ce faire, l'approche systémique est couramment pratiquée pour représenter et étudier la complexité. Il s'agit d'une démarche théorique, méthodologique et pratique concernant l'étude de ce qui est reconnu complexe et qui pose des problèmes de frontières, de rotations internes et externes, de structure de loi ou de propriétés émergentes, mais aussi des problèmes de modélisation, de représentation, de simulation d'une totalité complexe (Moine, 2007).

Dans son ouvrage « Le territoire : comment observer un système complexe », Moine, décrit cinq faits qui expliquent la complexité :

- Elle est d'abord liée au désordre, particulièrement dans les systèmes socioéconomiques au sein desquels les déterminants des multiples décisions induisent une incertitude telle, qu'il est difficile d'anticiper les phénomènes, les modes qui vont guider les comportements des individus et peser sur des choix quelques fois primordiaux en matière d'aménagement du territoire, etc. Souvent, le rationnel, le planifié se mélange à l'intuition et au hasard rendant difficilement interprétables les causes de certains phénomènes.
- Elle est aussi liée à la « multiplicité des unités », chaque lieu est unique avec ses caractéristiques propres, ses composantes tous en interaction.
- La complexité est par conséquent liée aux relations, à l'organisation qui émerge de l'ordre ou du désordre. Ce sont ces relations qui sans cesse font évoluer le système qui nous entoure selon le principe d'irréversibilité.
- Elle également liée à l'interdépendance des phénomènes en relation avec l'irréversibilité.
- La complexité est enfin liée à la récursivité des phénomènes, à la notion de rétroaction qui pose l'insoluble problème de l'origine d'un ensemble de problèmes et pose également le problème des frontières des systèmes, l'un contenant l'autre suivant le principe des sous-systèmes.

En géographie, l'approche systémique est utilisée pour comprendre les systèmes complexes, comme les territoires.

1.1.2.3. La télédétection pour le suivi des changements d'occupation et d'usage des sols

Depuis l'avènement de la télédétection dans les années 1970 et 1980, avec le lancement des premiers satellites civils d'observation de la terre, Landsat et Spot, les capacités d'observation et de suivi des changements d'occupation et d'usage des sols ont été continuellement améliorées. Cette amélioration est aussi liée à l'enrichissement des bandes spectrales, de la résolution spatiale et temporelle permettant de suivre les changements à différentes échelles. Cette évolution s'est accompagnée d'une nette amélioration de la qualité et de la diversité des méthodes de traitements d'images, d'une part (classifications basées sur

le pixel, orientées objet, etc.), et des techniques de détections des changements, d'autre part (analyses diachroniques, traitements post-classification, etc.).

L'étude des « échanges » et des « transitions » entre les catégories d'occupation du sol est donc un des éléments qui permet de diagnostiquer la santé des écosystèmes. Elle se fait à partir des techniques de la télédétection et des SIG (Hasan, 2019 ; Lambin et *al.,* 1999,). En science sociale et, notamment, en géographie, en plus des données de télédétection et des SIG, on fait également appel aux données *in situ*, collectées directement sur le terrain. Ces données permettent aussi bien la validation que l'identification des facteurs explicatifs des changements observés par traitement d'images. Certaines études s'intéressent aux facteurs physiques tels que le climat, la température, le vent, l'érosion, etc., pour expliquer ou montrer les dynamiques du milieu (Tchamié et Bouraïma, 1997 ; Tchimbozo, 1981). Par contre, un grand nombre d'études s'intéressent aux activités humaines comme principales causes pour expliquer les changements d'occupation du sol (Hasan, 2019 ; Rapinel, 2012 ; Lambin & Geist, 2006 ; Hubert-Moy, 2004 ; Baudry et *al.*, 2000), dans une approche qui intègre l'analyse diachronique et la modélisation. L'objectif principal de ces études est de décrire, analyser et expliquer, de manière rétrospective, les changements intervenus dans l'occupation du sol. Elles cartographient, modélisent, quantifient et qualifient les répercussions des actions humaines sur les paysages.

L'étude des changements d'occupation et d'usage des sols s'inscrit aujourd'hui au sein d'une nouvelle discipline scientifique appelée « *Land Change Science* (LCS) » (Turner et *al.*, 2007).

Elle est fondée sur quatre grands thèmes de recherche :

- L'observation et le suivi des changements d'occupation et d'usage des sols,
- La compréhension et l'identification des facteurs de changements d'occupation et d'usage des sols,
- La modélisation spatiale des changements d'occupation et d'usage des sols,
- L'évaluation des impacts de changements d'occupation et d'usage des sols dans un contexte de changement global.

<u>Les méthodes de détection des changements par télédétection</u>

La détection de changement est le processus qui consiste à identifier et observer les transformations du territoire à des temps différents (Abuelgasim et *al.,* 1999). Elle a pour objectif l'évaluation qualitative ou quantitative de l'environnement. Plusieurs méthodes ont été développées pour identifier les changements spatiaux temporels à partir des données aéroportées afin de caractériser la dynamique de paysage (Coppin et *al.,* 2004 ; Desclée et *al.,* 2004 ; Mas, 2000 ; Jensen, 1996). Nous les présentons ici sous forme de tableau pour des raisons de synthèse. La détection de changement peut être liée au type de traitement d'image. Ces derniers sont décrits ici (tableau 1) selon les catégories par Jensen (1996, 2005) et Mas (2000).

Catégorie	Sous-catégorie	Technique
Préclassification (accentuation d'image)	Opération ponctuelle	Différence d'images Différence d'indices de végétation Division d'images Analyse par vecteur de changement
	Opération globale + ponctuelle	Régression d'images
	Opération globale	Transformation Tasseled Cap Analyse en composantes principales (ACP)
Classification multidate	Classification multidate directe	Classification non dirigée Classification dirigée Classification visuelle
Post-classification	Comparaison d'images classifiées indépendamment	Classification non dirigée Classification hiérarchique Classification dirigée Classification visuelle
	Images classées/autres sources	Comparaison avec cartes thématiques
Hybride	Combinaison de méthodes	
Autres approches	Systèmes-experts	

Tableau 1 : Récapitulatif des méthodes de détection des changements selon Jensen (1996, 2005) ; Mas (2000)

L'étude entre dans le cadre de la compréhension des changements d'occupation et d'usage des sols et leurs impacts sur les écosystèmes naturels et humains, principalement dans des zones périphériques de la presqu'île de Libreville. Il existe plusieurs techniques de détection de changement qui prennent en compte la nature de l'étude, les objectifs fixés et les données utilisées. Ces méthodes comprennent les opérations de traitement en pré-classification et en post-classification. Les sous-sections qui suivent décrivent les techniques de chaque approche de détection des changements.

Les techniques de pré-classification

Le prétraitement des données englobe l'ensemble des opérations nécessaires avant l'analyse principale. Ces opérations ont pour but d'accentuer la lisibilité des données, c'est-à-dire rendre lisibles les données contenues dans les images brutes et très peu identifiables sur les canaux d'origines. C'est une étape de préparation avant les traitements finaux. Parmi les prétraitements, nous avons la création des indices comme le NDVI, l'analyse en composante principale (ACP), les transformations Tasseled Cap, etc. Ces

techniques font aussi appel à des méthodes algébriques. Les méthodes les plus couramment utilisées proviennent de la première catégorie présentée dans la partie précédente (tableau 1). Elle procède par une interprétation des valeurs numériques pour analyser les informations contenues sur les images.

La différence d'image : la différence d'image est une des méthodes les plus utilisées pour détecter des changements. Elle implique de soustraire les valeurs d'une image donnée au temps T2 à celles d'une autre image au temps T1 pour distinguer les changements qui se sont opérés entre les deux dates, soit en termes de progression, de régression ou de stabilité des surfaces. Techniquement, le logiciel de traitement d'image effectue une superposition entre les deux images afin de produire une nouvelle image de changement. Un tableau sous forme de matrice contenant des valeurs positives (gains) et négatives (pertes) représentant des pixels changés est fourni.

La division d'image : cette méthode procède par une division pixel à pixel de deux images acquises à des dates différentes. Cette division donne une image de changement qui représente le rapport de la ***luminance des objets***. Lorsque le résultat de cette division est égal à 1, cela correspond à une stabilité de surfaces : il n'y a pas de changement. Par ailleurs, si les valeurs sont inférieures ou supérieures à 1, cela signifie que les surfaces ont subi des changements.

L'analyse en composantes principales (ACP) : l'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique pour identifier la structure entre les variables et une technique pour réduire la dimensionnalité des données. Pour la détection de changement, l'ACP identifie la structure entre les images multi-temporelles et multi-spectrales. La première composante principale correspond aux pixels qui ne démontrent pas de changement, tandis que la deuxième composante (ou plusieurs des dernières composantes) identifie les pixels changés. Selon Yuan et *al.,* (1998), l'ACP est efficace pour la comparaison globale des données multi-temporelles et peu sensible aux problèmes de superposition des images.

La transformation de Tasseled Cap : la transformation de *Tasseled Cap* est une technique linéaire de transformation de données qui permet d'obtenir de nouvelles bandes (indices) correspondant à la luminance du sol, à la verdure et à l'humidité. Ces bandes sont ensuite soustraites pour produire des images de changement. Cette méthode est particulièrement utile pour indiquer les changements de la couverture forestière (Coppin et Bauer, 1996).

Méthodes de classification multi-temporelle :

La classification numérique consiste à regrouper des pixels en classes thématiques correspondant à des objets homogènes sur l'image. Elle identifie et classifie les objets dont les caractéristiques radiométriques

sont les mêmes dans le temps. Ces dernières années ont vu le développement d'autres approches de classification. Parmi les plus utilisées, nous avons : la classification dirigée et la classification non dirigée. La classification dirigée suppose que l'on connait la localisation de certaines zones d'entrainements dans l'image et les classes objets correspondants. Cette approche est différente de la classification non dirigée. Contrairement à la classification dirigée, dans la classification non dirigée, les objets sont regroupés par proximité de leurs signatures spectrales, et on vérifie par la suite à quoi ils correspondent dans l'image.

Méthodes post-classificatoires (comparaison des classifications)

Ces méthodes sont basées sur la classification de deux scènes de différentes dates évaluées sur une base de pixel par pixel et rapportées par un tableau statistique faisant appel à une *matrice de changement*. L'exactitude de la détection de changement dépend de la précision de chacune des classifications et de la superposition des images. Ces méthodes ont tendance à surestimer la quantité de changements et donnent des résultats médiocres (Mas, 2000). Cependant, à cause de leur simplicité et parce qu'elles rendent compte de la nature des changements, ces méthodes sont couramment employées dans de nombreuses études, surtout pour détecter les changements de l'occupation du sol. Pour obtenir de meilleurs résultats et limiter les erreurs, certains auteurs combinent une méthode de comparaison de classification à une autre méthode. Par exemple, l'analyse de texture, la différence d'image, l'analyse par vecteur de changement ou la logique floue. Ces dernières années, on utilise souvent la classification orientée objet pour classifier des images. Au lieu d'analyser des pixels indépendamment de leur endroit, des pixels contigus semblables sont groupés en objets en regardant certains facteurs comme : l'information voisine, l'échelle, l'endroit et la distance.

1.2. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de la modélisation prospective des changements d'occupation des sols

La modélisation des changements d'occupation et d'usage des sols est en plein essor depuis quelques années, comme en témoigne l'importante littérature scientifique à ce sujet (Voiron et *al.,* 2017 ; Longaretti et *al.,* 2016 ; Clément et *al.,* 2014 ; Corgne, 2014 ; 2012 ; Aguejdad 2009 ; Houet et *al.,* 2006 et 2010 ; Paegelow, 2004 ; Mas et *al.,* 2000). Le développement des modèles *Land Cover/Land use Change* (LCLU) est né du besoin de prévoir les changements de l'occupation des sols et, dans une moindre mesure, de pouvoir les anticiper. Face à un besoin de plus en plus important des connaissances des processus qui sous-tendent les dynamiques d'occupation et d'usage des terres, l'anticipation ou l'exploration du champ des changements possibles, est une voie prometteuse et efficace pour l'aide à la décision. En outre, dans le cadre de l'étude des dynamiques paysagères et environnementales, la modélisation est mobilisée pour appréhender la complexité liée au fonctionnement des écosystèmes ou des territoires. La prise en compte de cette complexité, caractérisée par un faisceau de relations et d'interactions, nécessite d'appliquer ou de

développer des modèles riches et adaptés qui prennent en compte les dynamiques, les relations ainsi que les contraintes. L'ensemble de ces éléments est présenté dans la section suivante.

1.2.1. Modélisation et simulation des changements en géographie : état de l'art

Il existe une différence entre la modélisation et la simulation qu'il apparait important de présenter ici, de même qu'entre la prospective et la prédiction. Cette distinction sémantique est nécessaire au regard des confusions existantes dans la littérature. Sans être exhaustive, cette section présente les grands aspects de ces notions.

1.2.1.1. De la modélisation et la simulation

Qu'est-ce que la modélisation

Il existe plusieurs définitions de ce concept. Ces définitions sont fonction du type de modélisation. Nous retiendrons ici celles qui nous paraissent les plus pertinentes. La modélisation peut être conceptuelle (modèle conceptuel) ou probabiliste (modèle probabiliste). La modélisation conceptuelle est définie comme une description du fonctionnement d'un système, alors que la modélisation probabiliste correspond à la formalisation d'une démarche hypothétique. Si en mathématiques, le but de la modélisation est d'écrire un certain nombre d'équations dont les solutions décrivent assez bien le phénomène auquel on s'intéresse (Dénoyer, 2019), en sciences sociales, la modélisation permet d'étudier les mécanismes de l'évolution d'un phénomène dans le but de comprendre son fonctionnement et si possible anticiper ses effets. Un modèle est une abstraction qui simplifie le système réel étudié en ignorant de nombreuses caractéristiques du système réel, pour se focaliser sur les aspects qui intéressent le modélisateur et définissent la problématique du modèle (Orange Ravachol, 2016 ; Coquillard et Hill, 1997). Il correspond donc à une présentation (graphique ou schématique) que le modélisateur se fait sur le fonctionnement d'un système. Celui-ci doit représenter le plus finement possible, les aspects clés qui permettent de mettre en lumière le phénomène étudié. Il y a donc autant de modèles que de problématiques ou de modélisateurs. Toutefois, quel que soit le domaine, les modèles doivent tous obéir à des critères communs. Sensevy et Santiini, 2006 ; Popper (1973) relève 3 caractéristiques communes à tous les modèles :

- un modèle doit avoir un caractère de *ressemblance* avec le système réel. Tout modèle (en sciences sociales) n'a pas vocation à être une représentation parfaite et complète de système réel.
- un modèle doit constituer une *simplification* du système réel.
- un modèle est une *idéalisation* du système réel.

Un modèle doit toujours reproduire le mieux possible le comportement du système réel, et ce, en fonction des objectifs fixés (la problématique du modèle).

Qu'est-ce que la simulation

La simulation peut être définie comme une technique d'exploration des possibilités de fonctionnement d'un système. C'est une mise en route du modèle théorique ou conceptuel par l'exécution d'un programme informatique adapté au cas d'étude. Appliquée au territoire, notamment aux changements d'occupation et d'usage des terres, la simulation peut être définie comme un processus de reproduction des états possibles ou souhaités du comportement des entités sociales et spatiales d'un système territorial. C'est un moyen utilisé pour projeter des images possibles du futur. Elle permet de prévoir le comportement des entités d'un système (complexe). Elle procède par une simplification de la complexité des relations qui existent entre les unités du territoire en y ajoutant une forte dimension spatiale et temporelle.

1.2.1.2. Les modèles de simulation de changements : état de l'art

La littérature scientifique présente un large éventail d'approches de modélisation et simulation dans plusieurs domaines, y compris les changements d'occupation et d'usage des sols. Pour synthétiser, l'ensemble de ces modèles a été regroupé en trois grandes catégories par Paegelow et Camacho (2004). Ainsi, nous avons les modèles déterministes, les modèles stochastiques et les modèles à base d'intelligence artificielle.

Les modèles déterministes : modélisent les relations entre différentes variables non linéaires d'un système tout en ignorant le caractère aléatoire de l'environnement. Ils sont basés sur le principe de causalité et ont pour objectif de prévoir avec exactitude ou de reproduire le plus fidèlement possible l'évolution d'un phénomène dans le temps. Les modèles déterministes font recours aux équations différentielles pour modéliser le fonctionnement d'un système. Ils ont pour vocation première de produire des résultats absolus et exacts et non probabilistes. Dans ces conditions, ils ne sont pas adaptés pour la modélisation des processus non linaires et incertains, notamment, les processus anthropiques.

Les modèles stochastiques : à la différence des modèles déterministes, les modèles stochastiques sont probabilistes. Ils s'appuient principalement sur la famille des variables aléatoires pour calculer les valeurs. Ils simulent les changements d'état d'un système ou d'une entité à partir des probabilités de transition, qui traduisent la capacité ou la probabilité d'une entité de passer d'un état à un autre. Les modèles stochastiques utilisent souvent les techniques telles que les chaînes de Markov pour simuler les changements des catégories d'occupation du sol (Paegelow et Camacho, 2005 ; Lambin et *al.,* 2004 ; Coquillard et Hille, 1997).

Les modèles à base d'intelligence artificielle sont composés des Automates cellulaires (AC), des réseaux de neurones et des systèmes multi-agents (SMA). Ces modèles ont été développés pour simuler et analyser les systèmes dits « complexes ».

- Les Automates cellulaires sont une formalisation mathématique du fonctionnement d'un système dans lequel le temps, l'espace et les états sont représentés de manière discrète. Cet espace est discrétisé en cellules. Chaque cellule correspond à une entité et change d'état en fonction des règles de transition (Langlois, 2005), selon une approche déterministe ou stochastique. Les automates cellulaires sont très exploités pour l'étude des changements de l'occupation du sol et y sont implémentés dans plusieurs plateformes de simulation comme LCM, DINAMICA EGO, SLUH, MUNDO et bien d'autres.
- Les réseaux de neurones (fig.5) sont un système artificiel de simulation, capable de prendre en compte les expériences passées, de comprendre, d'interpréter, d'appréhender des relations complexes non linéaires. Ils sont basés sur une approche probabiliste capable de simuler dans le futur des phénomènes inconnus (Mas et *al.,* 2004).

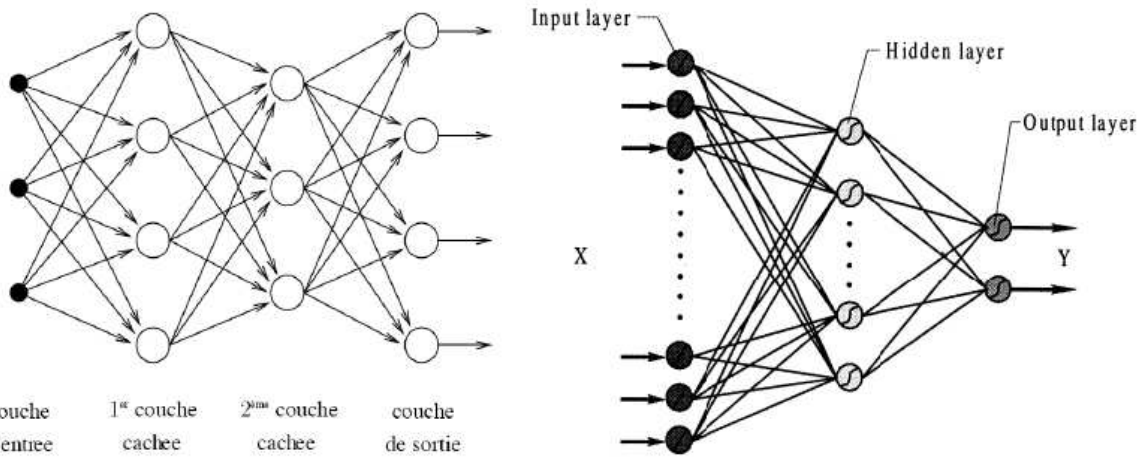


Figure 5 : Représentation graphique de deux réseaux de neurones de type perceptrons multicouche. Source : Parizeau, 2004

La littérature fait état de plusieurs types de réseaux neuronaux, mais les plus exploités, notamment pour l'étude des dynamiques environnementales, sont les *perceptrons multicouches* (PCM) (Mas et *al.,* 2004 ; Paegelow et *al.,* 2004). Les perceptrons multicouches sont composées de trois couches, à savoir, une couche d'entrée, une couche cachée (boite noire) et une couche de sortie. Les couches sont interconnectées de manière hiérarchique par des nœuds (cf. figure 5).

- Les systèmes multiagents (SMA) sont des modèles dits à « base d'agent ». Ferber (2006) définit un agent comme une entité informatique située dans l'environnement (écosystème simplifié), virtuel ou réel, plongé dans une structure sociale capable d'agir dans son environnement, de percevoir et représenter son environnement (et les autres), de communiquer avec les autres agents, de se conserver et se reproduire. Ici, un agent correspond à une entité de la structure du système à modéliser. Sa nature dépend donc du domaine d'application. Un agent peut représenter les entités d'occupation du sol, les animaux, la population, les cellules, etc. Les deux dernières décennies ont vu une prolifération des

SMA, notamment, pour la modélisation des systèmes complexes comme l'analyse des dynamiques territoriales et environnementales. Leur particularité ou leur force est de prendre en compte à la fois les dynamiques quantitatives et qualitatives. Ils rendent compte de la représentation, la gestion collective des ressources, les modes de communication, etc. (Weber, 1996).

1.2.2. De la modélisation prédictive et prospective de l'occupation du sol

De manière générale, la modélisation de l'occupation du sol permet de dégager les règles de transitions entre les entités du système biophysique. La mise en évidence des règles de transition passe par la description des systèmes et des sous-systèmes qui composent les écosystèmes étudiés. La modélisation des changements d'occupation du sol permet surtout de retranscrire spatialement ces dynamiques. Autrement dit, elle est une étape de connaissance et de production de l'information utile pour la simulation des changements. Depuis plusieurs années, un intense travail dans le domaine de la conceptualisation des systèmes spatiaux et de la modélisation a été effectué. Cette conceptualisation permet d'aborder des problématiques diverses à l'aide des modèles fortement disciplinaires, capables de fournir des représentations dynamiques. Ces représentations dynamiques rendent possible la simulation de l'évolution du système global et des sous-systèmes.

La géographie a largement bénéficié des technologies sophistiquées pour la modélisation et la simulation des changements. Ceci a été rendu possible grâce à l'émergence de l'information géographique informatisée (SIG et Télédétection). Ainsi, l'étude des changements d'occupation et d'utilisation du sol a fortement contribué et rendu possible la prévision de l'évolution du territoire. L'information géographique quantifiable et spatialisée a donc été un tournant pour la simulation et le développement des modèles spatiaux pour l'analyse des dynamiques territoriales, particulièrement pour l'aménagement du territoire. En effet, avec l'avènement de l'information géographique pixélisée, la simulation des changements spatiaux est devenue possible, avec le développement des plateformes spécialisées. La modélisation des changements spatiaux en géographie a permis d'améliorer la science de l'information géographique telle qu'elle était connue auparavant. Elle permet désormais d'aider à la protection de l'environnement et d'atteindre les objectifs de développement durable par la prise en compte des conséquences systémiques et leurs effets à long terme dans une perspective d'aménagement du territoire. En d'autres termes, les modèles de simulation des changements spatiaux en géographie sont nés de la volonté de faire passer les SIG et Télédétection, de simples outils de surveillance et de gestion à des outils dotés de capacités prévisionnelles. En clair, ce qui nous intéresse ici, c'est l'analyse des transformations de l'occupation et l'utilisation du sol et leur prévision grâce au déploiement des outils de la géomatique. Les changements d'occupation du sol sont une information quantifiable. L'analyse de leurs relations spatiotemporelles

permet de modéliser les probabilités de transitions entre les différentes catégories. Ainsi, cette analyse permet à la géographie de répondre aux impératifs de la planification territoriale.
En géographie, les opérations de modélisation s'effectuent à travers des modèles de simulation *spatialement explicite* dont le rôle est d'explorer ce système. Les modèles sont utilisés à deux fins principales :

- Les modèles utilisés pour prédire.
- Les modèles utilisés pour explorer, comprendre. Ils peuvent aussi servir à communiquer, négocier, etc.

1.2.2.1. La modélisation prédictive de l'occupation du sol

La modélisation prédictive ne s'appréhende pas de la même manière en physique ou mathématique qu'en sciences humaines. En effet, en physique ou en mathématique, la modélisation prédictive est par essence *déterministe*. La prédiction est une déclaration qui envisage ou détermine de façon précise un état ou un évènement futur (Jahnson, 2001). Cette définition nous montre que le but de la modélisation prédictive est de produire les résultats exacts et non assujettis à la controverse. Elle produit des affirmations absolues, certaines, avec un niveau de confiance très élevé. Les modèles mathématiques, déterministes et physiques sont donc les plus adaptés pour la prédictive. Ce type de modélisation est par essence non probabiliste. Mais, en sciences humaines et sociales, notamment, pour l'étude des changements d'occupation et d'utilisation du sol, les prédictions sont *probabilistes*. Les changements sociaux, ou les dynamiques qui en découlent ne sont pas toujours des phénomènes linéaires. Par conséquent, le niveau d'incertitude est très élevé. Dans ces conditions, il semble impossible de produire des résultats exacts avec une approche déterministe particulièrement en géographie. Le but ici, n'est pas de prédire avec exactitude les changements futurs, car certains évènements sont incertains ou inconnus. En 2006, Hubert Moy et *al.,* présentent la modélisation prédictive comme un mode qui vise à produire des représentations reproduisant au plus près une situation dans un futur proche, avec un degré de confiance plus ou moins élevé. Pour prédire les changements futurs d'occupation et d'usages des sols, la simulation est généralement basée sur données et connaissances du passé. L'horizon temporel est un facteur incontournable de sorte que la majeure partie des études prédictives porte sur le court terme (*ibid.*). L'enjeu de ces derniers est de prévoir pour s'adapter, planifier, évaluer une évolution moyenne, gérer une ressource, évaluer un risque (Corgne, 2014).

1.2.2.2. La modélisation prospective de l'occupation du sol

Les modèles de type prospectif ont pour objectif de comprendre ou explorer, et, dans une certaine mesure, peuvent servir à communiquer et négocier. Ils permettent de représenter des relations complexes de manière *probabiliste*. La modélisation prospective se nourrit du raisonnement de la prospective pour

construire des représentations spatialisées et probabilistes des futurs possibles. Elle utilise principalement la méthode des « **scénarios »** qui, comparés les uns aux autres, permettent d'orienter une décision pour une gestion optimale du phénomène étudié (études d'impact). Il s'agit ici de la simulation prospective. L'approche prospective est utilisée pour présenter, selon certaines hypothèses, un panel de représentations futures plausibles et cohérentes à moyen et long termes (Hubert Moy, 2006). **La modélisation prospective n'a donc pas vocation à prédire l'avenir avec exactitude.** Elle explore, sous certaines conditions, le champ des possibilités si, et seulement si, les dynamiques évoluent dans le sens de nos hypothèses. Pour mieux comprendre ce raisonnement, il nous faut appréhender ce qu'est la prospective et son évolution jusqu'à son intégration à la géographie et aux modèles spatiaux.

Il ne s'agit nullement d'étudier la prospective dans tous ses aspects, encore moins d'une étude en prospective. Il s'agit ici de faire une brève présentation de cette approche, son mode opératoire et ses méthodes afin de montrer comment elle sera combinée à la géographie et au modèle pour constituer une approche méthodologique de l'analyse du territoire et des changements spatiaux.

Depuis une trentaine d'années, on enregistre la réalisation de multiples études utilisant les SIG et la télédétection pour le suivi et la modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol (Dusseux et *al.,* 2019 ; Degenne et Lo Seen, 2016 ; Descalé B et *al.,* 2014 ; Thériault et *al.,* 2011 ; Hung 2000 ; Hornsby et Yuan, 2000 ; Wachowicz, 1999 ; Clarament et Thériault, 1995 ; Claramente et *al.,* 1999 ; 1996 ; 1995). Ces études ont permis de décrire plusieurs approches pour la modélisation des processus spatiotemporels liés à l'occupation du sol. Ces processus servent à construire des modèles qui dégagent les règles de transition entre les catégories. Ces règles servent à alimenter les procédures de simulation à travers des scénarios. Pour être pertinents, les scénarios élaborés doivent avoir un caractère de vraisemblance, c'est-à-dire que les projections doivent être le plus proche possible de la réalité. Elles ne doivent pas être alarmistes ni trop subjectives. Elles doivent concevoir et synthétiser la réalité. Dans un article intitulé *la modélisation des changements d'occupation et d'usage des sols. Cadre formel et exemple d'application*, Thériault et *al.*, (2011), définissent cinq objectifs liés à l'étude du système territorial, ainsi que les techniques scientifiques concernées. Il s'agit de :

L'observation : pour analyser l'évolution du territoire et le suivi des changements. Elle utilise les outils comme la télédétection, les SIG, les données de terrain, les données géospatiales.

La modélisation : pour étudier les interactions entre les entités spatiales et modéliser les mécanismes de changement. Elle fait appel aux probabilités conditionnelles, à l'intelligence artificielle, à l'analyse statistique.

La simulation : permet de reproduire l'évolution du territoire, de valider la pertinence des modèles et de projeter l'évolution possible selon des approches probabilistes ou déterministes. Deux approches sont couramment utilisées pour la simulation des changements : les automates cellulaires (Langlois et Philips, 1992) et le système multi-agents.

La prévision : prévoir l'évolution de l'occupation du sol à un temps T et comparer les scénarios pour l'évaluation des politiques et l'analyse d'impacts.

La compréhension et l'explication : permet d'identifier et comprendre les processus de changements en analysant les liens systémiques entre les composantes de territoire grâce à une explication de causalité. Cette étape a essentiellement un objectif cognitif et d'appui à la décision.

L'ensemble de ces étapes (observation, modélisation, simulation, prévision et compréhension et explication) constituent ce que l'on peut appeler *la systémique territoriale*. La problématique des changements d'occupation et d'usage du sol est à la fois multidimensionnelle et multi-scalaire (Defries et *al.,* 2004 ; Turner et *al.,* 1990) et la notion d'interaction est omniprésente et incontournable. Ces interactions décrivent le fonctionnement du territoire selon une vision systémique. Cela suppose l'intervention de plusieurs facteurs dans la transformation de l'occupation du sol. La transformation d'un territoire est le résultat du processus de diffusion ou la combinaison de plusieurs trajectoires (sociales, économiques, culturelles, structurelles, etc.).

1.2.3. De la prospective, la prospective territoriale et la géoprospective

1.2.3.1. De la prospective (générale)

En 1964, De Jouvenel présentait la prospective comme un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente. Découflé, en 1972, la définissait comme une manière originale d'observer, sur une longue période et à long terme, une situation donnée. C'est donc une approche d'exploration du futur, un mode de connaissance et d'analyse des répercussions des actions humaines présentes sur la société future. La prospective suppose donc de jeter un regard à la fois dans le passé et dans le futur afin de relever les dysfonctionnements et les équilibres pour mieux orienter l'action présente. C'est une approche différente de la prédiction. En prospective, le poids du passé ne peut conserver seul le rôle de guide des décisions et de l'action, car l'analyse rétrospective ou des évènements passés des dynamiques d'un territoire par exemple, montre qu'ils sont complexes et non linéaires. Il existe des situations de discontinuités et de ruptures. De plus, le poids des facteurs explicatifs des changements n'est jamais le même et certains exercent un impact plus durable sur l'environnement que d'autres. Pour mieux contrôler les effets de ce monde artificiel qu'il crée de façon frénétique, l'homme doit éclairer sa prise de décision par une vision à long terme et axée sur la réalisation d'objectifs sociaux qui sont déterminés de façon explicite et démocratique (Julien P et *al.,* 1975). Ici, on comprend aisément que la prospective en tant qu'approche, cherche à répondre à ce besoin : contrôler les effets des actions humaines sur la société et éclairer la prise de décision. Pour ce faire, elle procède par inversion du cheminement traditionnel, en partant des futurs possibles et souhaitables pour revenir au présent. En prospective, les tendances passées et présentes sont utilisées comme support à la réflexion et ne peuvent constituer les seuls facteurs déterminants des

dynamiques futurs. En d'autres termes, en prospective, la projection des futurs possibles n'est pas enfermée dans les limites du présent ou du passé. La prospective n'est pas une prédiction du futur, mais un aller et retour, un va-et-vient entre le présent et le futur pour aider la société à se construire un avenir désiré. Elle a donné naissance à un grand nombre de techniques parmi lesquelles l**a méthode des scénarios**. En géographie, les « *Land Change Science* » font constamment appel à cette méthode pour le suivi prospectif, la modélisation, la simulation de l'occupation du sol et l'étude de leur impact sur l'environnement.

La place des scénarios en prospective

Les scénarios occupent une place importante en prospective. En effet, la prospective ne cherche pas seulement à déterminer l'avenir souhaitable, mais tâche aussi de trouver une façon de rendre cet avenir probable. C'est une forme de planification qui n'est pas essentiellement projective. Non seulement elle doit inventer des solutions, mais elle doit aussi découvrir, anticiper les problèmes auxquels les solutions peuvent être trouvées et appliquées. Les scénarios contribuent à faciliter la prise décision en mettant en évidence les conséquences de telles ou telles décisions. En prospective, les scénarios peuvent être soit une technique, soit une méthode.

Le scénario technique n'a aucune prétention scientifique. Il sert de moyen pour attirer l'attention des décideurs, stimuler la discussion. Il doit à tout prix éviter d'être transformé en méthode, car il perdrait ainsi une part de sa force de persuasion et devrait alors subir le test de comparaison avec d'autres méthodes de prévision. Le scénario technique ne se préoccupe pas de se référer à un corpus théorique et méthodologique (Julien P et *al.,* 1975**).**

Le scénario méthode est considéré comme une démarche synthétique qui, d'une part, simule étape par étape et d'une manière plausible et cohérente, une suite d'évènements conduisant un système à une situation future et qui, d'autre part, présente une image d'ensemble de celle-ci. Il se fonde sur des analyses synchroniques et diachroniques, les premiers simulent l'état d'un système à un moment donné et sont orientés par la nécessité d'une description cohérente tandis que les seconds se penchent sur l'enchainement des évènements et sont amenés à mettre l'accent sur la causalité et les interactions qui les lient. Le scénario méthode est donc un instrument réflexif, critique et rétroactif de simulation et d'expérimentation du système social ou des sous-systèmes qui le compose (*ibid.*). Il faut distinguer deux grands types de scénarios : **les scénarios exploratoires** et **d'anticipation.**

Les scénarios exploratoires décrivent une situation future possible sur la base des tendances et situations présentes qui prévalent. Ramenés au territoire, ils correspondent à une évolution logique, une continuité des dynamiques d'occupation du sol passées conduisant à un état futur et déterminé. Leur point de départ est donc la situation présente.

Le point de départ d*es scénarios d'anticipation* est l'image d'un futur possible ou souhaitable, décrit par un ensemble d'objectifs à réaliser. Le scénario d'anticipation suit un cheminement inverse, c'est-à-dire qu'il va du futur possible et souhaitable au présent, contrairement aux scénarios exploratoires qui vont du présent au futur. Pour cette raison, les seuls scénarios qui sont par essence « *prospectif* » sont les scénarios d'anticipation (Berger G, 1967). Il faut préciser que les scénarios exploratoires sont utiles et nécessaires à une démarche prospective, car, ils fournissent un cadre de référence aux planificateurs. Ils démontrent l'évolution que suivrait le système laissé à ses tendances et sans intervention volontaire pour corriger les trajectoires.

De ces deux grands types de scénarios découlent plusieurs catégories. Ainsi, dans la famille des scénarios exploratoires, nous avons les *scénarios tendanciels et d'encadrement*. Dans la famille des scénarios d'anticipation, nous distinguons *les scénarios normatifs et contrastés*. L'ensemble de ces familles de scénarios sont présentées dans le tableau (2) ci-dessous.

Type de scénarios	But(s) du scénario	Prémisse(s) du scénario	Cheminement utilisé
Scénario tendanciel	Cherche à « déterminer » un futur possible	Suppose la permanence et la prédominance des tendances lourdes	Examine la poursuite, dans l'avenir, de ces tendances et des mécanismes qui les expliquent
Scénario d'encadrement	Veut délimiter l'espace des futurs possibles	Suppose la permanence et la prédominance des tendances lourdes	Fait varier de façon extrême les hypothèses concernant l'évolution de ces tendances
Scénario normatif	Cherche à produire une image d'un futur possible et « souhaitable » ; « Établis un cheminement reliant ce futur au présent »	Suppose que l'on peut déterminer tout d'abord un ensemble possible d'objectifs à réaliser	Fait la synthèse de ces objectifs et relie cette image du futur au présent
Scénario contrasté	Esquisse un futur « souhaitable » situé à la frontière des possibles	Suppose que l'on peut déterminer tout d'abord un ensemble d'objectifs à réaliser s'écartant des objectifs de référence	Fait la synthèse des objectifs à réaliser et relie cette image du futur au présent

Tableau 2 : Tableau synthétique décrivant les différents types de scénarios. Source : Julien et al., (1975)

La partie précédente définissait la prospective au sens général et précisait certains concepts sémantique et méthodologique. Dans la partie qui suit, nous parlons de la prospective territoriale et de son évolution.

1.2.3.2. La prospective territoriale

La prospective territoriale dérive de la prospective générale dont elle suit les principes et les méthodes. Voiron (2012) la présente comme une approche qui « permet de retracer les grandes lignes du changement territorial qui caractérisera demain, afin d'éclairer les choix politiques » (p. 100). Elle est une démarche orientée vers le devenir d'un territoire. Elle identifie les mutations susceptibles de bouleverser les territoires. Elle a pour principal objectif d'anticiper les transformations majeures des territoires en apportant des clés de compréhension des futurs possibles. La prospective territoriale se positionne comme un outil d'aide à la décision, sur la base de scénarios dans le but d'éclairer les décideurs dans leur prise de décision. Pour être efficace, l'élaboration de la vision prospective doit avoir un but, un objectif clairement identifié.

Les démarches de prospective territoriale apparaissent comme une solution à la nécessité d'anticiper le devenir d'un territoire. On assiste de plus en plus à leur application au domaine de l'aménagement et de l'environnement (Houet, 2005). La prospective territoriale fait partie depuis plusieurs années de l'univers intellectuel des planificateurs et des gestionnaires territoriaux. La prospective appliquée à un projet territorial peut se décomposer en cinq grandes étapes : (i) le diagnostic territorial (ii) l'identification des variables clés (iii), les scénarios (iv), la vision souhaitable (v) et les choix stratégiques à envisager. La compréhension et la connaissance du fonctionnement d'un territoire constituent le support du dispositif général de projet de territoire. Sans ce diagnostic, la prospective *stricto sensu* n'est pas possible. Le diagnostic sert ainsi de catalyseur de la démarche prospective. Il répond à un certain nombre de critères. La prospective territoriale est :

- Une approche orientée vers l'analyse du système territorial et de la complexité des relations entre ses composantes ;
- Une approche orientée vers une appréhension dynamique des phénomènes territorialisés, et non pas statiques, à un moment donné, ce qui implique de connaitre les temporalités des processus, allant des temps très longs rétrospectifs pour les caractéristiques structurelles du territoire, à des temps très courts pour ce qui concerne des logiques d'acteurs ;
- Une approche orientée vers la mise en évidence des signaux faibles et des phénomènes en émergence, dépassant le stade de l'exploration des tendances lourdes, anciennes et actuelles, compte tenu de l'instabilité des systèmes et de leur volatilité ;
- Une approche orientée vers la connaissance des effets d'influence externes sur les logiques de fonctionnement du territoire compte tenu des tendances à une ouverture croissante des systèmes locaux au contexte externe ;
- Une approche orientée vers la connaissance des jeux d'acteurs ;

- Une approche orientée vers la connaissance des sous-ensembles territorialisés internes à un territoire donné ;
- Une approche orientée vers la mise au point d'outils techniques adaptés à l'approche systémique des territoires, notamment sur le plan statistique et cartographique.

À travers ces critères définis par le TEDDIF[3], la qualité d'un diagnostic s'évalue à sa capacité à présenter une réalité en mouvement en vue de construire une image de cette réalité susceptible d'être appropriée par des acteurs. Le diagnostic doit contribuer à structurer la réflexion collective et nourrir les travaux qui viennent en aval dans le cadre des ateliers de prospective.

Les attendus et les objectifs de la prospective territoriale

Quels que soient les objectifs, le résultat de la prospective territoriale ne représente pas la réalité absolue, elle n'est pas le territoire. Elle reste avant tout une démarche, une approche pour anticiper l'état à venir d'un territoire, dans le but de mieux construire le présent. C'est donc une démarche de « l'esprit », mieux, un mode opératoire. En effet, pour De Jouvenel (1964), faire de la prospective c'est réussir à prendre conscience des situations en formation quand elles sont encore modulables, avant qu'elles n'aient pris une forme impérieusement contraignante ». Cette affirmation de Jouvenel propose de se débarrasser des contraintes de l'urgence. Elle vise donc la production de la connaissance en vue de mener des actions stratégiques. En cela, nous la considérons comme un outil méthodologique au service du développement durable des territoires.

Une dimension stratégique **:** la prospective met en évidence différents types de trajectoires ou de futurs possibles liés à un enjeu spécifique. Son objectif est d'éclairer les décisions qui infléchissent une stratégie d'action ou qui y conduisent afin de mieux maitriser les processus d'action qui relient le présent à un objectif futur de moyen ou de long terme. Autrement dit, la prospective consiste à *« penser loin pour agir avec plus de pertinence ici et maintenant »*. C'est un exercice qui vise à la fois à appréhender la complexité d'une situation, à la projeter sur l'avenir, et à revenir sur l'objet pour accroitre ses marges de manœuvre, ses degrés de liberté et sa capacité à maitriser les risques et les incertitudes. Une prospective territoriale destinée à construire une vision du futur implique une dimension stratégique. Cette vision contribue à configurer, à caler, un ensemble d'objectifs à atteindre à un horizon donné. Ces objectifs impliquent une stratégie et un plan d'actions échelonnées dans le temps pour parvenir à les atteindre. Le projet de territoire qui cadre l'ensemble du processus constitue une référence pour l'action publique.

[3] Territoire, Environnement et Développement Durable en Île-de-France. Le réseau TEDDIF est une réponse commune des partenaires pour soutenir les territoires dans leur dynamique de projets, favorisant un processus de changement pour prendre en compte le développement durable dans les politiques territoriales.

Une dimension participative **:** l'implication et la concertation avec les décideurs, les acteurs et les populations locales sont une dimension importante de la démarche prospective. La dimension participative permet de prendre en compte les points de vue, ou « l'expertise des populations locales, des décideurs et autres acteurs du territoire, afin de rendre plus représentatifs et démocratiques les scénarios prospectifs.

Une dimension cognitive **:** l'avenir des territoires découle largement des politiques et des pratiques actuelles. Il faut partir d'une compréhension des politiques antérieures qui ont contribué à façonner la réalité présente pour se demander si l'on va poursuivre, infléchir ou interrompre le processus d'action et les politiques en cours. Les interrogations sur le futur, les aspirations et les attentes nouvelles se fondent sur des bilans, des états des lieux, des diagnostics, des enquêtes (connaissance directe). Interrogation sur l'avenir et rétrospective des politiques antérieures sont itérativement imbriquées. C'est entre ces deux dimensions que la prospective prend place. La question du futur pose la question de la façon dont on se projette dans le futur en s'appuyant sur la connaissance du présent. Il s'agit forcément d'une approche qui conjugue deux dimensions principales :

- *La dimension classique du diagnostic de la réalité présente et passée produite par un ensemble de facteurs, de déterminants, de processus internes et externes au territoire, dont les composants interagissent les uns avec les autres pour produire, engendrer une situation au temps t.*
- *Le passage du « présent actuel » à un « présent projeté » dans le futur, et le retour éventuel de ce « présent projeté » vers un « présent orienté » pour le changement, l'action, la transformation de la réalité.*

Cet aller et retour entre le présent et le futur anticipé ou projeté représente un vrai défi, puisqu'il est quasi impossible de mesurer ce qui n'existe pas. Le projet rentre dès lors dans une part de subjectivité. La qualité des connaissances actuelles des enjeux en cause est une dimension fondamentale de la prospective. Il s'agit à la fois de la connaissance du territoire à un moment donné et sa dynamique entre un passé et la situation présente. Il s'agit de comprendre la logique de phénomènes inscrits dans une durée historique plus ou moins longue. Le diagnostic et l'analyse du présent doivent permettre d'appréhender les phénomènes en émergence, les « signaux faibles » et les conséquences des politiques publiques et des projets antérieurs, en mettant en évidence les interrelations entre ces politiques et les facteurs d'évolutions du territoire.

1.2.3.3. La géoprospective, une nouvelle approche

La démarche de prospective territoriale s'attache à de simples diagnostics généralement a-spatiale ou qui ne sont pas spatialement explicites. Une des carences de la démarche de prospective empirique était l'absence de la dimension spatiale. L'idée d'introduire la dimension spatiale fait que l'on est passé d'une

prospective territoriale à une prospective territoriale spatialisée. Cette dernière implique la spatialisation des scénarios prospectifs à travers les outils de simulation spatialement explicites. La prospective territoriale spatialisée implique d'établir un lien entre l'analyse spatiale et la prospective. L'implémentation de cette dimension spatiale à la prospective territoriale a donné naissance à une nouvelle approche méthodologique qu'on l'appelle ***la géoprospective*** (Gourmelon et *al.,* 2012). D'après Voiron, 2006**,** la géoprospective en tant qu'approche ou posture nouvelle, est une démarche synthétique et proactive qui se positionne à l'interface de beaucoup de disciplines et d'approches méthodologiques. Sa spécificité réside dans l'intégration explicite de la dimension spatiale aux différents stades du processus prospectif, à travers le rôle central des modèles, de l'analyse spatiale (Houet, 2010)**.**

La géoprospective s'est constituée plus récemment comme en témoignent les travaux de Voiron (2006) ou Houet (2008)**.** Par ailleurs**,** Gourmelon et *al.,* (2012), l'a définie comme « un ensemble de pratique visant à anticiper à moyen et long terme le devenir des espaces, soit en exploitant leur devenir plausible, soit en simulant les évolutions les conduisant à une situation considérée comme possible à un horizon donné, dans le but d'éclairer les décisions d'aménagement et de gestion des territoires » (p. 97). Elle permet via l'usage des modèles, la localisation des espaces à enjeux (ou stratégiques) sur lesquels les changements d'occupation et d'usages des sols sont probables. La géoprospective est donc une démarche qui se positionne à l'interface de plusieurs approches modélisatrices (modélisation LUCC, modélisation d'accompagnement, prospective, prospective environnementale) en faisant appel aux méthodes de participation, de scénarisation et de modélisation (Houet et Gourmelon, 2014). Dans cette démarche, la dimension spatiale occupe une place centrale et constitue un dénominateur commun (fig.6).

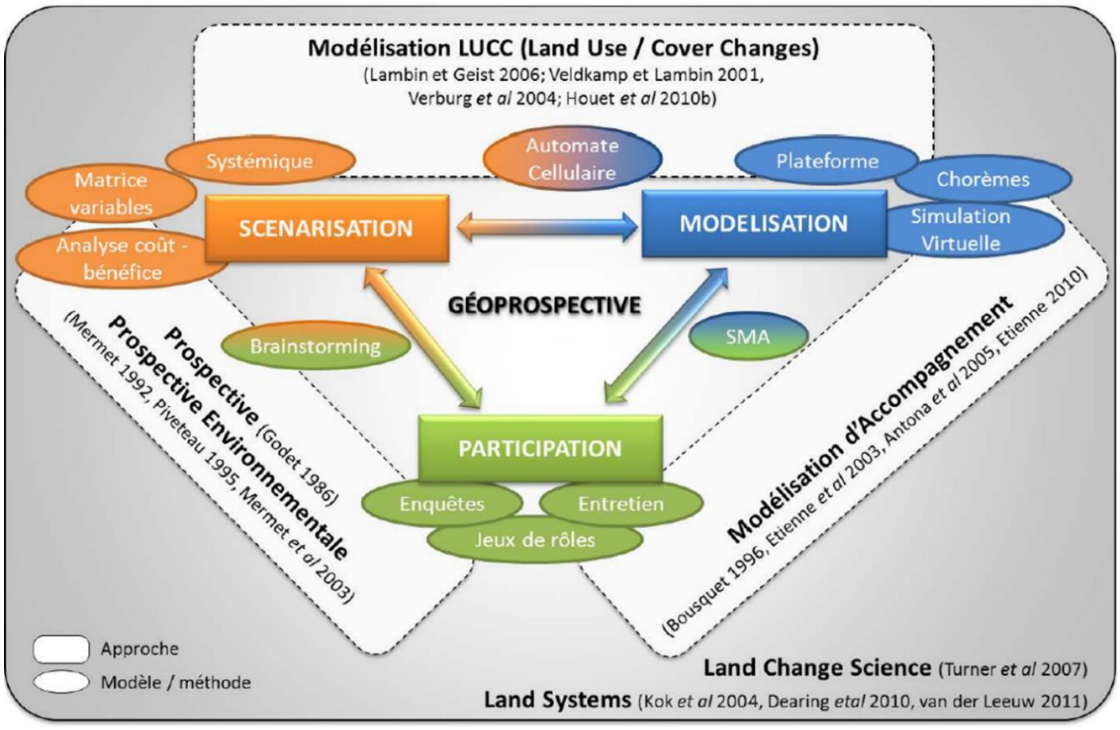


Figure 6 : La géoprospective, une démarche à l'interface de plusieurs approches de modélisation. Source : Houet et Gourmelon, 2014

L'intégration de la dimension spatiale a pour but d'appréhender les changements qui se produisent à travers l'espace. Le recours à cette approche contribue ainsi à une meilleure compréhension des changements qui permettront à postériori :

- ✓ D'identifier les espaces à enjeux pour la gestion et la conservation de la biodiversité ;
- ✓ De localiser les conflits sociospatiaux (Costanza, Voiron, 2004).

La caractéristique de la géoprospective est donc la simulation et la spatialisation des scénarios prospectifs. Le tableau 3 ci-après, illustre l'évolution de la relation entre la prospective et la dimension spatiale. Il montre les objectifs, le rôle des modèles spatiaux dans le champ de la prospective territoriale.

	PROSPECTIVE (1957 – 1980)	**PROSPECTIVE TERRITORIALE (1990 – 2000)**	**GÉOPROSPECTIVE (à partir de 2005 —)**
Objectifs	Construction des futurs possibles pour des choix stratégiques, Planification stratégique d'état (DATAR)	Anticiper les transformations majeures des territoires en apportant des clés de compréhension sur les futurs possibles du territoire	Modélisation des systèmes spatiaux complexes et leur devenir possible pour concevoir les territoires durables
Approche scénaristique	Exploratoire et anticipation	Exploratoire et anticipation	Anticipation+ (exploratoire comme support de la réflexion)
Type de scénarios	Tendanciel, encadrement	Alternatif, tendanciel, normatif	Normatifs et contrastés
Dimension spatiale	Absente	Moyenne	Centrale : spatialisation de scénarios prospectifs
Dimension sociale	Faible	Centrale, participatif	Centrale, multi-scalaire
Mode de transcription	Récit qualitatif	Récit qualitatif et quantitatif	Modèle + récit (quantitatif et qualitatif)
Résultats	Choix stratégique de construction des futurs	Diagnostic, résultats appropriés pour les acteurs	Projection des images plausibles du futur, définit les indicateurs de changements des espaces et les espaces à enjeux

Tableau 3 : Évolution du processus d'intégration de la dimension spatiale à la démarche prospective

La dimension spatiale opère une convergence implicite entre la prospective et la géographie (Houet, 2015). La prospective *stricto sensu* émerge en France sous la houlette de la DATAR au cours des années 1970. Elle avait pour objectif, la construction des futurs possibles pour des choix stratégiques et une planification stratégique d'état (DATAR). La dimension spatiale y est totalement absente et on note une faible prise en

compte de la dimension sociale. Les résultats sont donnés sous forme de récit qualitatif décrivant les choix stratégiques pour la construction du futur. Dans le même temps, au cours des années 1990, se développe la prospective territoriale définie par Delamarre (2002), comme ayant pour objet de définir des faits et des territoires, porteurs d'avenir, dans une perspective opérationnelle programmatique. Les objectifs de cette prospective territoriale étaient d'anticiper les transformations majeures des territoires en apportant des clés de compréhension sur les futurs possibles du territoire. Centrée sur le territoire, la dimension spatiale est donc présente, mais moyenne, car elle n'est envisagée que comme un support pour représenter des phénomènes, notamment socioéconomiques (Houet, 2015). Mais la dimension sociale est centrale et les phénomènes ou les faits sont étudiés avec une prise en compte de la dimension participative. Par ailleurs, les résultats sont retranscrits sous forme d'un récit qualitatif et quantitatif présentant les diagnostics, résultats appropriés pour les acteurs.

Le développement de méthodes et d'outils de l'analyse spatiale, l'analyse systémique, de la modélisation et de la simulation, ont permis de renforcer la dimension spatiale dans la prospective territoriale. En effet, le but de la prospective territoriale spatialisée est la modélisation des systèmes spatiaux complexes. Elle s'inscrit clairement dans le champ de l'analyse systémique. Son objectif est d'étudier le devenir possible des territoires pour concevoir les territoires durables. Ici, la dimension spatiale joue un rôle central et se caractérise ou se matérialise par la spatialisation des scénarios prospectifs. Les résultats sont retranscrits sous forme de modèle et de récit décrivant quantitativement, qualitativement est spatialement les projections des images plausibles du futur. Les résultats concernent aussi la définition des indicateurs de changements des espaces, d'une part, et les espaces à enjeux, d'autre part.

Une simulation n'est dite prospective que si elle répond à un certain nombre de critères, notamment la méthode de scénario. En d'autres termes, une simulation prospective est construite autour d'un scénario qui la décrit. Ainsi, la spécificité de la géoprospective est d'opérer un couplage entre le scénario prospectif et le modèle de spatialisation. Les travaux réalisés dans le champ des LULC se sont accompagnés par un fort développement des modèles de simulation spatiale (Voiron et *al.,* 2017 ; Hubert et *al.,* 2010 ; Lambin et Geist, 2006). Ainsi, la simulation des changements d'occupation et d'usage des sols s'effectue soit par les méthodes utilisant les automates *cellulaires* (Langlois & Philips, 1997 ; Paegelow et *al.,* 2004 ; T. Houet & Gaucherel, 2007 ;) ou par les modèles à base d'agents (Vannier, 2011). Ces deux derniers constituent les principaux outils pour la simulation des dynamiques spatiotemporelles de façon spatialement explicite. Par ailleurs, les méthodes ou formalismes utilisés pour modéliser les changements d'occupation des sols sont nombreux (Houet et *al.,* 2008), elles peuvent reposer sur des approches à dire d'experts, des approches probabilistes (chaînes de Markov), d'intelligence artificielle (réseaux de neurones), statistiques (régressions logistiques, analyse multicritères…), ou encore d'analyse spatiale (SIG, géostatistique). Le choix du modèle de simulation est très important et dépend des objectifs ou de la problématique. En 2015, Houet identifie trois objectifs des modèles qui peuvent guider notre choix :

- Représenter le territoire et son évolution de façon simplifiée ou réaliste en termes de résolution, de complexité, de localisation ;
- Favoriser la participation ou affiner l'évaluation ;
- Évaluer l'influence de l'interaction de multiples processus sur le devenir du territoire ou bien d'évaluer les processus à mettre en œuvre pour atteindre une situation donnée.

Enfin, le choix du modèle dépend aussi de la capacité du modèle à reproduire ou simuler dans l'espace et dans le temps les dynamiques considérées. Bien que les résultats des changements futurs restent incertains, ils doivent tout de même être vraisemblables en termes de dynamique(s), de composition(s) et de structure(s) paysagères. La finalité des outils de simulation spatiale est la quantification des changements et de leurs impacts possibles à moyen ou long terme ainsi que l'aide à la décision pour une gestion des territoires (Gourmelon et *al.*, 2008). L'évaluation de l'impact des changements d'occupation et d'usage des sols peut être considérée comme la phase « ultime » du processus de modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols (Corgne, 2016).

Conclusion du chapitre 1

Ce chapitre introductif a permis d'appréhender les éléments conceptuels, théoriques et les méthodes couramment utilisées dans la littérature pour l'analyse de changements de phénomènes spatialisés (en géographie). Cette analyse repose sur deux principaux axes à savoir l'aperçu des éléments conceptuels et méthodologiques de l'analyse des dynamiques paysagères ainsi que ceux utilisés pour la modélisation prospective de l'occupation du sol.

Dans le premier axe, un accent est mis sur les changements d'occupation et d'usage du sol et les méthodes et outils utilisés pour leur analyse. Les SIG et à la télédétection constituent les principaux outils à travers l'analyse systémique et spatiale. Ainsi, depuis l'avènement de la télédétection, la capacité d'observation et du suivi des changements d'occupation du sol ont été continuellement améliorés. Le recours aux images satellitaires aux résolutions de plus en plus fines et aux données de terrain contribue à l'amélioration de l'identification des objets et du diagnostic de la santé des écosystèmes.

Le second axe traite globalement le processus d'intégration de la dimension spatiale dans la méthode de scénario (l'usage des modèles en prospective) pour la modélisation et simulation des changements d'occupation du sol. Il montre comment la géographie a bénéficié des technologies pour la modélisation et simulation des changements d'occupation du sol et comment la prospective a été couplée aux modèles pour l'analyse des phénomènes spatialisés. L'intégration de la dimension spatiale a pour but d'appréhender les changements qui se produiront à travers l'espace : c'est la spécificité de la géoprospective. La modélisation des changements d'occupation du sol permet surtout de retranscrire spatialement ces dynamiques et l'identification des espaces à enjeux pour la gestion du territoire et la conservation des écosystèmes. Depuis plusieurs années, un intense travail dans le domaine de la conceptualisation des systèmes spatiaux et de la modélisation a été effectué. Il a abouti au développement de plusieurs plates-formes et outils sophistiqués de simulation de changement. Cette conceptualisation permet d'aborder des problématiques diverses à l'aide des modèles fortement disciplinaires, capables de fournir des représentations dynamiques. La compréhension des phénomènes spatialisés nécessite de développer des approches adaptées à la problématique et au terrain d'étude. Le développement des modèles Land Cover/Land Use Change constitue une réponse efficace pour l'analyse des d'occupation et d'usage des terres. Ces modèles sont nés du besoin grandissant de suivre les changements d'occupation du sol et de pouvoir les anticiper.

CHAPITRE 2

COMPRENDRE LE CONTEXTE SOCIOGÉOGRAPHIQUE DU SITE D'ÉTUDE ET SON ÉVOLUTION

CHAPITRE 2 : COMPRENDRE LE CONTEXTE SOCIOGÉOGRAPHIQUE DU SITE D'ÉTUDE ET SON ÉVOLUTION

La description et la caractérisation d'un site d'étude sont une étape très importante, particulièrement en géographie. C'est un premier niveau de connaissance qui amène à la compréhension du phénomène étudié et permet aussi la justification du terrain d'étude : pourquoi ce territoire au détriment d'un autre, quelles sont ses caractéristiques, ses composantes, ses dynamiques et les acteurs qui l'animent. La compréhension du contexte sociogéographique du territoire permet aussi d'identifier un certain nombre de facteurs explicatifs du problème étudié et de poser les bases sur lesquelles sera fondée l'analyse. Ce chapitre aborde donc en priorité les aspects qui ont un lien direct avec notre thématique et qui permettent d'établir des relations de cause à effet. Il est subdivisé en trois sections. La première est dédiée à la description des caractéristiques physiques de la presqu'île de Libreville. Elle fait tour à tour une présentation des éléments géomorphologiques, des caractéristiques climatiques et des écosystèmes naturels (forets et mangrove). La seconde permet d'analyser les dynamiques humaines. Elle est axée sur la croissance démographique ainsi que la description des conditions historiques de développement de Libreville. Ces éléments permettent de comprendre est d'expliquer les dynamiques encours. La troisième section se consacre à l'analyse de la gouvernance territoriale et à la présentation des activités socioéconomiques qui y sont pratiquées. Ils permettent de comprendre les rôles des acteurs et des populations dans les dynamiques paysagères.

2.1. Géographie de la presqu'île de Libreville

2.1.1. Les caractéristiques physiques du site

Le Gabon est un pays de l'Afrique centrale qui possède une importante façade maritime atlantique de plus de 800 km. Avec une superficie de 267 667 km², ce pays est couvert par une importe forêt équatoriale et des savanes qui représente environ 85 % du territoire national (AGEOS, 2015). Ces écosystèmes forestiers constituent des ressources et services utiles au développement du pays notamment pour l'exploitation du bois et, depuis peu, le tourisme vert. En effet, au regard de la richesse écologique de la forêt et du rôle qu'elle peut jouer dans la régulation du climat tant sur le plan local que global, le Gabon développe depuis 2012, des politiques volontaristes d'exploitation, de gestion durable et de conservation qui ont amené la création de 12 parcs nationaux. Ainsi, 11 % du territoire soit plus de 30 000 km² est dédié à la conservation. Le Gabon compte 9 provinces. Chacune est divisée en département, commune, et arrondissement (fig.7).

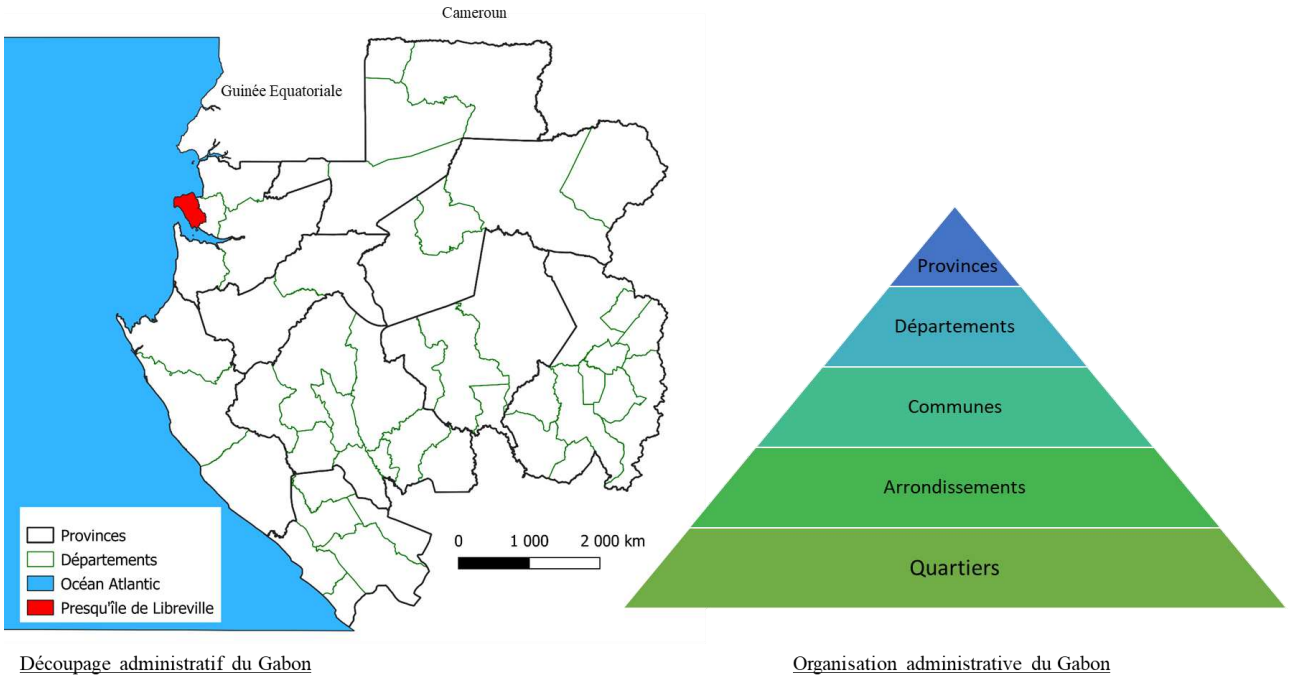


Figure 7 : Organisation administrative du Gabon

Sa capitale politique, Libreville, se localise sur la côte de l'océan Atlantic, dans la province de l'Estuaire. Le terme « presqu'île de Libreville » a été utilisé pour la première fois par Lassere (1959) dans son ouvrage *Libreville et sa région*, pour qualifier une région presque entourée d'eau. En effet, elle n'est reliée au continent que par une bande de terre (un interfluve artificiel) de moins de 500 mètres large ou deux fleuves, à savoir *Ikoy Tsini* et *Ikoy Komo,* se font face. La zone est entourée par l'océan atlantique dans ses parties nord, nord-ouest. À l'Ouest et sud-ouest, elle est entourée par *l'estuaire du fleuve Komo,* et la rivière Ikoy Komo au sud. Dans ses parties nord-est, est et sud-est, elle est longée par un bras de mer (Ikoy Tsini) et la baie de Mondah.

La presqu'île de Libreville, avec une superficie de 859 km², est une zone humide estuarienne, marine et côtière. Sur le plan administratif, elle est composée de quatre communes dont Libreville, la capitale politique du pays au centre, Akanda au nord, Owendo au sud et Ntoum à l'est (fig.8). Les communes qui gravitent autour de Libreville, sont des extensions spatiales de sa surface, car l'étalement urbain est parti du centre vers les zones périphériques nord, sud et est. Sa capitale politique, Libreville, se localise sur la côte Atlantic dans la province de l'Estuaire. Le terme « presqu'île de Libreville » a été utilisé pour la première fois par Lassere (1959) dans son ouvrage *Libreville et sa région*, pour qualifier une région presque entourée d'eau. En effet, elle n'est reliée au continent que par une bande de terre (un interfluve artificiel) de moins de 500 mètres large ou deux fleuves, à savoir *Ikoy Tsini* et *Ikoy Komo,* se font face. La zone est entourée par l'océan atlantique dans ses parties nord, nord-ouest. À l'ouest et sud-ouest, elle est entourée par *l'estuaire du fleuve Komo,* et la rivière Ikoy Komo au sud. Dans ses parties nord-est, est et sud-est, elle est longée par un bras de mer (Ikoy Tsini) et la baie de Mondah.

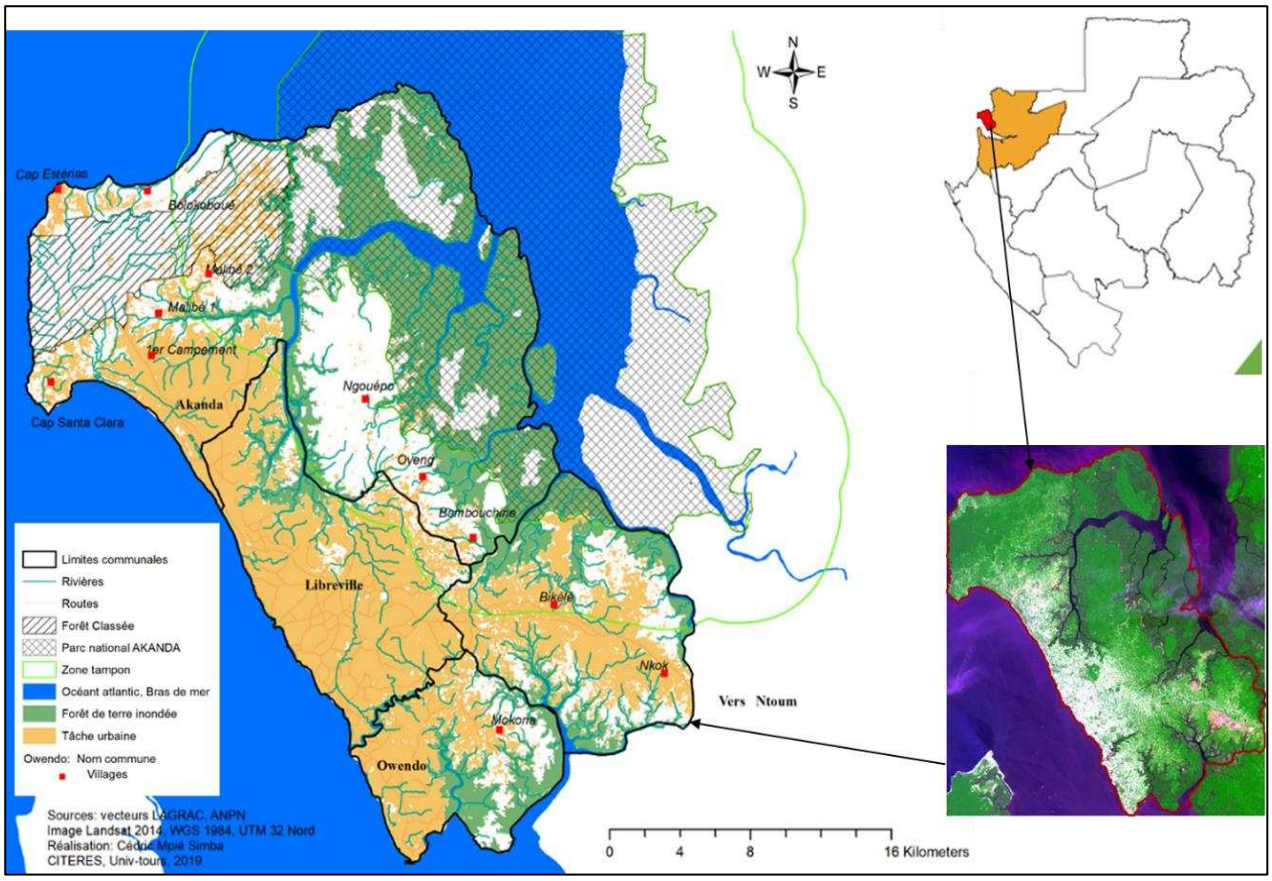


Figure 8 : Carte de localisation de la zone d'étude

Le relief de la presqu'île de Libreville appartient au domaine de la « plaine du bassin côtier » du Gabon. Il est faiblement ondulé et ne dépasse pas une altitude de 200 m, avec de petites crêtes et quelques collines. La zone est généralement très basse avec des altitudes variantes entre 0 et 123 m (fig.9). Certaines surfaces (inondées) sont inférieures au zéro marin. Du Cap Estérias au nord à Owendo au sud, la côte mesure environ 40 km de long (Maloba Makanga, 2011). À l'intérieur des terres, certaines zones ont même des altitudes inférieures au zéro marin. Ces faibles valeurs altitudinales sont dues au fait que la zone est située sur le littoral. Celles-ci augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte. L'essentiel de l'agglomération urbaine est construit sur des espaces qui ne dépassent pas 35 m. Sur les interfluves se dresse une grande partie du réseau routier. Les zones basses, potentiellement « *inondogène* », subissent également d'importantes pressions humaines et sont fortement occupées. Elles abritent une part importante de la tache bâtie, généralement constituée des quartiers précaires. Les formations géologiques de la zone littorale sont récentes, datant du tertiaire et secondaire (-600 millions d'années à nos jours), plus précisément de l'Albien et de l'Éocène. Elles sont principalement composées de grès, marnes, calcaires du crétacé supérieur, argiles et grès surmonté de sable. Les sols sont constitués d'argile et de sable (argilosableux). On y retrouve aussi des podzols. Ce sont des sols qui se sont développés sur des alluvions marines récentes. Ils sont de couleur brun sombre et plus ou moins endurcie.

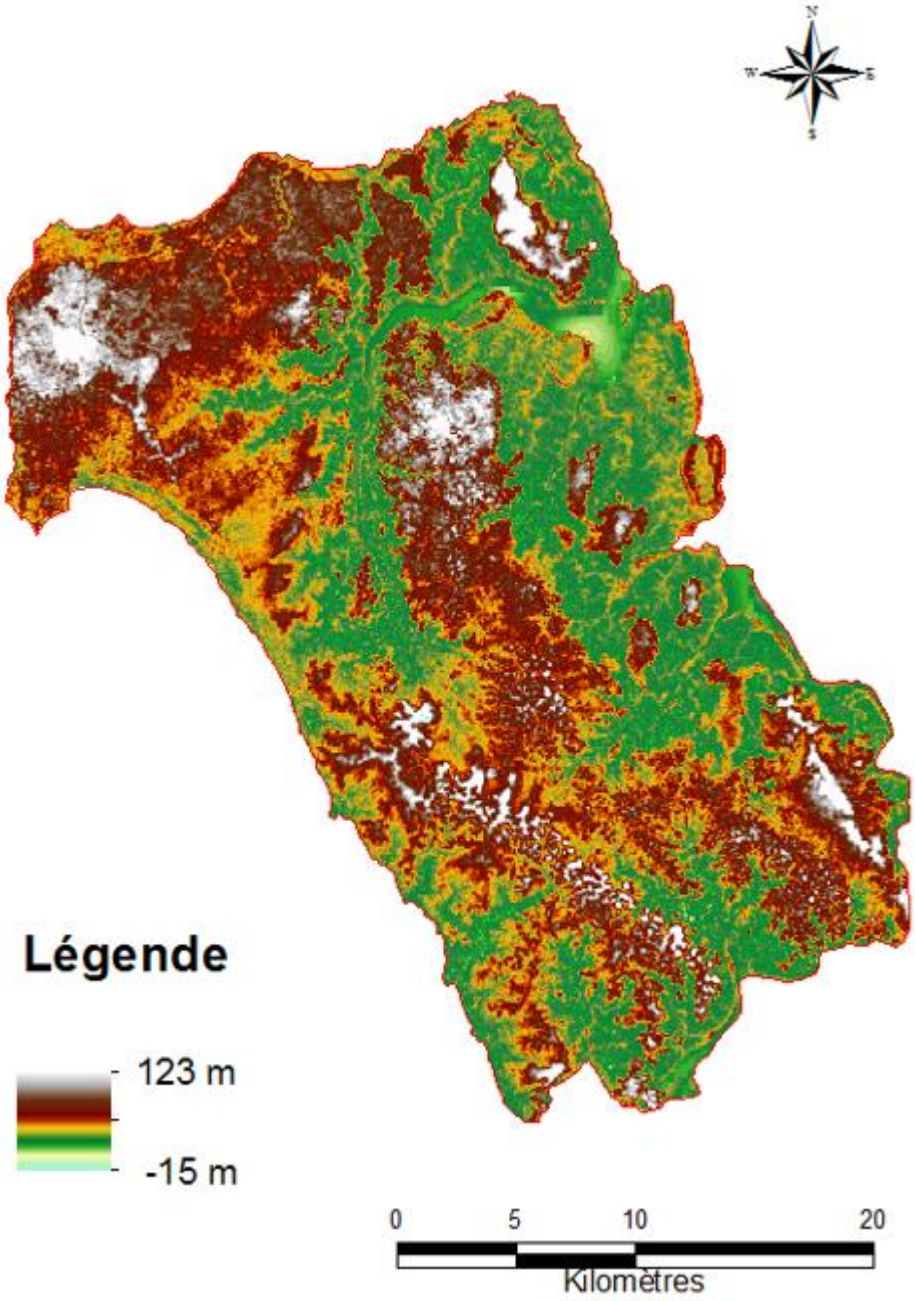


Figure 9 : Altitudes de la presqu'île de Libreville

À l'intérieur de cette zone, on y trouve deux aires protégées situées à moins de 5 km du centre-ville. Il s'agit de la forêt classée de la Mondah aussi appelée Arborétum Raponda Walker et le parc national Akanda (fig.8). Au nord de Libreville, autour de la baie de la Mondah, s'étendent les forêts les plus humides du bassin côtier du Gabon avec une pluviométrie de 3000 à 3500 mm par an en moyenne (Vande weghe, 2005, Maloba Makanga, 2011). Ses caractéristiques climatiques sont celles de l'estuaire du Gabon. Elle se caractérise par l'existence de quatre saisons à savoir deux sèches et deux saisons de pluies : (i) une grande saison de pluie qui s'étale sur 4 mois, de février à mai (ii) une grande saison sèche de juin à août (iii) une petite saison de pluie de de septembre à novembre (iv) une petite saison sèche de décembre à janvier. Les

plus grandes quantités de pluies sont notées au mois de mai (Maloba Makanga, 2011). Ces pluies sont aussi variables d'années en année et évoluent en dents de scie.

Sur le plan climatique, la zone d'étude est classée parmi les régions équatoriales de transition *(ibid*). Cet espace enregistre des températures moyennes annuelles élevées, de 25,9 °C[4], avec des taux d'humidité relative généralement de plus de 80 %. Les variations de température, d'humidité de l'air et des précipitations se perçoivent dans les changements de saisons (saisons sèches, saisons pluvieuses). La zone connait une des plus fortes pluviométries du Gabon qui varie entre 2 800 et 3 200 mm par an.

2.1.2. Les écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville

Vu du ciel, le couvert forestier constitue l'entité paysagère dominante de la presqu'île. Cette végétation est relativement diversifiée avec des écosystèmes riches et sensibles. On distingue essentiellement deux grands types de formations végétales ; celles qui occupent les parties submersibles et leurs bordures (la mangrove et autre forêt inondée) et celles qui occupent les zones insubmersibles (la forêt secondaire de terre ferme), qui se développent majoritairement sur les interfluves.

2.1.2.1. Les forêts de terre ferme

La formation végétale dans son ensemble couvre une grande partie de la presqu'île. Les surfaces de forêts secondaires les plus importantes se localisent dans ses zones périphériques principalement au nord et au nord-ouest. Le deuxième arrondissement d'Owendo au sud, les zones de Bikélé et Nkok sont aussi assez couverts de forêt de terre ferme. Il s'agit des forêts préservées ou des espaces non urbanisés et assez éloignés de la ville. Au nord, autour de la baie de la Mondah, s'étend une des forêts les plus humides du Gabon. Les forêts les plus importantes sont celles situées dans le périmètre protégé à savoir, l'arborétum Raponda Walker (forêt classée qui porte le nom du premier botaniste du Gabon). Depuis sa création en 1934, la forêt Classée de la Mondah a été régulièrement réduite, perdant 40 % de sa superficie en 80 ans (Walters et *al.*, 2015) (fig. 10). D'une superficie initiale de 10 200 hectares (fig. 10a), la forêt Classé de la Mondah a subi plusieurs déclassements. C'est une forêt anciennement exploitée. Son classement en zone interdite d'exploitation date de 1951. C'est une forêt très riche en termes de biodiversité avec un endémisme important.

En effet, la présence d'espèces de plantes endémiques dans la zone a été évaluée par des travaux botaniques sur le terrain et 24 espèces endémiques, toutes menacées, ont été recensées (*ibid*). On peut y découvrir, entre autres, l'okoumé, un arbre géant, exploité servant à la fabrication du papier, des meubles, du contreplaqué, etc. Elle contient aussi *l'Alep*, ce grand arbre, qui fait partie de l'étage dominant de la forêt

[4] Mesure prise à la station de Libreville

africaine, d'autres espèces telles que l'Ozouga, l'*Oken*, l'*Angoa*, l'*Ozigo*. C'est une forêt secondaire mature, dont les espèces peuvent atteindre plus de 50 ans d'âge et mesurer plus de 60 mètres. Cependant, la forêt de la Mondah est menacée et disparait progressivement sous l'influence de l'homme. La superficie de l'arborétum Raponda Walker, ainsi renommé depuis 2012, est en recul. Elle subit une forte pression urbaine qui la prend en étau entre le Cap Estérias au nord et l'extension de Libreville au sud. Des activités potentiellement dégradantes des écosystèmes forestiers telles que l'exploitation de carrières de sable, et l'extension de plantations agricoles, la chasse sont à l'origine de la disparition de nombreuses espèces de plantes et d'animaux. Aujourd'hui, plus de la moitié de la population du pays habite la presqu'île de Libreville (plus 800 000 habitants). Cette présence humaine exerce des pressions de plus en plus fortes sur les aires protégées et menace l'intégrité écologique de ces espaces. L'étalement du cadre bâti vers les zones protégées autrefois isolées entraine leur dégradation et leur réduction qui a abouti en 2012 sur une nouvelle délimitation. Aujourd'hui l'Arborétum couvre une superficie de 6747 ha (fig.10f). La ville se situe désormais à moins de 5 km de la forêt protégée.

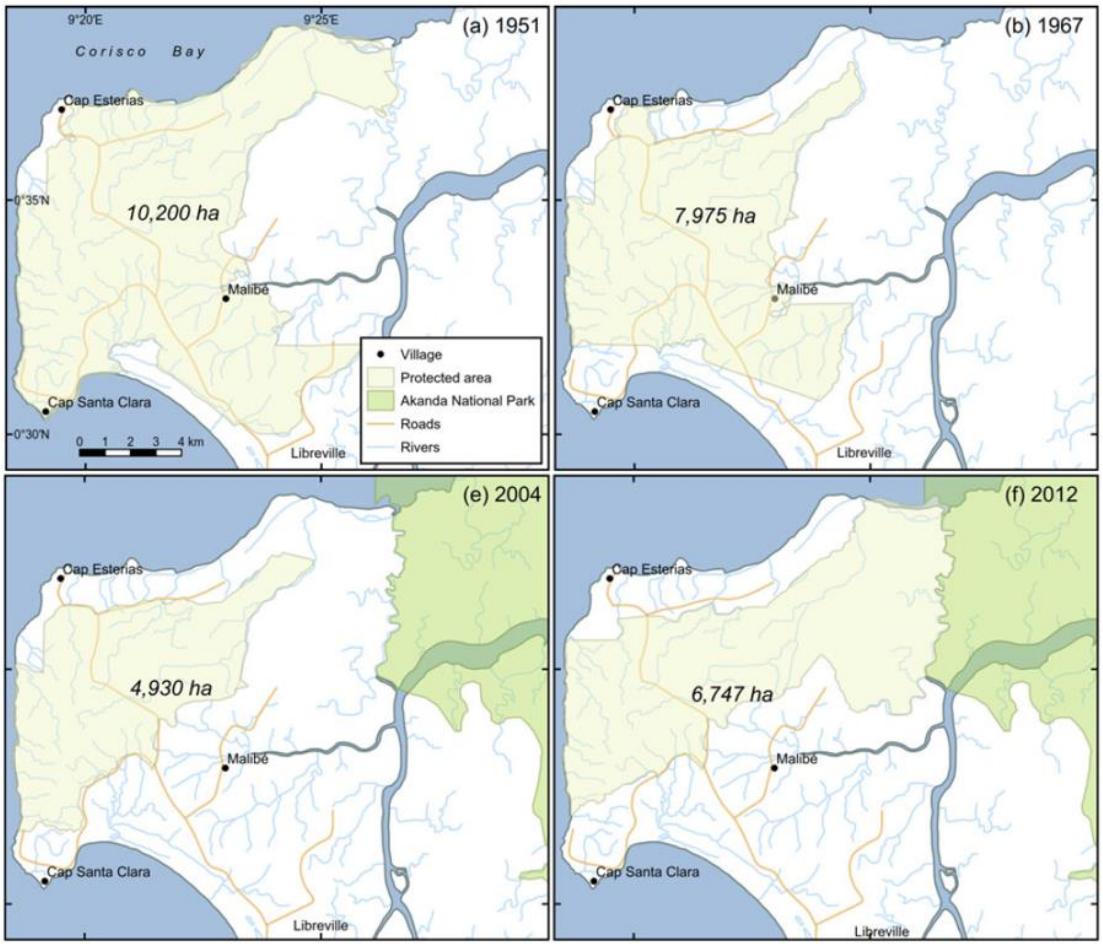


Figure 10 : Les limites de la Forêt classée de la Mondah de 1951 à 2012 Source : Walker et al., 2015.

Aujourd'hui, les espaces forestiers urbains sont fortement dégradés et en cours de disparition. Les forêts sont systématiquement remplacées par le bâti. Les îlots forestiers persistants sont généralement les forêts

marécageuses ou inondées. Petit à petit, la végétation naturelle fait place à une végétation anthropisée. L'omniprésence des espèces telles que les manguiers, les cocotiers, et surtout le palmier à huile sont des indices de « secondarisation » de la forêt liée aux activités humaines. En dehors des forêts préservées de l'arborétum, le parc National Akanda, situé au nord-est de Libreville, abrite aussi une importante surface de forêt de terme ferme (fig.11). Avec une superficie d'environ 540 km², le parc Akanda recèle une importante richesse faunistique et végétale. Il constitue un refuge pour les oiseaux migrateurs et un lieu privilégié pour la reproduction des espèces halieutiques.

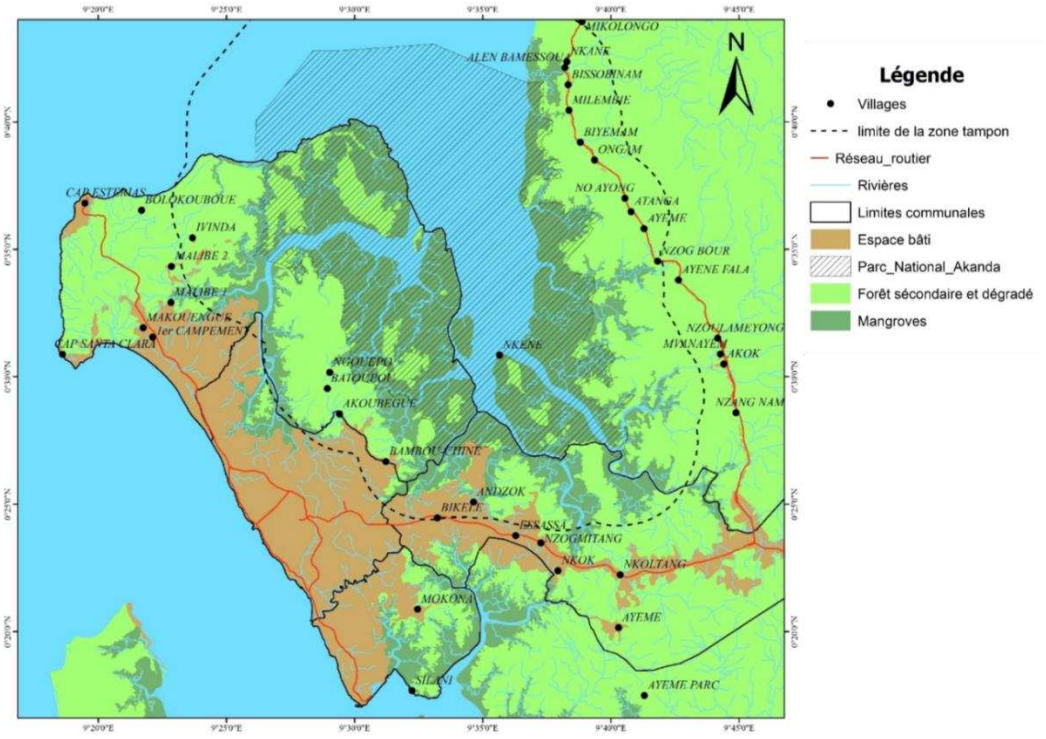


Figure 11 : Emprise du parc Akanda. Source : LAGRAC, 2015

Mais le parc Akanda est surtout dominé par une forte densité de mangrove (fig.11), caractérisé par une importante diversité spécifique. Ces limites bordent étroitement l'agglomération et il est soumis à des pressions liées aux activités humaines. Ces pressions sont si fortes que même les mangroves, pourtant des surfaces inondées, sont utilisées par les populations en manque de parcelle pour le bâti.

2.1.2.2. Les surfaces de mangrove

Les mangroves sont des formations forestières littorales marécageuses à palétuviers. On les retrouve principalement dans les pays tropicaux et elles se développent dans les zones abritées de balancement des marées, telles que les baies, les embouchures des grands fleuves, les estuaires. Les mangroves ont besoin de sédiments riches en minéraux et des eaux salines pour se développer. Le sol y est très meuble, composé de vase et asphyxique. Les arbres ont des caractéristiques particulières : des racines échasses ou des racines dites pneumatophores, sortant verticalement de la vase et destinées à aérer l'appareil souterrain. Les

formations de mangroves, avec la faune et la flore, constituent un des milieux naturels les plus curieux du monde. Ils jouent un rôle très important dans la lutte contre l'érosion côtière et les inondations. Elles fournissent également des services et ressources écosystémiques importants. C'est ainsi, un lieu de reproduction des espèces aquatiques. On trouve dans les mangroves des poissons et de nombreuses variétés de crabes. Dans de nombreux pays en développement, les communautés côtières dépendent des forêts de mangrove qui leur fournissent des possibilités économiques (pêche, aquaculture).

Selon la FAO, en 2005, la superficie mondiale des mangroves est en nette régression. Elles sont passées de 18,8 millions d'hectares en 1980 à 15,2 millions en 2005. Les principaux facteurs de dégradation et de destruction des mangroves identifiés dans cette étude sont : la pression démographique, les activités de pisciculture, l'élevage des crevettes, l'agriculture, les infrastructures, le tourisme, la pollution des eaux et les phénomènes naturels. À ce sujet, le continent africain n'est pas en reste. En 2005, par exemple, la dégradation des forêts de mangrove était estimée à plus de 510 000 hectares *(ibid*). Ainsi, les services et les biens offerts par les écosystèmes de mangrove du continent se détériorent, concomitamment avec la dégradation de ces forêts côtières. Cette situation a ainsi un effet sur les populations vivant des ressources de mangroves. Au Gabon, et dans le grand Libreville en particulier, les écosystèmes de mangrove couvrent une surface importante. Elle occupe majoritairement les parties nord-est, est et sud de la zone d'étude. La mangrove constitue la principale formation végétale des zones submersibles et leurs bordures. Dans la presqu'île de Libreville, les principales essences de mangroves sont les *Avicennia germinans, Laguncularia racemosa, Rhizophora harrisonii, Rhizophora mangle et Rhizophora racemosa* (fig.12).

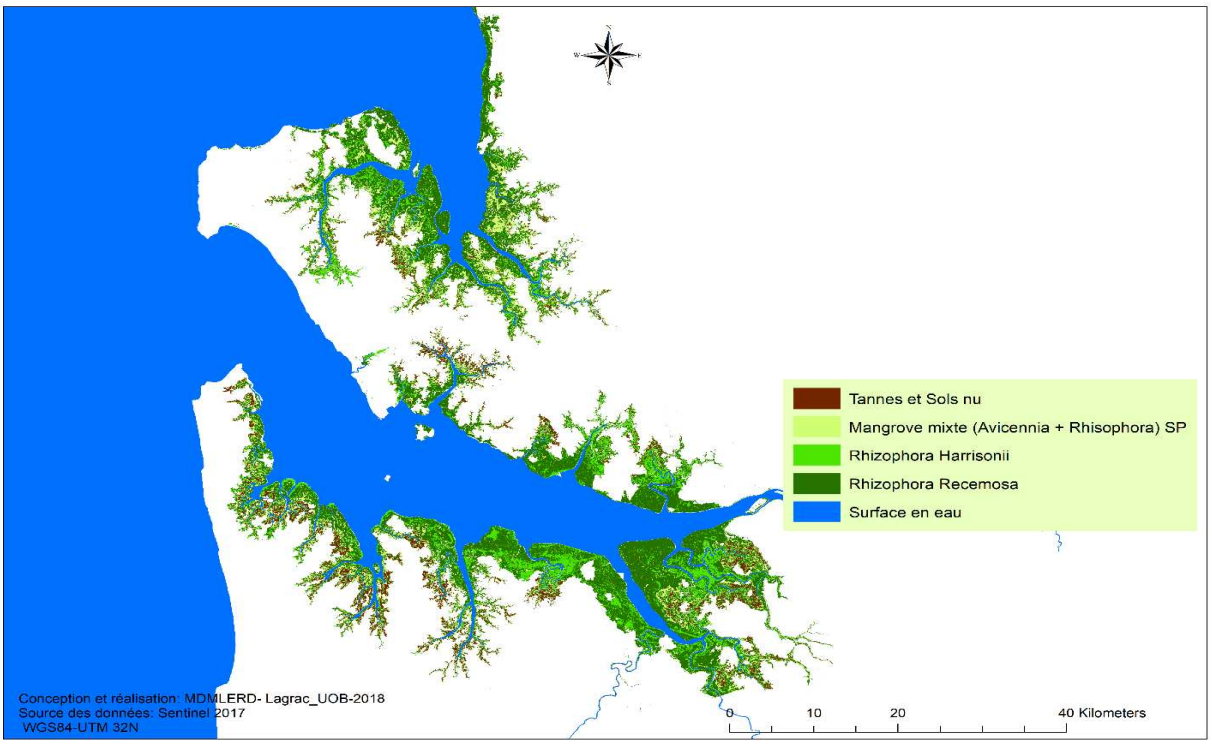


Figure 12 : Cartes des espèces de mangroves dans le grand Libreville ; source : projet MDMLER, 2018

Selon le *PNUE (2006)*, l'amplification de la croissance des populations côtières et les pressions provenant des activités humaines terrestres provoquent la perte des ressources vivantes et la destruction des habitats côtiers. Il s'agit cependant d'un milieu très fragile, qui a besoin de conditions particulières pour subsister. Les activités humaines peuvent le mettre très rapidement en danger. La mangrove de Libreville et ses environs a été étudiée en 2018 dans le cadre du projet « Modélisation de la dynamique de la mangrove de Libreville et ses environ et risques de dégradation » (MDMLERD) financé par OSFACO et l'IRD. Les résultats du projet MDMLERD ont mis en exergue les pressions en cours sur les écosystèmes de mangrove dans le grand Libreville. Cette étude a montré que la mangrove est utilisée par les populations riveraines pour de très nombreux usages. Les populations y pratiquent des activités comme le ramassage (crabes et huitres), l'extraction du bois de mangrove comme source d'énergie (bois de chauffe) et surtout la pêche.

2.2. Évolution démographique et urbanisation

Cette section présente succinctement deux éléments importants dans la presqu'île de Libreville. Elle revient tour à tour sur les dynamiques d'évolution de sa population et fait une description des conditions de développement de la ville de Libreville. Un lien de cause à effet est établi entre l'accroissement démographique et l'extension de l'aire urbaine de Libreville. Ces facteurs constituent une des clés pour comprendre et expliquer les dynamiques actuelles.

2.2.1. Croissance démographique

Comparativement aux autres pays de la sous-région et de l'Afrique en général, la population du Gabon est l'une des plus faibles. Le contexte démographique du Gabon est marqué par deux tendances contradictoires : la faible densité de la population sur le plan national et la saturation démographique de Libreville, sa capitale. En effet, depuis l'indépendance en 1960, le Gabon enregistre une très forte croissance démographique. Sa population est passée de 444 264 habitants en 1960 à 1 014 976 en 1993 (RGPH, 1993). Le recensement de la population du Gabon de 2003, non validé par les instances gouvernementales, estimait tout de même la population à environ 1 500 000 habitants. Le dernier recensement de 2013 estime la population totale du Gabon à 1 811 079 habitants (RGPL, 2013). Aujourd'hui, selon les données de la Banque Mondiale, elle est estimée en 2015 à plus de 2 100 000 habitants (fig.13). La courbe ci-dessous montre que le rythme d'accroissement de la population reste soutenu. Entre 1960 et 2015, la population a plus que triplé, elle s'est accrue de 78 % au cours des 20 dernières années (*ibid.*).

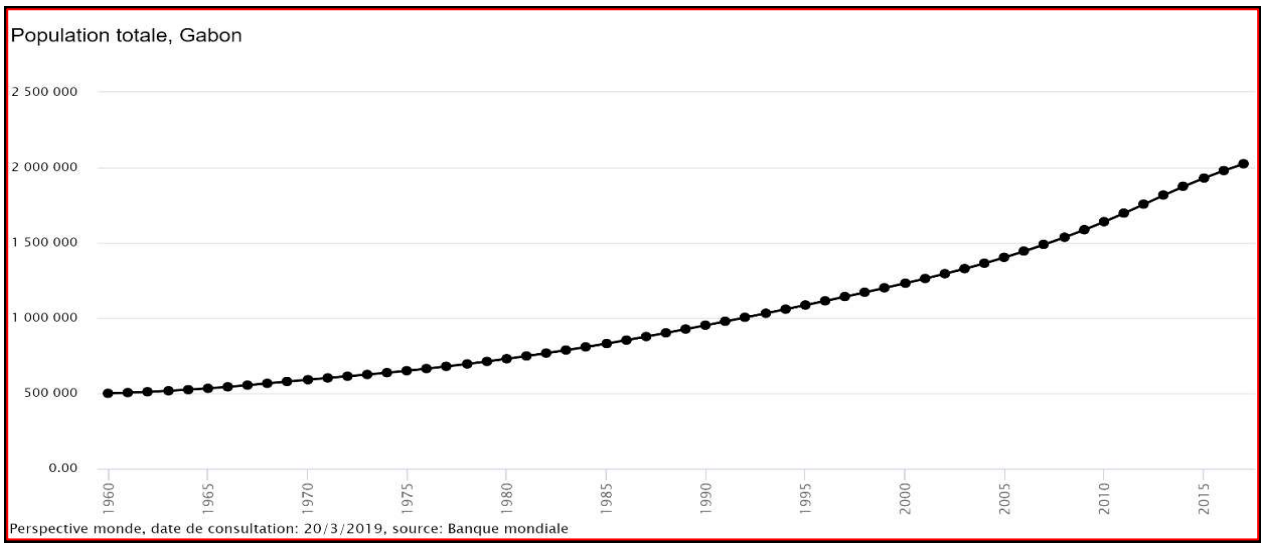


Figure 13 : Évolution de la population totale du Gabon entre 1960 et 2015 ; Source : Banque Mondiale 2017, Perspective monde

La population du Gabon est inégalement répartie. Elle se concentre majoritairement dans trois centres urbains que sont Libreville (capitale politique qui concentre l'ensemble des activités, des emplois et le bien-être, etc.), Port-Gentil (capitale économique, dont l'activité principale est l'exploitation du pétrole), et Franceville (ville spécialisée dans l'exploitation minière dont le manganèse et l'uranium). Une seule ville, Libreville, abrite près de la moitié de la population (fig.14).

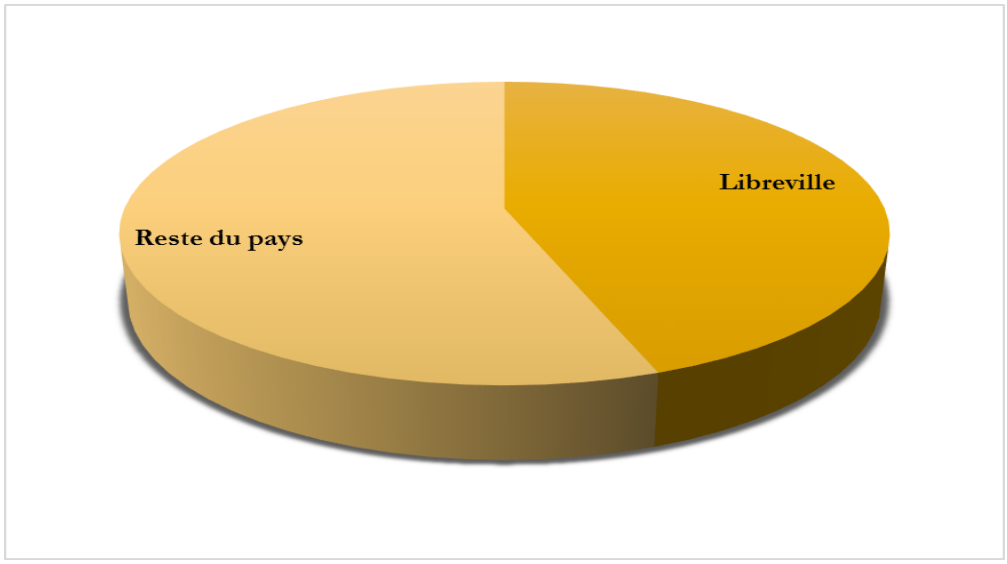


Figure 14 : Répartition de la population du Gabon en 2013. Source : données RGPL, 2013.

L'inégale répartition de la population concerne également l'écart entre population rurale et population urbaine. En effet, dans les années 1960, la population du Gabon vivait majoritairement en milieu rural. Les populations vivant dans ces milieux étaient estimées à environ 80 % contre 20 % d'urbains. Mais au cours des années 1970, avec le boom pétrolier, le pays va connaitre une croissance urbaine accélérée. Le taux d'urbanisation est passé de 13 % en 1960 à 73 % en 1993, soit un accroissement de 60 % en 33 ans (RGPH, 1993).

Aujourd'hui, une très grande partie de la population vit en milieu urbain. Contrairement aux années 1960, la population est essentiellement urbaine depuis 1993. On estime cette dernière à 87 % contre seulement 13 % de ruraux (fig.15).

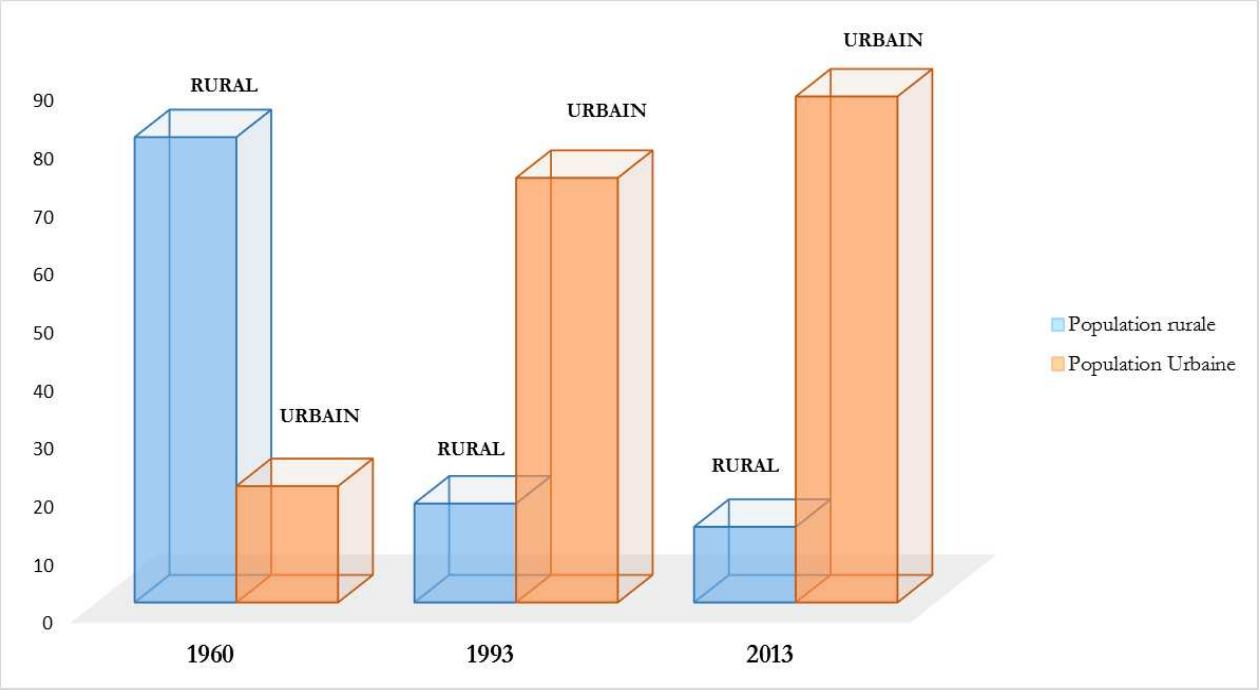


Figure 15 : Évolution de la population rurale et urbaine (en %) de 1960, 1993 et 2013. Source des données : RGPH, 1993 ; 2003 et RGPL, 2013.

Cette croissance urbaine a longtemps été impulsée par l'exode rural caractérisé par le déplacement des populations des centres ruraux vers Libreville, la capitale. Ce déplacement a conduit à une répartition inégale de la population sur le territoire national. Si au niveau national la densité de la population est faible, soit 6,8 habitants au km², elle reste cependant très forte à Libreville où elle dépasse 3 700 habitants au km² (RGPL, 2013). Le milieu rural se vide progressivement, le reste du territoire étant couvert par la forêt. Cette importante croissance démographique se fait beaucoup plus ressentir dans la province de l'Estuaire, qui abrite Libreville. La densité de sa population est passée de 3,0 habitants au km² en 1960 à 43 habitants au km² en 2013. La population de Libreville est en constante évolution. Elle est passée d'environ 70 000 habitants en 1970 à 420 000 en 1993 et un plus de 600 000 habitants en 2003. Depuis 2013, Libreville à elle seule, abrite plus de 800 000 habitants, soit 40 % de la population totale. Libreville est le lieu de toutes les concentrations : concentration des activités, concentration de la population, concentration des fonctions, des projets urbains, des aménités, etc. La zone rassemble de nombreuses activités économiques[5] et souffre donc d'importantes pressions. Sa localisation sur la côte de l'océan fait qu'elle soit l'objet de convoitise à l'instar des villes situées sur le littoral.

[5] La province de l'Estuaire rassemble 53,2 % de la population active du Gabon, dont l'essentiel dans l'agglomération de Libreville (RGPL, 2013).

2.2.2. Description des conditions de développement urbain de Libreville

2.2.1.1. Aperçu historique du développement urbain de Libreville

Libreville est fondée au cours du XIXe siècle par l'administration coloniale française. C'était au départ, une petite ville posée sur la rive de l'estuaire du Gabon (fig. 16). Jusqu'en 1960, elle était présentée comme la « ville blanche » autour de laquelle se regroupaient les quartiers africains dépourvus de tout équipement et au mode de vie rural. Les quartiers dits « africains » avaient un caractère rural. Les habitations (cases) étaient confondues dans la verdure. Ils n'étaient accessibles que par des pistes et surtout mal connectés à la ville moderne (blanche), Lassere (1958). La ville blanche, quant à elle, disposait des équipements modernes, notamment les routes, les infrastructures. Cette dualité entre la ville blanche et la ville noire va perdurer jusqu'à la veille de l'indépendance en 1960. En effet, l'accès du Gabon à la souveraineté internationale en 1960 est un tournant majeur dans le développement de Libreville. Au cours des années 1970 et 1980, la ville connait des mutations spectaculaires grâce au soudain enrichissement de l'État. L'important flux des capitaux favorisés par le boom pétrolier de 1970-1974 permettra la réalisation des grands travaux (nouveau palais présidentiel, divers ministères, la cité du 12 mars, infrastructures routières, l'hôtel de ville, etc.) modifiant profondément l'organisation de l'espace (Allogho, 2006).

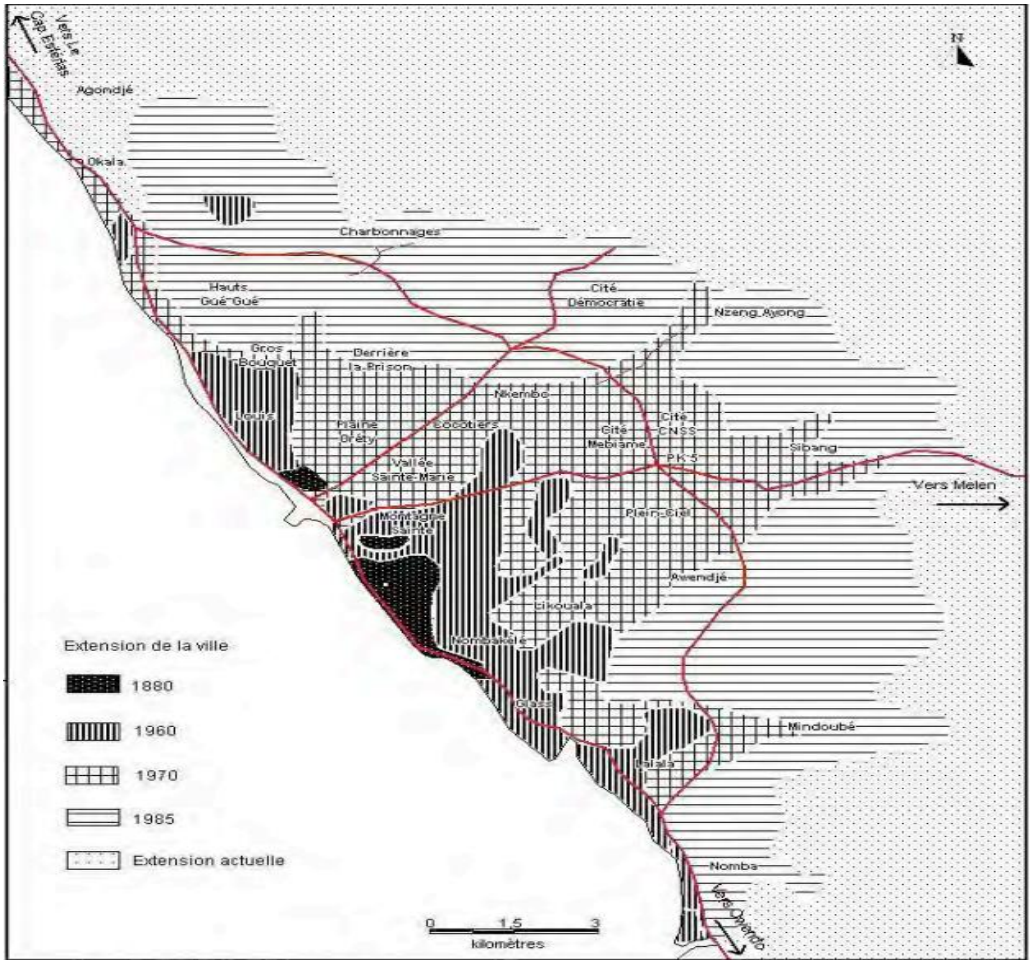


Figure 16 : Les étapes de la croissance spatiale de Libreville de 1880 à 1985. (R. Walter). Source : ALLOGHO, 2006

En fonctions des choix politiques, trois grands pôles de développement (provinces) ont été constitués à savoir : l'Estuaire qui abrite la capitale politique, le Haut-Ogooué, spécialisé dans l'exploitation minière (manganèse, l'uranium) et l'Ogooué-Maritime qui abrite la capitale économique et spécialisé dans l'exploitation pétrolière. Ces choix politiques ont donc été motivés par le potentiel de ces territoires. Les efforts de développement ont été privilégiés dans ces trois provinces, notamment en termes d'infrastructures, d'équipements et, surtout, d'emplois (Okanga, 2003). La concentration des emplois dans ces trois pôles a été un facteur d'attraction des populations des espaces ruraux vers les centres urbains, notamment le triangle Francevile-Moanda-Mounana, Port-Gentil et Libreville. À partir des années 1970, avec le boom pétrolier au Gabon, ces territoires vont enregistrer un flux migratoire important. Ce dernier sera plus important à Libreville, la capitale du pays, centre administratif, lieu d'implantation des sièges sociaux des entreprises. Elle abrite les meilleures écoles, la seule université, les hôpitaux et surtout les opportunités d'emploi de tous genres. Ces éléments marquent le début de l'exode rural au Gabon. Cet exode a été constant et aussi alimenté par l'exode international, parce qu'à cette époque, le Gabon constituait une sorte d'eldorado sur le plan économique (Allogho, 2016 ; Nguéma, 2004 ; Djeki, 2003). Mais de l'autre côté, suite à ce mouvement des populations vers Libreville, l'État n'a pas prévu des structures suffisantes pour accueillir ce flux constant de personnes. Le déficit en logement pour accueillir les populations issues de l'exode rural et de la migration internationale a créé le désordre urbain que l'on observe aujourd'hui avec le développement des quartiers précaires sous-équipés.

Au départ, les populations qui arrivaient des zones rurales du pays ou de l'étranger étaient systématiquement accueillies par leur famille (proche, éloignée ou connaissances), qui leur hébergeaient ou leur cédaient parfois une parcelle à proximité. Mais avec l'accroissement naturel de la population, l'exode rural et la migration internationale, Libreville va très vite être saturée. La raréfaction des terrains constructibles va en plus entrainer une spéculation foncière. Ces populations qui arrivent généralement en recherche d'emploi sont dans l'incapacité de pouvoir s'offrir une parcelle dans le centre-ville, qui déjà ne dispose plus d'assez d'espace. Cette situation va alors créer deux comportements (Nguéma, 2004 ; 2014). D'abord, les populations vont occuper les zones à risque et *non aedificandi* notamment, les espaces marécageux, les bassins versants, les lits de rivières, les zones à pentes très fortes, ou s'installer au niveau des emprises des activités industrielles et sous les lignes de haute tension. Cette phase nous montre globalement les conditions de développement urbain de Libreville et comment l'espace a été occupé.

2.2.1.2. Un dualisme urbain et une densité urbaine inégalement répartie

Dans un article publié en 2021, Beka Beka et Engo Assoumou parlent d'une croissance mal gérée, génératrice d'une dualité urbaine. Ce dualisme a contribué à créer une ville à deux visages, aux densités variables. D'une part, l'espace urbain généré par les projets d'aménagements gouvernementaux et d'autre part, la ville produite par les auto-constructions (phénomène d'urbanisation spontanée). Au niveau de la

presqu'île de Libreville, le déséquilibre est caractérisé par un processus inégalitaire dans l'aménagement et la répartition des infrastructures de bases. On se rend compte qu'il y a des espaces plus intégrés que d'autres. Les quartiers intégrés (espace urbain généré par les projets gouvernementaux) représentent environ 20 % de l'espace tandis que les quartiers sous-intégrés (généré par auto-construction) représentent 80 % de ce territoire. Dans la pratique, il est assez difficile de délimiter avec exactitude les zones intégrées des quartiers sous intégrés. En effet, il existe une cohabitation entre le « spontané » et « l'aménagé » à Libreville. Même à l'intérieur des espaces que nous définissons comme « aménagés », il existe des quartiers mal structurés issus des logiques spontanées.

Pour ce faire, nous avons procédé à un zonage, tout en prenant en compte un certain nombre d'éléments tels que les équipements et infrastructures (routes, hôpitaux, écoles, lycées, universités, administrations publiques, l'eau, l'électricité), l'accessibilité, la cohérence ou l'organisation spatiale. La façade littorale est celle qui répond majoritairement à ces critères et correspond à l'espace où un certain nombre d'efforts ont été consentis. Ces quartiers sont principalement constitués de l'héritage de la ville coloniale. C'est la matrice de la production urbaine et de la ville et, qui couvrent environ 65 km². Ces quartiers concentrent aujourd'hui la majeure partie des activités du tertiaire.

En outre, le désordre urbain ou l'absence de cohérence spatiale, l'inaccessibilité, le manque d'équipement ou d'assainissement est ce qui caractérise les quartiers *d'initiatives populaires*. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du plateau central et de la côte, le déséquilibre entre espaces planifiés et sous-intégrés s'amplifie *(*Beka Beka et Engo Assoumou, 2021). Ces quartiers, créés par les populations elles-mêmes (auto-constructions), s'étendent sur environ 381 km² des terres constructibles de la presqu'île de Libreville. Ces statistiques indiquent qu'environ 80 % de l'espace urbain s'est développé de manière spontanée et libre. Les quartiers sont majoritairement issus des logiques individuelles, non pensées, et dans lesquelles aucune norme urbanistique n'a été appliquée. Les zones les plus densément peuplées sont celles qui sont les moins équipées et structurées. Le nombre d'habitants au kilomètre carré y est très élevé. Ces quartiers souffrent d'un manque d'encadrement par les pouvoirs publics. L'occupation spontanée et l'inapplication des politiques de gestion urbaine ont engendré des quartiers précaires caractérisés par des habitations très denses et à l'agencement spatial irrationnel. La distance entre les habitations (maisons plein pied) est parfois inférieure à 2 m. L'organisation de ces quartiers où les habitants ne bénéficient d'aucune forme d'assainissement, voire même des services de l'État, est surtout une réponse à la nécessité de trouver des politiques d'aménagement urbain viables. La forme d'aménagement des espaces viables la plus récurrente proposée par les pouvoirs publics à l'intérieur des terres est matérialisée par la construction des cités (logements sociaux). Ce sont les seuls espaces ou l'organisation spatiale est assez cohérente et structurée (fig.17). Libreville en compte plusieurs initiatives.



Figure 17 : Exemple d'organisation spatiale des projets d'aménagements gouvernementaux. Logements sociaux de la zone Bambouchine — Bikélé. Source : Google Earth, 2020

Mais certaines de ces cités sont construites à l'intérieur des quartiers spontanés et très peu équipés (fig.18). Parallèlement, la construction d'une cité attire spontanément les populations autour du site, ce qui amplifie le contraste *aménagé-spontané* et crée une configuration spatiale anarchique. Le laissez-faire s'impose, les habitants occupent tout espace supposé être libre.



Figure 18 : Exemple de cohabitation du spontané et aménagé au sud de Libreville. Source : Google Earth, 2020

2.2.1.3. La périurbanisation, un phénomène qui s'amplifie

Libreville exerce une attraction sur tout le pays dans plusieurs domaines. Cette attraction attire les populations et crée un étirement permanent de la ville. Face à la saturation du centre-ville, les populations vont naturellement se déporter vers les zones périphériques et en construisant y compris dans ses zones à risque. Dans la presqu'île de Libreville, on enregistre une aggravation de ces deux phénomènes (occupation des zones à risque et installation en zone périphérique). La ville s'étend, entrainant ainsi la création de nouvelles entités administratives. Si au départ, l'exode rural était le principal phénomène qui a entrainé l'augmentation de la population et l'extension spatiale de Libreville, aujourd'hui, il joue un rôle très faible. L'exode rural est remplacé par ce que nous appelons *l'exode interurbain unidirectionnel* vers Libreville. Il caractérise le déplacement des populations d'une zone urbaine vers une autre. La population vivant à 80 % en milieu urbain, le flux le plus important est désormais le déplacement des populations des petites villes de l'intérieur du pays principalement vers Libreville.

Aujourd'hui, nous sommes à une phase d'accentuation et d'accélération de ce phénomène qui avaient déjà cours au début des années 1970. Il y a plus de réserves foncières, mais la population ne cesse d'augmenter. L'État ne parvient toujours pas à maitriser les tendances que l'on observe depuis plus de deux décennies. Cela a favorisé la macrocéphalie de Libreville (Okanga, 2013), mais également un déséquilibre au niveau national sur le plan de l'aménagement du territoire, car tous les efforts en termes d'investissement et d'aménagement se concentrent d'abord sur Libreville. Le processus d'extension de l'aire urbaine de la presqu'île de Libreville suit son cours depuis le début des années 1990 et s'amplifie au fil des années. Autour du centre urbain traditionnel, se développent d'autres espaces urbains aux dépens des espaces ruraux et forestiers. Ce phénomène qui s'amplifie est lié à un étalement du bâti très important.

L'étalement prononcé du bâti est aussi dû au type d'habitation préféré et souhaité des populations, plus consommateur d'espace : la maison unifamiliale plein pied. Les logements collectifs à étages sont moins répandus et sont souvent utilisés à défaut (indisponibilité de logement, moyen financier ou bien situation temporaire, etc.). De plus récemment, le grand terrain est plus prisé que le petit, donnant naissance à de très grands domaines immobiliers privés. Les espaces d'activités liés principalement à l'agriculture traditionnelle et vivrière, les campements et les anciens villages, autrefois éloignés du centre-ville, sont rattrapés par le cadre bâti et la ville. Cette progression du cadre bâti se fait en direction des zones nord (Akanda), sud (Owendo), Est (Bambouchine, Bikélé, Ntoum). Ces trajectoires d'évolution de la ville sont dictées par les populations. En effet, l'occupation des terres étant dominée par les pratiques individuelles et par l'occupation spontanée (souvent anarchique), c'est donc les populations qui orientent les espaces d'extension de la ville. Puisque les populations précèdent l'État, c'est elles qui dans la plupart des cas décident de l'emplacement des routes, créent les marchés, créent et aménagent de façon précaire le circuit

d'adduction d'eau ou installent les poteaux électriques (fig.19). Ces quartiers sont caractérisés par une organisation spatiale incohérente (distribution désordonnée du bâti). La logique spatiale correspond à la manière dont les populations se représentent l'espace et comment ils l'organisent. Globalement, l'occupation anarchique et irrationnelle de l'espace urbain crée des insuffisances et une incohérence spatiale à Libreville et sa périphérie (voir fig.20). Ce désordre spatial peut se justifier par la raréfaction des ressources foncières combinée au coût trop élevé des parcelles. Dans ces conditions, le moindre espace disponible quelle qu'en soit la nature (terrain inondable, à très forte pente, etc.) est utilisé par les populations (souvent pauvre) en manque d'espace.



Figure 19 : Installation précaire des câbles électriques et des tuyaux d'eau par les populations dans la zone de Rougier (Owendo) au sud de Libreville



Figure 20 : Exemple d'organisation spatiale des quartiers spontanés d'initiative populaire

En outre, ces faits témoignent du degré de liberté en matière d'usage et d'occupation des sols dans la presqu'île. Ce degré de liberté est sans doute à l'origine des dégradations et de maux territoriaux observés dans les territoires périurbains. Les conditions qui prévalent à cette situation sont présentées dans la section suivante à travers l'analyse de la gestion foncière.

2.3. Gouvernance territoriale et activités socioéconomiques

En matière de gouvernance territoriale, d'urbanisme, de gestion foncière ou de protection de l'environnement, le Gabon dispose d'une panoplie de règles, de politiques sectorielles et générales souvent bien détaillée. Mais le dysfonctionnement ou le problème ici, n'est pas l'absence de règles ni de politiques, mais plutôt leur application par manque de moyen de mise en œuvre. À titre d'exemple, Libreville dispose des schémas directeurs d'aménagement urbain (SDAU) qui, soit, n'ont jamais été appliqués, soit n'ont jamais été adoptés. La non-application des règles, de plan ou de stratégie est très souvent justifiée par le manque de moyen financier (Beka Beka et Engo Assoumou, 2021, Okanga, 2007 ; Djeki, 2003). Ce facteur a d'ailleurs été identifié par une partie des personnes interrogées (voir chapitre 6) comme une des inerties qui ont influencé le territoire au cours des 30 dernières années.

Mais dans cette section, il ne s'agit pas de faire une analyse ou de présenter les modes de gouvernance territoriale (du central au local) ou la structure du tissu économique du Gabon. Nous faisons le choix de n'aborder en priorité que les éléments qui ont un lien direct avec notre problématique et qui peuvent nous aider à comprendre et à justifier les dynamiques territoriales dans les zones périphériques de la presqu'île de Libreville. Ainsi, notre choix est orienté vers les signaux faibles de la gouvernance et l'usage des terres. Parmi les différents facteurs qui peuvent exister, seule la gestion foncière et les activités socioéconomiques (pratiques par les populations locales) ont retenu notre attention. On induit dans le raisonnement que ces facteurs et leurs composantes ont un pouvoir explicatif des changements importants. Ce choix nous permet aussi d'assurer une corrélation avec certaines de nos hypothèses. Ainsi, nous ne présenterons ici qu'un des aspects de la gouvernance territoriale (la gestion foncière) et une sélection d'activités socioéconomiques.

2.3.1. Une gestion foncière opaque, dominée par les pratiques individuelles

Au Gabon en général, et le grand Libreville en particulier est marquée par grave crise de la gestion foncière. La question du foncier au Gabon a fait l'objet de plusieurs études **(**Nguéma, 2004 ; 2014 ; Allogho, 2006 ; Djéki, 2003 ; Pourtier, 1980 ;). Globalement, les résultats de ces études mettent en évidence une politique de gestion foncière opaque et surtout dominée par les pratiques individuelles (Djeki, 2003). Cette situation parait paradoxale et incompréhensible au regard de la loi en matière de gestion foncière au Gabon. En

effet, au Gabon, l'occupation ou l'utilisation des terres est encadrée par la loi. La législation en matière de gestion foncière stipule que la terre appartient à l'État. Et c'est lui qui a le pouvoir de céder ou pas une partie de son domaine privé (du territoire) à toute personne physique ou morale. L'accès à la terre est donc encadré en République gabonaise. Pour utiliser le sol, il faut avoir une autorisation. Mais, dans la pratique ou dans les faits, les logiques individuelles dominent sur la loi, et l'État ne parvient toujours pas à maitriser les dynamiques foncières en cours.

Pour comprendre cette situation, il faut se référer à l'histoire. En effet, le dysfonctionnement est avant tout lié à l'histoire coloniale et postcoloniale. La gestion ou l'occupation des terres a toujours été assurée par des règles traditionnelles. La terre appartenait à la communauté autochtone qui l'occupait et y exerçait des activités. Le foncier était donc géré par le droit coutumier dont le chef coutumier ou tribal était le garant. Ainsi, la terre était pour les populations autochtones une propriété exclusive du groupe, du clan ou de la famille (Nguéma, 2004). Le droit foncier traditionnel reconnaissait les notions de terrain ancestral, de premier occupant, que les populations brandissent encore aujourd'hui pour s'approprier des terres. Les populations autochtones considèrent que c'est un droit inaliénable, un héritage familial qui se transmet de génération en génération. Ce système traditionnel d'accès au foncier est une logique qui dure depuis avant la colonisation. Il est donc ancré dans les habitudes, les pratiques, les perceptions, les coutumes et les visions des populations locales en matière d'accès à la terre.

Mais avant l'Indépendance, la ville étant organisée et administrée par le colon français, ce dernier va introduire des règles de gestion du foncier totalement en déphasage avec logiques des populations autochtones. Désormais, la terre appartient à l'état colonial qui considérait que le Gabon était une terre sans propriétaire et dont l'État français pouvait gratuitement et « légalement » prendre possession et l'attribuait aux entreprises qu'ils souhaitent (Nguéma, 2014). Installée à Libreville, c'est donc sur ce territoire que l'administration coloniale avait premièrement appliqué son droit foncier moderne. À la fin de l'ère coloniale, le nouvel État indépendant a logiquement perpétué et appliqué le droit foncier colonial, se faisant aussi propriétaire exclusif des terres nonobstant l'antériorité des logiques et pratiques des populations locales. Désormais, la nouvelle loi stipule que la terre appartient à l'État. Le législateur gabonais a introduit dans l'ordonnancement juridique national l'esprit de l'Acte Torrens du 2 juillet 1858 qui consacre le rôle de l'État comme propriétaire ou gestionnaire exclusif des terres. Cette disposition suppose qu'il n'existe plus de droit coutumier. Le droit moderne ne reconnait pas de propriétaire terrien ancestral, ni tribal, ni les premiers occupants. Ces dispositions ont été abrogées et supplantées par le droit moderne caractérisé par un ensemble de lois, indiquant, d'une part, la composition du domaine public et privé de l'État et, d'autre part, les règles de gestion et d'attribution des parcelles (le régime de propriété foncière). Ces dispositions ont engendré des conflits dans l'occupation des terres qui persistent jusqu'à ce jour. Ces conflits se caractérisent par une opposition entre le droit foncier traditionnel et le droit foncier moderne émanant de la législation coloniale. À ce sujet, Nguéma (2005) explique qu'à Libreville, les pratiques

foncières sont placées sous le signe de l'entre-deux ; entre tradition et modernité, entre loi et coutume, entre propriété et usufruit[6].

Les problèmes dans le foncier au Gabon se posent principalement en milieu urbain et fortement anthropisé. C'est le cas de la presqu'île de Libreville qui est, rappelons-le, un territoire très convoité et sous pressions anthropiques, où les populations se sont massivement installées au mépris des dispositions légales en matière d'accès à la propriété foncière. Toutes les terres sont occupées, mais la majorité des occupants ne dispose pas de permis d'occuper, encore moins de titres fonciers. Disposition légale et pratique coutumière se côtoient et déterminent un marché foncier reposant davantage sur une dynamique du laissez-faire (Djéki, 2003). La production foncière ou l'accès à la terre est assuré par des individus, qui la vendent aux plus offrants. Les prix de vente des parcelles sont négociables et fixés par les propriétaires terriens qui ne disposent d'aucun document légal, mais prétendent que ces terres sont soit des terrains ancestraux, ou qu'ils sont les premiers occupants. Il s'agit là, des espaces qui sont occupés depuis des décennies par certaines populations autochtones et dont les chefs coutumiers ou tribaux peuvent vendre. Ces pratiques ont créé des conditions particulières de la spéculation foncière avec un enjeu financier très important (les terrains sont vendus à coup de millions de francs) et un marché foncier très libéral. Ainsi, l'étalement urbain rapide, incontrôlé et désordonné que l'on observe à Libreville et ses périphéries est le corolaire d'une spéculation foncière non maitrisée par les pouvoirs publics et surtout issu des dynamiques du laissez-faire. Cette situation de désordre est avant tout attribuable à la lourdeur des procédures administratives d'acquisition foncière. Avant la création de l'ANUTTC, pour acquérir un titre foncier, il fallait une bagatelle de 130 signatures, donc 130 étapes administratives. Cette procédure était tellement longue et pouvait durer plusieurs décennies. La majorité des personnes qui se sont prêtées à cet exercice avoue ne pas être allée au bout à cause de la durée de la procédure et la multiplication des centres de décisions. La lourdeur des procédures légales d'acquisition a donc été un facteur de découragement des populations qui souhaitaient avoir une parcelle en bonne et due forme.

Un autre facteur tout aussi incompréhensible est que l'État propriétaire des terres n'en dispose que de très peu et peut fournir aux populations qui en font la demande des parcelles. Pire encore, même pour ses propres projets, il ne dispose pas de terre et procède souvent au déguerpissement, en indemnisant des populations qui occupent les terres. L'installation des populations précède toujours les projets de l'État. On peut donc conclure que le cadastre ne remplissait pas correctement son rôle et que les pratiques individuelles des populations ont réussi à contourner cette institution. Aussi, la couverture cadastrale n'a pas suivi l'extension de la ville et de ses périphéries. Cette situation peut s'expliquer par le fait que l'installation des populations précède toujours la couverture cadastrale et la loi. En d'autres termes, les

---

6 *Jouissance légale d'un bien dont on n'a pas la propriété.*

populations occupaient déjà les terres et y exerçaient des activités, ensuite est intervenue la loi. Si la loi permet le déguerpissement des populations en situation illicite, il parait très difficile d'appliquer cette loi qui nécessite d'énormes moyens financiers surtout lorsqu'il s'agit de déguerpir des milliers de personnes parfois dans des conditions de vie précaires ou des constructions de toutes sortes. Cette incapacité des pouvoirs publics à mettre en place des mécanismes qui leur permettent de s'approprier ses propres terres a favorisé le développement des solutions individuelles, illégales, qui prennent le pas sur toutes autres considérations. En l'absence d'un marché foncier officiel, se développe un marché foncier informel entièrement contrôlé par ses acteurs (particuliers, démarcheurs, etc.). Les rares actions de l'État se caractérisent par des projets immobiliers qui reposent sur des conditions financières hors de portée des populations réduites au strict minimum vital. Face à ces conditions drastiques, les populations ont développé leurs propres stratégies d'accès à la terre, parmi lesquelles l'occupation des espaces vacants, des espaces abandonnés, des zones inondables et des zones sensibles, des espaces périphériques, souvent très éloignées du centre-ville, etc.

Précisons que le domaine national est divisé en deux grandes parties à savoir (i) le domaine privé de l'État, qui représente l'ensemble des terres constructibles et de ce fait, cessible suivant une procédure et (ii) le domaine public de l'État, qui est un bien commun et ne peut être cédé définitivement. Il s'agit des espaces tels que les routes, rivières, fleuves, lagunes, jardins publics, les zones de protections, etc. Mais avec l'augmentation de la population à Libreville et surtout en l'absence de terre constructible disponible, les populations en détresse et en manque d'espaces et de terrain viabilisé ont occupé ces zones non propices à la construction des habitations. Il s'agit des zones inondables, les lits de rivières, les zones à pente très forte et soumise au risque d'éboulement ou de glissement de terrain, les zones sensibles telles que les surfaces de mangroves et même les zones sous protection comme les parcs.

À partir de tous les éléments évoqués dans cette partie, on peut établir un lien direct entre le dysfonctionnement dans la procédure d'accès au foncier et l'anarchie urbaine, ou le désordre urbain à Libreville et ses espaces périphériques. Le désordre spatial qui en découle est le résultat d'un manque d'encadrement et d'orientation de ce secteur par les pouvoirs publics. Les populations occupent les parcelles non viabilisées et sans aucune forme d'assainissement et par conséquent non sécurisée. En l'absence d'un plan cadastral, la forme urbaine est produite par les logiques d'occupation spontanée des terres par les populations. Ce sont donc les populations qui font la ville. Dans certains cas, ils décident même où devront passer les routes ou créent des marchés. Face à cette situation déplorable et plus de 50 ans après l'indépendance, les pouvoirs publics ont décidé de réorganiser l'administration foncière en organisant le forum national sur le foncier au Gabon. L'objectif de cette rencontre était de réfléchir entre autres sur l'allègement des procédures d'acquisition des parcelles très longues et complexes. Une des recommandations fortes issues du forum était la création d'un organisme, une sorte de guichet unique administratif qui constituerait la porte d'entrée et de sortie pour toutes les demandes de parcelles. Le but

était de centraliser toutes les procédures en un seul lieu, car dans l'ancienne procédure, il fallait parcourir plusieurs administrations (urbanisme, cadastre, domaine et tribunal) pour réunir les 130 signatures nécessaires pour l'obtention du titre foncier. C'est ainsi qu'a été créé en 2011, l'Agence Nationale de l'Urbanisme des Travaux Topographique et du Cadastre (ANUTTC) qui devait regrouper en son sein toutes les compétences en matière foncière. Trois missions fondamentales ont été confiées l'ANUTTC.

2.3.1.1. La régularisation foncière

La régulation foncière est une mission qui devait permettre de retrouver la maitrise foncière qui jusque-là échappe totalement à l'administration. En d'autres termes, cette mission a pour objectif d'identifier, d'immatriculer et de régulariser les occupants illégaux. Dans les détails, la régulation concernait au départ, ceux qui ont construit sur les terrains qui respectent les normes, mais ne disposent pas de titre d'occupation. Par ailleurs, ceux qui avaient occupé le domaine public de l'État et les terrains qui ne respectent pas les normes devaient être déguerpis. Mais dans les faits, les pouvoirs politiques ont décidé de la régularisation de tous les occupants illégaux. Parlant de cette mission au cours de nos entretiens, le DGA 2 de l'Agence nous l'explique en ces termes : « *La régularisation foncière pour moi est une mission qui ne devait pas exister, car, en principe, en matière d'urbanisme, c'est l'État qui précède les populations avec l'élaboration et la mise en œuvre des schémas et des plans. Cette mission était circonscrite dans le temps : on immatricule ceux qui ont construit dans les normes et l'administration voit comment gérer ceux qui ne le sont pas. Dans le souci de préserver la paix sociale, l'ex-chef d'État avait décidé de ne pas déguerpir les occupants illégaux. Et même ceux qui par des besoins d'utilité publique devaient être déguerpis avaient été indemnisés. L'État avait subtilement reconnu ses torts* ».
Au regard de ce qui précède, on se rend compte que cette mission n'a aucun effet correctif et ne permet que l'immatriculation des parcelles des occupants illégaux. Si les populations s'installent dans les espaces à risque et de manière spontanée et illégale, cela veut dire que l'État n'a pas prévu suffisamment de parcelles pour mettre à la disposition des populations. En matière d'urbanisme, l'État doit précéder les populations. Mais dans le grand Libreville, cela n'est pas le cas, car les populations sont les premières à occuper les espaces. Les schémas et plans d'urbanisation sont élaborés sur des territoires déjà occupés par les populations.

2.3.1.2. La viabilisation des parcelles

La viabilisation des parcelles est la mission fondamentale de l'ANUTTC. Sous la tutelle du Ministère en charge de l'Habitat, l'Agence joue donc un rôle d'exécutant des politiques de la tutelle en matière d'habitat et d'urbanisme. Il s'agit ici de l'aménagement des terrains à bâtir, avec toutes les commodités possibles, et les équipements de base (eau, électricité, etc.). Cette mission a pour base les orientations des schémas

d'aménagement (SDAU) et, plus spécifiquement, le Plan d'occupation des sols (POS), plus détaillé et opposable aux tiers. Ainsi, si le SDAU donne de grandes orientations, le POS lui vient préciser de manière spécifique et approfondie, où construire et comment construire. Mais ces documents de bases sont soit inexistants soit sont inopérants. En effet, un SDAU de Libreville avait été réalisé en 2010 par le gouvernement. Mais malheureusement, ce document n'a été approuvé et validé qu'en 2016, soit six ans après sa réalisation. Or les dynamiques sont très rapides au niveau du grand Libreville, ce qui rend aujourd'hui le SDAU Libreville dépassé. Les études qui avaient été faites 6 ans avant ne sont plus valables. Les projections qui avaient été faites ne peuvent plus être les mêmes, car les réalités territoriales ont changé. En outre, la ville ne dispose toujours pas d'un plan d'occupation des sols (bien qu'un appel d'offres a été lancé en 2020). Dans ces conditions, la réalisation de cette mission (viabilisation des parcelles) s'avère impossible et depuis l'ouverture de l'agence, elle n'a jamais été réalisée faute de moyen et de document d'appuis.

2.3.1.3. La lutte contre les constructions illégales et irrégulières (l'occupation anarchique des sols)

C'est une mission de répression des occupants illégaux à savoir ceux qui construisent de façon spontanée et sans aucun document administratif, dont le permis de construire. Il s'agit aussi de ceux qui occupent et construisent dans le domaine public ou dans les espaces *non aedificandi* comme les zones marécageuses, les zones de mangrove, les zones de pentes fortes, les lits de rivières, etc. Pour lutter contre ces constructions illégales, l'ANUTTC dispose d'une brigade spéciale de l'urbanisme, une sorte de police urbanistique qui contrôle entre autres tout ce qui est déclaré d'utilité publique. Mais cette brigade rencontre d'énormes difficultés, car elle ne dispose pas d'assez de moyens pour remplir ses missions. Elle fait face à un manque criant de moyens financiers et matériels. À titre d'exemple, pour couvrir tout le grand Libreville, la brigade ne dispose que deux véhicules pour les déplacements sur le terrain.

À ce jour, l'Agence Nationale d'Urbanisme des Travaux Topographiques et du Cadastre ne réalise que les missions 1 et 2. Huit (8) ans après la création de l'agence qui avait pour but de corriger les dysfonctionnements dans la gestion foncière, elle ne parvient pas à atteindre ses objectifs et les mêmes problèmes persistent. L'agence ne parvient pas toujours à mettre à la disposition des populations des parcelles viabilisées et l'État ne dispose pas de réserve foncière. Pour disposer d'une parcelle, les populations ne se réfèrent pas d'abord à l'agence, mais plutôt aux individus, les propriétaires de terrains ancestraux, aux chefs de quartiers, aux notables, aux démarcheurs. Une fois le terrain acquis et mis en valeur ou construit, les populations se tournent vers l'agence pour effectuer les procédures de régularisation de leurs parcelles. Autrement dit, l'agence procède toujours à des opérations de régularisation et d'immatriculation des occupants illégaux, anarchiques et spontanés.

2.3.2. Les activités socioéconomiques

Précisions qu'il ne s'agit pas d'analyser l'ensemble du tissu économique ou des emplois de la zone d'étude. Les activités ou le travail de ville (fonctionnaire, commerce, agent du privé, etc.) ne sont pas pris en compte de manière explicite. Cette analyse est volontairement orientée vers les activités socioéconomiques exercées en zone périphérique forestière et semi-forestière. Il s'agit d'analyser les actions individuelles, les pratiques (des populations) qui ont une influence directe sur le milieu et qui peuvent dans une moindre mesure être considérées comme facteur de modification des écosystèmes. Ce choix ne signifie pas que nous nions le rôle ou l'influence des activités économiques sur les dynamiques de changements des zones périphériques. Il doit être vu comme une volonté de notre part d'évoquer directement les éléments qui permettent de répondre à notre problématique. Rappelons que nous nous intéressons aux pratiques des populations qui contribuent à la modification de la structure spatiale des paysages des zones périurbaines (forestières et semi-forestières).

2.3.2.1. L'activité agricole

L'agriculture reste le point faible d'une économie du Gabon dominée par l'extraction minière (pétrole, manganèse, fer, etc.) et l'exploitation forestière. Longtemps laissée pour compte, elle n'a été reconnue comme une priorité nationale que depuis 1975 (Pourtier, 1980). Ce constat est en contradiction avec le potentiel agricole du pays. Malgré un potentiel naturel, du fait de terres riches et disponibles (entre 4 à 5 millions de terres cultivables ou arables), une pluviométrie abondante (1800 à 4000 mm) et un réseau hydrographique de 10 000 km² qui traverse et irrigue le territoire, l'agriculture ne répond pas aux besoins alimentaires de la population. Aussi, elle a une contribution dérisoire à l'économie nationale (2,5 % du PIB en 2009). Le pays importe l'essentiel de ses denrées alimentaires. Le coût global des importations alimentaires était d'environ 289 milliards de francs en 2017[7]. Mais au Gabon, la priorité est donnée au secteur de l'industrie pétrolière et minière au détriment du développement agricole. Malgré la fragilité de ce secteur, car le marché pétrolier est instable, réduisant souvent les recettes publiques et conduisant inexorablement à la succession de politiques d'ajustements structurels qui détériorent le niveau économique et social des populations. Des solutions alternatives à ce schéma de croissance déséquilibrée ont été proposées et élaborées. Ces dernières misent sur le développement d'un secteur agro-industriel coûteux et à rentabilité incertaine, au détriment du développement rural et des cultures vivrières.

[7] Statistique du commerce extérieur. Direction générale des douanes, Libreville

L'économie paysanne, affaiblie par l'exode des jeunes et handicapée par l'isolement des villages, n'est toujours pas en mesure de répondre aux besoins du marché urbain. Un obstacle majeur à son développement tient à l'inorganisation du commerce et des transports (Sello Madoungou, 2013 ; Ovono Edzang, 2007 ; Pourtier, 1980**)**. Les produits agro-industriels sont essentiellement issus des industries non alimentaires (sucre, café, cacao, huile de palme, etc.). Sur le plan alimentaire, le pays dépend des importations des industries alimentaires. Or, ces importations réduisent la part de consommation des biens agricoles vivriers au profit des biens issus des industries alimentaires et non alimentaires.

Depuis 2009, les autorités tentent de développer un programme agricole très ambitieux et contenu dans le Plan Stratégique Gabon Emergent (PSGE). Ce programme s'articule autour de quatre points principaux : i) un investissement massif dans l'hévéaculture et le palmier à huile ; (ii) le programme Graine qui encourage le développement d'exploitations agricoles par des Gabonais réunis en association ; iii) un programme d'appui de l'agriculture et l'élevage en milieu périurbains ; iv) le développement d'activités agro-industrielles à forte valeur ajoutée et aux débouchés économiques important. Ce programme en cours de réalisation n'a pas encore porté tous ses fruits et fait face à plusieurs limites. Si le secteur agro-industriel avec les plantations de palmiers à huile et de l'hévéaculture est prometteur, le secteur de l'agriculture vivrière et périurbaine reste médiocre. Plusieurs études montrent qu'il existe un potentiel productif inexploité dans les villages que l'exode rural n'a pas trop affaiblis (Pourtier, 1980 ; Galet, 2000) ; et que la production vivrière potentielle serait suffisante pour satisfaire la clientèle urbaine. En d'autres termes, les difficultés alimentaires proviennent avant tout d'un mauvais choix des cultures à industrialiser (Gallet, 2000*)*, principalement composées des produits non alimentaires d'une part, et d'une mauvaise articulation ville-campagne et par conséquent d'une organisation défectueuse du commerce et des transports. En effet, aucune restriction foncière ne limite la production vivrière, les producteurs se révèlent capables d'étendre leurs plantations. Mais la question principale est celle de la main-d'œuvre et de l'état des routes pour l'écoulement des produits agricoles. Ce secteur est aujourd'hui très affaibli par l'absence d'une main d'ouvre jeune. Cet abandon du secteur agricole est à l'origine de l'aggravation des maux sociaux : pauvreté rurale, insécurité alimentaire rurale, inégalités de revenus entre les ménages ruraux et urbains, exode rural, chômage urbain et pauvreté urbaine. Le type d'activité agricole la plus pratiquée est l'agriculture itinérante sur brûlis. Elle est pratiquée par les paysans. C'est une agriculture vivrière essentiellement destinée à l'autoconsommation.

La presqu'île de Libreville enregistre une activité agricole très faible. Le maraîchage y est très faiblement pratiqué. Les politiques en vue de développer l'agriculture périurbaine n'ont que très peu porté leur fruit. En effet, le projet d'appui au développement à l'agriculture périurbaine (PADAP), initié par l'Institut gabonais d'appui au développement (IGAD) pour réduire les importations et renforcer l'autosuffisance

alimentaire, a du mal à produire des résultats satisfaisants en raison d'une conjoncture économique défavorable et des politiques agricoles inopérantes. L'essentiel des légumes et féculents consommés est importé. Quelques initiatives existent, mais ces dernières sont insuffisantes pour répondre à la demande urbaine.

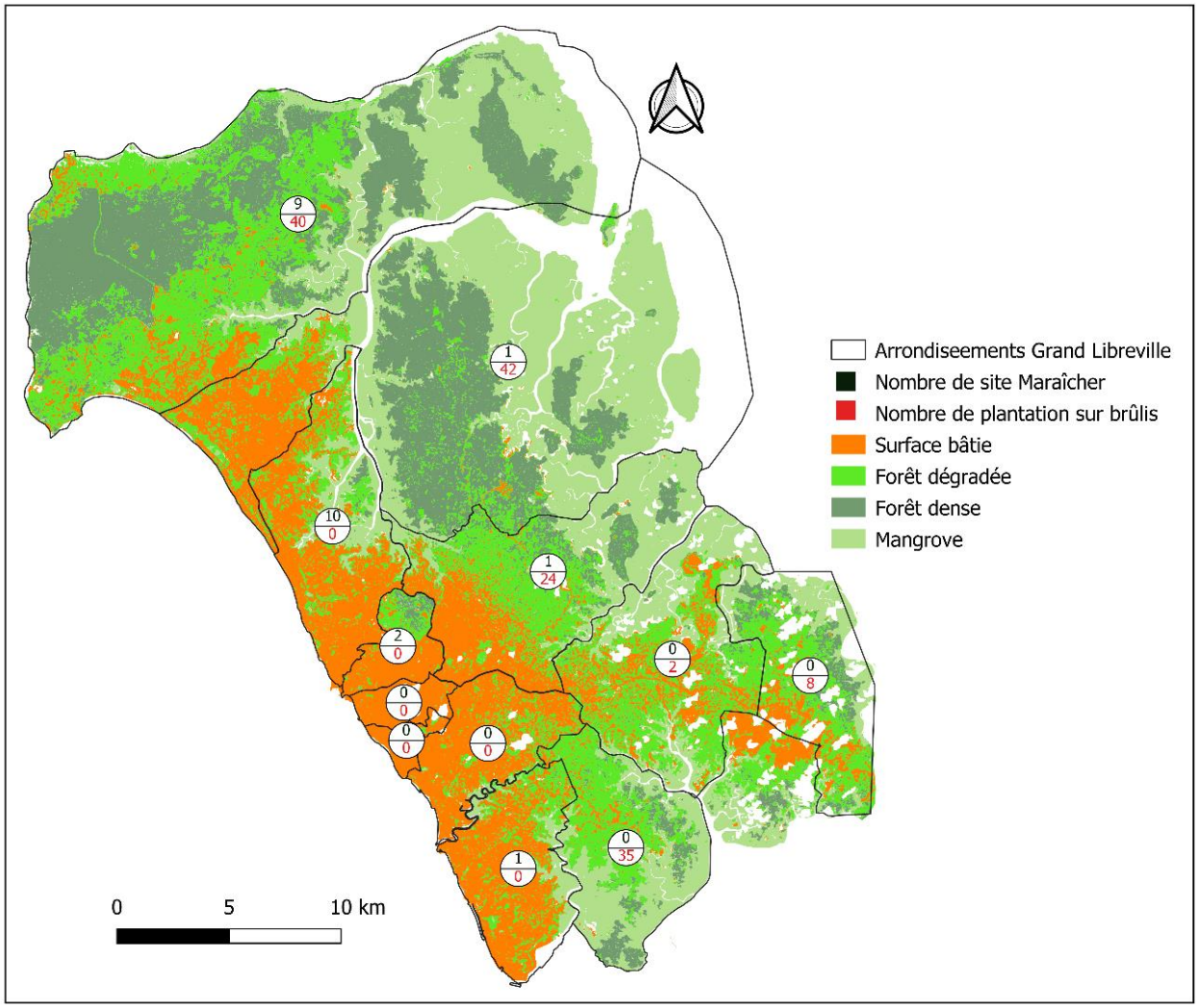


Figure 21 : Indentification (non exhaustive) des plantations sur brûlis de site maraîcher dans la presqu'île de Libreville. Source : données de terrain, Cédric Mpié, 2020

Si l'agriculture maraîchère est faiblement pratiquée, en témoigne le nombre de plantations recensé (fig.21) lors des sorties de terrain, l'agriculture itinérante sur brûlis quant à elle, est bien plus présente. Elle se développe dans les zones périurbaines à caractère rural, semi-forestier et/ou forestière, plus ou moins éloignés de la ville, où le bâti et l'urbanité n'ont pas encore atteint. Toutefois, la particularité de cette activité est qu'elle est majoritairement pratiquée par les citadins, fonctionnaires ou non, résidents à Libreville et ses environs. Ces derniers acquièrent des parcelles auprès des paysans, des autochtones qui les occupent depuis des décennies. Ces parcelles non viabilisées sont essentiellement des espaces forestiers que les nouveaux propriétaires vont transformer en plantation vivrière après abatage des arbres. Les produits qui en découlent ne sont pas destinés à la commercialisation, mais à l'autoconsommation. C'est cette activité

que nous qualifions *d'agriculture de transition*. Elle est utilisée comme un marqueur spatial, un signe d'appropriation, d'occupation et d'utilisation de l'espace. Cette activité agricole est perçue et conçue par les populations comme une action de mise en valeur de leurs parcelles. C'est donc une activité de transition vers le bâti. La végétation naturelle est remplacée par les arbres fruitiers, les légumes, le manioc, la banane, l'arachide, etc. Cette activité peut être répétée jusqu'à ce que le propriétaire rassemble assez de moyens pour commencer les travaux de son logement. Les plantations sont généralement de très petite taille (fig.22) et varient entre 100 à 1000 m².



Figure 22 : Activité agricole paysanne de type itinérante sur brûlis à Essassa. Plantation de petite taille, composée de produits vivriers (banane plantain et manioc) et principalement destinée à l'autoconsommation.

2.3.2.2. La pêche

La pêche est une activité beaucoup plus pratiquée par les communautés étrangères (nigérians, béninois, etc.), en situation plus ou moins régulière au Gabon (Ovono Edzang, 2013). Elle est essentiellement artisanale et se pratique dans les mangroves du parc national Akanda et sa zone tampon. Les pêcheurs y prélèvent diverses espèces de poissons. La pêche se pratique à l'aide des pirogues en bois de fabrication locale, auxquelles sont ajoutés des moteurs pour permettre d'explorer de grande distance. En effet, aujourd'hui, à cause de la raréfaction du poisson, la motorisation permet aux pêcheurs d'aller plus loin. On enregistre plusieurs types de pêche dont celle au filet est la principale. Ainsi, les prises sont débarquées dans des points spécifiques, les débarcadères, qui constituent les points d'approvisionnements en produit

halieutiques pour les citadins, mais surtout pour les revendeurs qui les distribuent après dans les différents réseaux commerciaux de la ville. Les produits de la pêche sont principalement destinés à la commercialisation, mais aussi à l'autoconsommation.

2.3.2.3. Les autres activités socioéconomiques

Libreville est un territoire sous forte pression anthropique. En périphérie, plusieurs autres activités ont été recensées (base de données de terrain en annexe). En effet, dans les zones semi-forestières et semi-urbaines de la presqu'île, les populations pratiquent les activités telles que la cueillette et le ramassage, la chasse. Elles vivent des biens et services qu'offre la nature. Ces écosystèmes forestiers sont riches en fruits sauvages, en champignons, en crabe et autres crustacés. La chasse est également une activité recensée auprès des populations lors de nos entretiens. Mais avec le recul du couvert forestier et l'évolution du cadre bâti, cette activité est de moins en moins pratiquée à cause de la raréfaction du gibier. Le recul de la surface forestière s'accompagne de la disparition des espèces animales. Cette activité se pratique de plus en plus de manière illicite, car les populations avouent faire la chasse nocturne dans la forêt protégée. Ces activités sont principalement pratiquées par les populations autochtones qui dépendent encore des ressources offertes par la nature. Mais depuis quelques années, notamment avec l'avancée des fronts urbains, les modes d'approvisionnements de ces derniers tendent à changer. Ils sont de moins en moins dépendants de la nature.

Par ailleurs, la spécificité de ces activités est qu'elles ne sont plus uniquement pratiquées par les populations villageoises. Une large partie des citadins qui réside dans les zones périphériques et qui vie des emplois en ville (fonctionnaires, commerçants, etc.) pratique également ces activités. L'ensemble de ces activités et la diversité des profils de ceux qui les pratiquent font des zones périphériques de la presqu'île de Libreville des territoires très dynamiques.

Conclusion du chapitre 2

La compréhension du contexte sociogéographique du site d'étude a été explicitement orientée vers la mise en évidence des signaux faibles. Un accent particulier est mis sur les éléments ou composantes territoriales qui ont un lien avec notre problématique et qui peuvent aider à la compréhension ou explication des dynamiques passées et en cours. Ce chapitre a fourni des clés d'analyse et de compréhension du contexte environnemental (composition des écosystèmes naturels), de la croissance démographique et de ses corolaires (étalement du bâti) ainsi que de la gouvernance territoriale (gestion foncière). L'analyse de ces éléments a révélé des insuffisances dans l'encadrement de la croissance démographique et la gestion foncière, avec pour conséquence l'étalement effréné du bâti et la perturbation des écosystèmes naturels et sensibles (pressions sur les aires protégées). Il en ressort aussi que les zones périphériques de la presqu'île de Libreville sont libres d'occupation et d'usage. Ce sont majoritairement des territoires non contrôlés, dominés par les pratiques individuelles.

La fabrique des zones habitées (nouveaux quartiers), les trajectoires d'évolution spatiales des aires urbaines sont dictées par les populations. Ces territoires sont marqués par une absence de l'encadrement de l'État ou des collectivités. L'étalement du bâti se traduit par une urbanisation accélérée et non contrôlée qui engendre des quartiers précaires, caractérisés par une organisation spatiale incohérente et désordonnée. Ces dynamiques sont en partie liées à la forte croissance démographique couplée au déficit de terrain à bâtir en zone urbaine. Cet étalement qui se fait en direction des zones périphériques semi-forestières et forestières entraine leur dégradation. Les transformations sont aussi liées à la pratique de certaines activités pionnières comme l'agriculture de transition dont les surfaces se transforment toujours en cadre bâti. L'usage incontrôlé des terres constitue donc le fait majeur des déséquilibres spatio-environnementaux.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DU PROCESSUS DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES ET DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE

CHAPITRE 3 : DESCRIPTION DU PROCESSUS DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES ET DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE

Ce chapitre est dédié à la description des types de données utilisés, de leur processus de collecte ainsi qu'aux traitements réalisés. Il est également consacré à la construction de notre démarche méthodologique. Deux types de données ont été utilisés à savoir, les données aéroportées (images satellitaires) et les données de terrain collectées auprès des différents acteurs (population locale, acteurs institutionnels).

Les dynamiques territoriales observées dans la presqu'île Librevilloise sont fortement liées au développement de l'occupation spontanée des espaces. Plusieurs études menées sur ce territoire ont montré que l'occupation des terres se fait principalement de manière illégale (Beka Beka et Engo, 2021 ; Simbou Mbadinga, 2016 ; Nguéma, 2014 ; 2006). Ce mode d'occupation, par son organisation et ses logiques, structure fortement l'espace, donnant ainsi naissance à une configuration spatiale complexe et désordonnée. Les mécanismes qui fondent ces logiques seront étudiés afin de comprendre et d'expliquer les dynamiques environnementales passées en cours. Le but est, non seulement de comprendre et d'expliquer les changements, mais aussi de projeter leurs évolutions possibles afin d'analyser d'une part, les risques de dégradation du géosystème étudié et, d'autre part, de concevoir des outils d'aide à la gestion de territoire à travers des scénarios prospectifs.

Par ces dynamiques et ses composantes, la zone d'étude constitue un territoire complexe. Pour ce faire, nous adoptons des approches et méthodes qui permettent d'appréhender les systèmes complexes comme le territoire. Une approche qui combine, à la fois, l'analyse systémique et spatiale pour la détection des changements dans l'espace et dans le temps. Cette approche méthodologique se veut fortement transversale et fait appel à la géographie (analyse spatiale), à la prospective (pour la construction des scénarios) et à la modélisation : c'est la spécificité de la prospective territoriale spatialisée ou géoprospective. Elle permet de caractériser les changements d'occupation et d'usage de sol de manière rétrospective et d'analyser les changements probables et ainsi que leurs impacts possibles dans le futur. Les résultats sont à la fois qualitatifs, quantitatifs et spatiaux. L'enjeu réside non seulement dans la quantification des changements, mais aussi dans la spatialisation ou la localisation de ces changements dans des espaces à enjeux et, leurs explications.

La démarche envisagée suit un double objectif, l'un méthodologique et l'autre thématique. Thématiquement, cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une recherche dont le but est d'étudier les dynamiques passées et encours d'une part et d'évaluer le devenir possible d'un territoire d'autre part. Méthodologiquement, il s'agit de partir d'une idée simple selon laquelle les pratiques sociales liées aux modes d'occupation des terres, et qui entrainent l'étalement urbain, la dégradation forestière et la déforestation peuvent s'expliquer par des règles simples et spatialement explicites. L'enjeu est aussi de trouver les outils adaptés qui permettent de maitriser le fonctionnement d'un système territorial complexe.

Ce chapitre est composé de deux sections. La première décrit les processus de traitement de données et de détection des changements par télédétection ainsi que et des données collectées sur terrain auprès des populations locales. Chaque type de traitements est présenté dans des sous-sections différentes. La seconde est entièrement dédiée au processus de traitement des données inhérent à la prospective territoriale spatialisée appliquée à la presqu'île de Libreville.

3.1. Description du processus de collecte et de traitement des données utilisées

La démarche méthodologique globale est construite autour de deux grands axes, chacun avec ses méthodes particulières, mais des résultats complémentaires. Le premier axe s'effectue principalement avec les outils et méthodes de la télédétection et SIG. Les résultats attendus sont les cartes d'occupation et d'usages des sols et la détermination des facteurs de changements observés. Les premiers résultats permettent d'étudier l'évolution historique de la configuration spatiale du paysage. Ils permettent aussi la constitution d'une base de données sur l'occupation du sol. Cette base de données est par la suite utilisée pour faire des analyses diachroniques et pour produire des informations sur les dynamiques de changements des entités spatiales du paysage. Les résultats sont à la fois cartographiques et statistiques. La détermination des facteurs de changements a pour objectif de trouver des explications aux changements identifiés dans la partie précédente. Cette deuxième étape s'appuie à la fois sur les outils et méthodes de la télédétection et SIG et surtout sur les données issues des observations de terrain. Ces données font un lien entre les changements observés et les facteurs identifiés.

Après l'identification des facteurs, l'étape suivante consiste à déterminer la part contributive de chaque facteur dans la production des changements. Un accent est mis sur les processus d'expansion spatiale de chaque facteur afin d'analyser les dégradations qu'ils peuvent occasionner. L'ensemble des données produites permettent de construire des indices de pression sur le paysage. Le but de ces indices est de mettre en exergue les pressions anthropiques sur les écosystèmes de forêt et de mangrove d'une part, mais aussi les pressions sur les ressources foncières d'autre part. Les résultats obtenus permettent de comprendre et d'expliquer les processus de déforestation et de dégradation des écosystèmes. En fin d'analyse, un lien de cause à effet est établi pour déterminer le rôle des pratiques sociales liées à l'appropriation des espaces dans les processus de changements d'occupation du sol. La figue 23 présente une synthèse des différentes étapes de la démarche méthodologique.

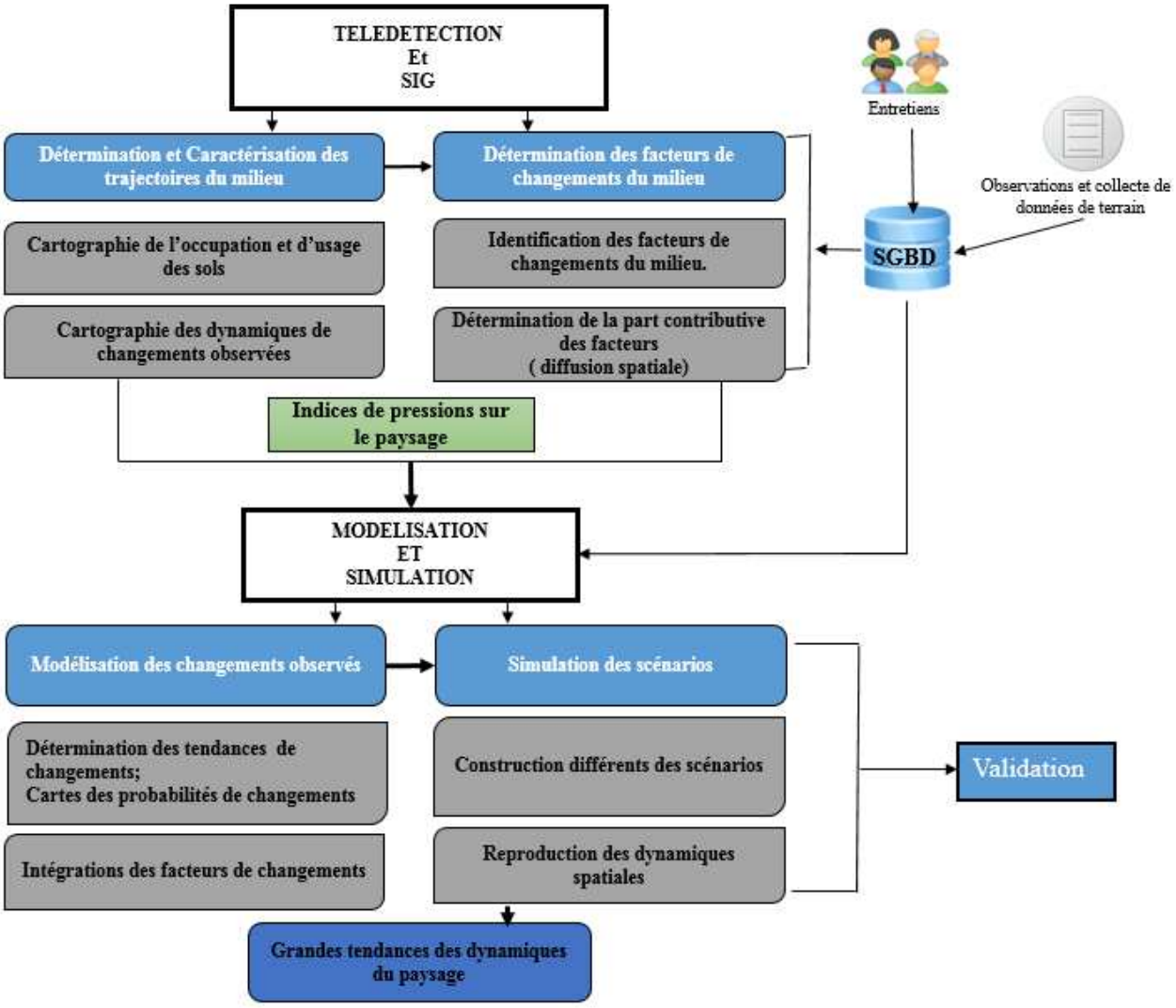


Figure 23 : Synthèse des principales étapes de la démarche méthodologique

L'ensemble des données produites dans les parties précédentes sont reprises pour être implémentées et interprétées dans les modèles spatiaux pour leur modélisation et simulation spatiale. La première étape consiste à construire un modèle des changements observés. Celui-ci étudie les processus qui ont conduit aux changements en examinant les interactions entre les entités spatiales. Cette modélisation est importante, car elle est fondée sur les changements réels. Les données qui y sont produites permettent de déterminer les tendances de changements et de produire les cartes de probabilité de changements. Ces cartes déterminent pour chaque catégorie d'occupation du sol, sa probabilité à être transformé en une autre.

3.1.1. Collecte, traitements, analyse des données de télédétection

3.1.1.1. Collecte et description de données aéroportées

Les données Landsat : au regard du champ thématique, nous privilégions les bandes visibles d'images satellites optiques de moyenne résolution. Les données LANDSAT sont donc retenues dans le cadre de cette étude. Les raisons de ce choix résident dans la difficulté d'acquisition des images de bonne qualité couvrant une période suffisamment longue. Elle couvre les années, 1990, 2000, 2014 et 2018. Le choix de ces dates est principalement conditionné par la qualité des données disponibles et exploitables. Le taux de couverture nuageuse y est très faible (cf. tableau 4). Le reste des images est lourdement chargé en nuages et ne permet pas une bonne comparabilité des données. En effet, en milieu tropical chaud et humide, on enregistre un taux de nuage très élevé, et ce, durant tous les mois de l'année**.** Cela est lié à la très forte nébulosité combinée et à une forte humidité relative de l'air. Les images optiques avec une très faible couverture nuageuse sont rares.

Les images LANDSAT sont gratuites et diffusées par le US Geological Survey (USGS) et téléchargeables sur le site web de l'USGS : http://landsat.usgs.gov/. Depuis février 2013, date marquant l'opérationnalisation des données LANDSAT 8, les images comptent désormais 12 bandes, dont 11 correspondent aux bandes spectrales acquises par les capteurs du satellite et à 1 bande « QA » (Quality Assessment) destinée à évaluer ou synthétiser la qualité des données. Le capteur multispectral *Opérational Land Imager* (OLI) a neuf bandes spectrales qui vont du visible au moyen infrarouge. Ces mages, d'une résolution spatiale de 30 m, constituent les données de bases pour cette étude, car nous disposons d'une série temporelle interannuelle de bonne qualité sur 4 dates. Le tableau 4 et la figure 24 ci-dessous décrivent et présentent les images retenues dans le cadre de cette étude.

Désignation	2018	2014	2000	1990
Scène	LC81860602018203LGN00	LC81860602014096LGN01	L71186060_06020000407	L51186060_06019900207
Engin spatial	Landsat 8	Landsat 8	Landsat 7	Landsat 5
Capteur	OLI TIRS	OLI TIRS	ETM+	ETM
Nombre de bandes	11	11	8	7
Résolution spatiale (m)	30	30	30	30
Format	GEOTIFF	GEOTIFF	GEOTIFF	GEOTIF
Système géodésique	WGS 84	WGS 84	WGS 84	WGS 84
Projection	UTM Zone 32	UTM Zone 32	UTM Zone 32	UTM Zone 32
Unité	Métrique	Métrique	Métrique	Métrique
Couverture nuageuse	31.09 %	31,78 %	30.03 %	48 %
Date d'acquisition	22/07/2018	06/04/2014	07/04/2000	07/02/1990
Source	USGS	USGS	USGS	USGS

Tableau 4 : caractéristiques des images satellitaires utilisées

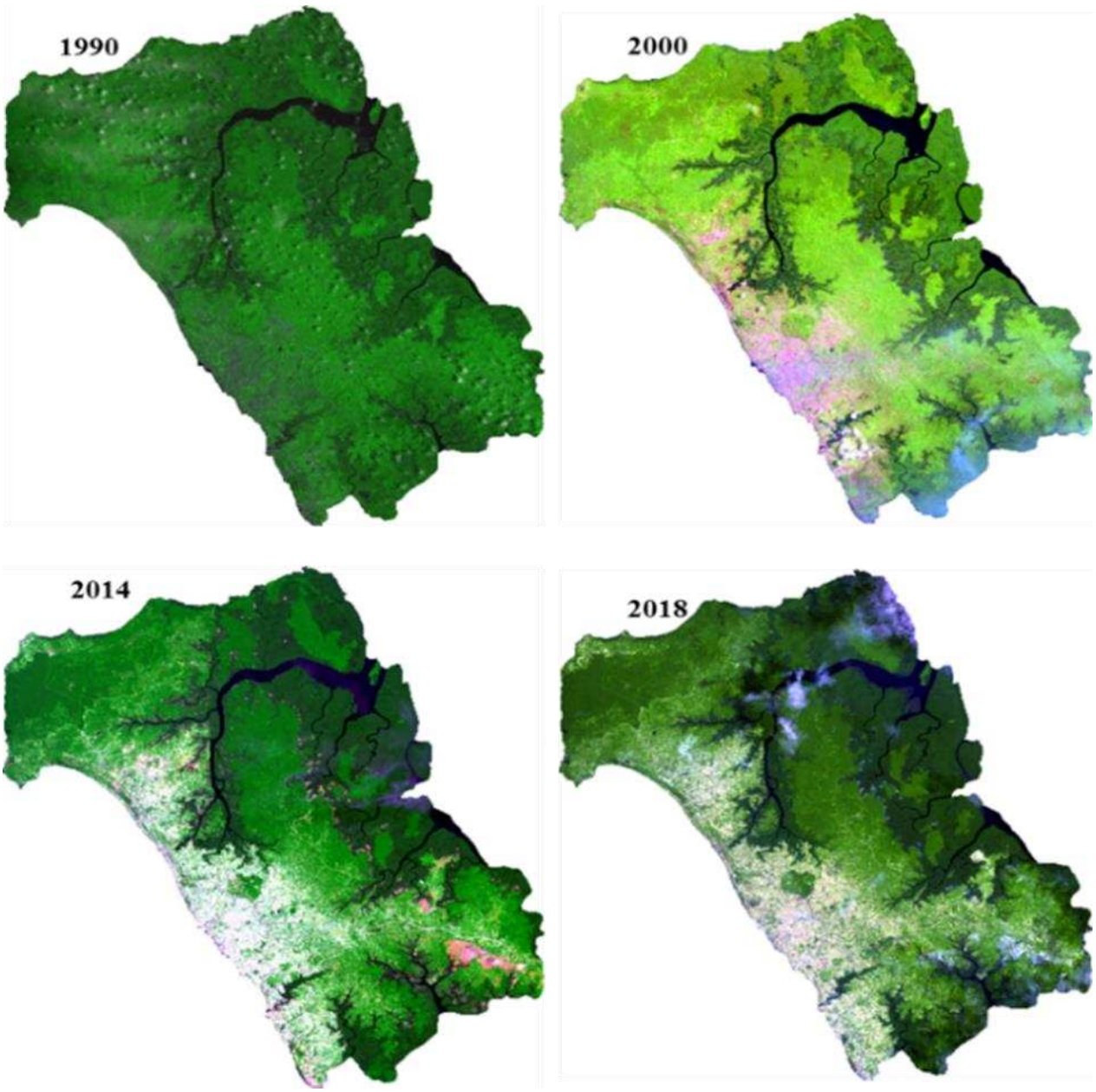


Figure 24 : Images satellitaires utilisées. Landsat 4, 7 et 8 de la presqu'île de Libreville (extraites des scènes de 1990, 2000, 2014 et 2018)

Les données drone : Les données de haute résolution ont été acquises par drone au cours de nos sorties de terrain (fig.25). Nous avons bénéficié d'un appui technique et matériel de la structure privée **Multirotors-Service**, spécialisée dans la prise de vue aérienne par drone civil. Les images ont été prises à l'aide d'un engin de type *Mavic Pro de* 2016. Le Mavic pro est l'une des plus petites caméras volantes de la marque DJI. Il est doté d'une caméra entièrement stabilisée, des modes de vols intelligents et d'évitement d'obstacles. Il est équipé d'une caméra réalisant des vidéos de type 4k avec des photos de 12 mégas pixels et est capable des prises de vue complexes sans effort. Les prises de vue ont été réalisées à une hauteur de 500 m. Ces images ont principalement été acquises pour zones d'intérêt, c'est-à-dire les secteurs d'échantillonnage.

Elles ont principalement servi pour la validation de l'occupation du sol, et le choix des secteurs d'échantillonnage. Ces images sont aussi utilisées pour illustrer certains phénomènes. Le survol par drone des secteurs préalablement identifiés nous a permis de localiser les fronts pionniers et les zones sous pression anthropique. Ces données ont aussi servi pour la caractérisation des profils de type forestier en fonction de leur état actuel. Ces images serviront pour la consolidation des classifications de l'occupation du sol. Dans le cadre de la réalisation d'un projet nécessitant les données très haute résolution, ces images représentent un compromis intéressant. En effet, l'exploitation des images aérienne par drone, permet des restitutions cartographiques de haute résolution. L'identification des espaces anthropisés ne nécessite pas forcément une résolution centimétrique.



Figure 25 : Illustration des données aériennes haute résolution prise par drone au sud de Libreville (2019)

Les images acquises par drone ne couvrent pas l'ensemble de la zone d'étude ni l'ensemble des secteurs d'enquête. À cause des restrictions de vol ou l'interdiction de vol dans certaines zones, nous n'avons pu réaliser que quelques prises de vue dans trois secteurs dont une zone au nord dans la commune d'Akanda, une zone à l'est (Bikélé ; Bambouchine) et une zone au sud-est (Nkok). Ces images ont été principalement utilisées pour illustrer certains phénomènes et pour la validation de quelques classes d'occupation du sol.

3.1.1.2. Méthode de traitements et analyses des données de télédétection

Les images Landsat sont constituées de plusieurs bandes. Pour faciliter le traitement de tous ces fichiers, nous procédons à leur assemblage. Cette opération s'est effectuée directement dans l'environnement du logiciel ENVI par l'application *Layer Stacking*. En sortie, nous obtenons un fichier image, comprenant toutes les bandes (stack), qui facilitent les traitements. Puis, l'ensemble des images a été géoréférencé pour favoriser leur comparabilité et leur superposition. Pour améliorer la qualité des images, nous avons utilisé deux procédés. Dans le premier, les images Landsat sont tout d'abord améliorées par étalement dynamique de l'histogramme. Pour chaque image multispectrale, l'histogramme correspond à une distribution statistique des pixels et renseigne ou donne une idée sur les différents objets présents sur une scène. L'étalement de l'histogramme (son étirement) fait ressortir des plages de réflectance et augmente la distinction des différents éléments d'une scène. Cette technique facilite l'analyse et l'interprétation visuelle. Le second procédé consiste en la création de nouvelles données à partir de l'application d'indices. Nous avons créé des néo-canaux (nouvelle image que l'on obtient en combinant plusieurs sources d'informations de manière à synthétiser, extraire certaines caractéristiques ou certaines propriétés de données peu visibles sur les canaux d'origines) qui ont permis d'effectuer des transformations multispectrales. Elles ont pour objectifs la conversion des luminances en variables thématiques, ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Cette étape est nécessaire, car elle permet d'améliorer la séparabilité des objets ayant des signatures spectrales proches. Plusieurs néo-canaux sont donc créés tels que le NDVI (*Normalized Difference Végétation Index*). Celui-ci est un indice thématique qui permet de mettre en évidence la présence de la végétation (Rouse et *al.*, 1974). La formule de calcul du NDVI est :

$$NDVI = (PIR — R)/(PIR + R)$$

En plus du NDVI et pour assurer une meilleure séparation entre les valeurs spectrales des forêts de terre ferme et des forêts inondées, nous avons également utilisé le NDWI (*Normalised Difference Water Index*). Cet indice permet d'identifier les plantes ayant une forte teneur en eau (Gao, 1996). Elles vont refléter une valeur de NDWI proche de 1. Son équation est la suivante :

$$NDWI = (PIR - SWIR)/(PIR + SWIR)$$

Le NDWI peut être calculé d'une autre manière de façon à mettre l'accent cette fois sur les surfaces d'eau et non pas de l'humidité des plantes et des sols. Dans ce cas, son équation est la suivante :

$$NDWI = (V — PIR)/(V + PIR)$$

Compte tenu de la densité de drainage, nous avons ajouté le NDPI (*Normalized Difference Pond Index*). Il permet de mettre en évidence les surfaces en eau (Lacaux et *al.*, 2006). Cet indice se calcule de manière suivante :

$$NDPI = (MIR-G)/(MIR+G)$$

Enfin, nous avons eu recours à l'indice IC (Indice de Cuirasse). C'est un indice de brillance qui permet de différencier les sols nus des surfaces bâties (Pouchin, 2001). Son équation est la suivante :

$$IC = 3 \times V — R — 100$$

D'autres prétraitements comme, la création des masques de nuages et leurs ombres, pour isoler les surfaces infectées par les artéfacts et nuages ont été effectuées avant de lancer les opérations de classification.
La classification d'images satellitaires est une opération qui consiste à regrouper les pixels en des classes thématiques ayant une signification dans l'environnement. Elle consiste donc à transformer les pixels en classes thématiques d'occupation et d'utilisation des sols. Il existe diverses méthodes de classification qui peuvent être divisées en deux groupes :

- *La classification non supervisée* : Ici, les caractéristiques spectrales sont classées de manière automatique, sans aucune connaissance à priori de l'environnement. Le nombre de classes y est tout de même défini par l'auteur. En fonction du nombre de classes, une première segmentation des images en différents thèmes d'occupation du sol est effectuée. Par la suite, on procède à l'identification des différentes classes créées.

- *La classification supervisée* : Elle nécessite une connaissance à priori du terrain d'étude. Les entités classées ainsi que leur nombre sont définies par l'auteur. Elle est basée sur l'étude successive des histogrammes des valeurs radiométriques et des signatures spectrales de chaque pixel.

En fonction de la thématique et des objectifs de notre recherche, une nomenclature est adoptée. Elle est présentée et décrite dans le tableau 5.

Classes	Description des entités spatiales
Surface en Eau	Bras de mer, rivières, lacs, plans d'eau, océan
Nuages et ombres	Couverture nuageuse et leurs ombres
Surface bâtie	Zones anthropisées ou urbanisées, incluant vastes pelouses, voirie, plantations urbaines
Forêt de terre ferme dense	Espaces composés de couvert végétal de terre ferme dense
Forêt de terre ferme peu dense	Couverture végétale peu dense, dégradée
Mangrove et forêt de terres inondée	Forêts des terres inondées composées de forêts marécageuses, de mangroves hautes et de mangroves basses
Sols nus, sable, vase	Sols nus, bancs de sable, tannes et vasières
Surface agricole	Plantation sur brûlis, Maraicher, Serre

Tableau 5 : Description des différentes classes d'occupation du sol retenues

Les deux types de classification ont été utilisés. Tout d'abord, les images ont subi une classification non assistée. Le but est de procéder à une première identification des différentes entités spatiales du paysage présentes sur les images. Puis, dans un second temps, nous procédons à la classification supervisée. Nous avons choisi de travailler avec la méthode de classification supervisée par « maximum de vraisemblance », basée sur une approche statistique et probabiliste qui affecte le pixel à la classe pour laquelle sa probabilité est la plus forte. Autrement dit, un pixel appartient à une classe si, et seulement si, sa probabilité d'appartenir à cette classe est supérieure à sa probabilité d'appartenir à une autre classe (Coppin et *al.*, 2004 ; Lu et *al.*, 2001).

La classification supervisée suppose que l'on connait la localisation de certaines zones dans l'image et les classes d'objets correspondants. Cette connaissance favorise la sélection des zones d'échantillonnage. Il s'agit des régions d'intérêt, qui sont une sélection de surfaces les plus homogènes possibles et qui permettent de caractériser chaque classe. Chaque zone d'apprentissage est sélectionnée de telle sorte qu'il ne se recoupe pas avec une autre afin d'éviter une confusion des signatures spectrales.

Validation des classifications : Après la classification, nous avons vérifié l'exactitude ou la fiabilité de nos résultats (précision thématique des cartes) à partir d'une matrice de confusion et l'indice Kappa (Congalton, 1996). La matrice de confusion détermine les pixels bien classés en comparant les zones d'entrainement définies par l'auteur grâce à sa connaissance du terrain et ces mêmes zones reclassées par le logiciel. Elle donne une précision globale des résultats de la classification pour chacune des classes thématiques. Les résultats de ces comparaisons sont exprimés en pourcentage. Les valeurs situées sur la diagonale de la matrice représentent les pixels bien classés (exprimés en valeur absolue ou en %).

Une classification est fiable et exploitable si, et seulement si, les pourcentages sont supérieurs à 80 % (Congalton, 1991**)**. La matrice de confusion contient deux indices qui seront utilisés pour la validation finale :

- *La précision globale* : Elle est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification.
- *L'indice de Kappa* : Il indique comment les données à classer s'accordent aux données de référence. Il constitue une mesure fiable dans l'évaluation des classifications thématiques, car il examine tous les éléments dans la matrice de confusion et prend en compte à la fois des erreurs d'omissions et de commissions.

L'indice Kappa s'étend de 0 à 1 et se divise en 5 catégories répertoriées dans le tableau 6 ci-dessous :

Rang	**Accord**	**Valeur indice**
1	très faible	0 à 0,20
2	faible	0,21 à 0,40
3	modéré	0,41 à 0,60
4	substantiel	0,61 à 0,80
5	presque parfait	0,81 à 1

Tableau 6 : Classification des valeurs de l'indice Kappa

Au moyen d'un système d'information géographique, les données de terrain seront superposées aux cartes pour extraire la classe d'occupation correspondant aux points de contrôles. Pour chacun des points, une validation visuelle des zones et pixels contigus a été réalisée afin de minimiser les erreurs de localisation géographique. Les images multispectrales sont devenues des instruments privilégiés pour l'étude des changements d'occupation du sol. L'amélioration progressive des bandes spectrales permet de mieux discriminer les différents éléments de l'occupation du sol. De plus, elles permettent une rétrospective sur plusieurs décennies, et donc permettent de voir comment le phénomène étudier s'est construit dans le temps et dans l'espace c'est-à-dire l'évolution historique de la configuration spatiale du territoire.

3.1.2. Collecte et traitement des données d'entretiens et d'observations terrain

L'utilisation des données aéroportées, bien qu'indispensable dans notre étude, reste tout de même insuffisante pour répondre à nos objectifs et valider nos hypothèses. Pour avoir une meilleure compréhension du phénomène étudié, nous avons également collecté des données de terrain. Le but est de comprendre ce qui a façonné le territoire, par l'observation des populations locales et les décideurs afin d'étudier leurs pratiques et identifier les facteurs de changement du milieu. En effet, chaque territoire

correspond à une réalité sociale et géographique, avec ses objectivités et ses subjectivités qu'il faut nécessairement prendre en compte dans l'analyse des processus anthropiques qui sous-tendent les dynamiques paysagères. La prise en compte du point de vue des populations est une démarche de plus en plus observée en sciences Humaines et sociales et s'avère très importante pour la compréhension des dynamiques territoriales d'origines anthropiques. Elle permet aussi de s'extraire de la dimension prescriptive et énonciative pour se focaliser sur des réalités concrètes.

3.1.2.1. Collecte des données de terrain et justification du choix des secteurs d'enquête

La collecte des données de terrain : est une démarche très utilisée en géographie. Les géographes considèrent, à juste titre, la géographie comme « la science du terrain par excellence ». Plusieurs techniques ou approches de collecte de données de terrain ont été développées, chacune avec ses spécificités. Il existe, en fonction des objectifs ou du problème posé, des approches plus adaptées à une problématique que d'autres. Parmi la panoplie des méthodes existantes, nous avons choisi de combiner la collecte de données par questionnaire et des entretiens semi-directifs.

Le guide d'entretien portait principalement sur la gestion foncière et dynamique de l'étalement urbain. Le but est de voir quelles analyses les administrateurs territoriaux font sur les dynamiques des espaces périurbains. Le questionnaire, quant à lui, est élaboré de manière à recueillir des informations sur deux principales temporalités, voire trois. La première permet de recueillir des informations sur les facteurs de changements passés suivant une résolution temporelle rétrospective de 30 ans. La deuxième est dédiée à la collecte des données sur les facteurs de changement actuels. Cette partie envisage également d'appréhender l'évolution possible du territoire. L'ensemble des variables d'analyses retenues ainsi que leurs intérêts scientifiques sont présentés dans le tableau 7.

N°	**Questions rétrospectives**	**Intérêt scientifique**
1	Au cours des 30 dernières années, quels ont été les principaux changements qui ont influencé le territoire et son environnement ?	Identifier les facteurs de changement passés et faire une analyse spatiotemporelle pour la reconstitution des dynamiques passées.
2	Au cours des 30 dernières années, quelles ont été les principales inerties qui ont influencé le territoire ?	Identification des facteurs propres au site, facteurs androgènes qui ont contribué aux changements du territoire
3	Quelles ont été les conséquences de ces changements ?	Identification des effets des facteurs de changements sur le territoire

4	Parmi ces changements, quels sont ceux que les responsables du territoire ont bien anticipés ?	Analyse de la gestion du territoire et comprendre le niveau d'implémentation de la prospective ou la planification
5	Quels sont les au contraire, les changements que les responsables du territoire n'avaient pas prévus ?	Comprendre le niveau de maitrise des dynamiques territoriales par les responsables du territoire.
6	Avec le recul, face à ces changements, pouvez-vous dire si les réponses apportées par les responsables du territoire étaient appropriées ou au contraire inadaptées ?	Analyse rétrospective de la gestion du territorial et des réponses apportées face aux changements observés.
	Questions actuelles et prospectives	
7	Aujourd'hui, à quels enjeux d'aménagements, la presqu'île de Libreville fait-elle face ?	Identification des enjeux actuels d'aménagement du territoire
8	Selon vous, quels sont les facteurs de changements actuels ?	Faire une analyse comparative pour identifier les facteurs historiques de changement et les nouveaux facteurs en cours ou émergents
9	Quelles hypothèses pouvez-vous émettre sur l'évolution possible du grand Libreville ?	Analyser les répercussions de l'évolution spatiotemporelles des facteurs de changement sur la configuration spatiale de Libreville
10	Quelles conséquences cette évolution peut-elle admettre ?	Analyser les impacts possibles de cette évolution sur le plan social et environnemental
11	Quels sont selon vous les moteurs actuels de l'étalement urbain autour de Libreville ?	Identifier les facteurs spécifiques qui contribuent à l'étalement du cadre bâti
12	Quelles sont les activités dégradant potentiellement des écosystèmes forestiers ?	Identifier les activités ou pratiques qui partiellement dégradent les écosystèmes forestiers.
13	Sur la base de ces enjeux et des facteurs de changements identifiés, quels scénarios d'évolution possible pouvez-vous élaborer ?	Essaie d'établir la construction d'une vision partagée sur l'évolution possible de la presqu'île de Libreville au regard de l'évolution des facteurs de changements identifier.
14	Depuis quand occupez-vous cette parcelle ?	Analyser les périodes d'arrivée sur site
15	Depuis quand êtes-vous installé ?	Analyser l'écart entre l'arrivée sur site et l'installation définitive
16	Quelle est la première activité pratiquée sur la parcelle ?	Identification des principales activités pratiquées sur la parcelle avant la construction du bâti

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des variables d'analyse ainsi que leurs intérêts scientifiques

Les données de terrain sont collectées en fonction de la population cible. Cette dernière est composée de trois grandes catégories. La première catégorie concerne les populations locales (autochtones), la deuxième est composée des décideurs (administrations publiques) et la troisième correspond aux chercheurs.

- Pour les populations autochtones, nous avons principalement utilisé un questionnaire. Sur l'ensemble de la presqu'île de Libreville, 10 secteurs d'observation ont été définis (cf. figure 16). Dans chaque secteur, le nombre de personnes interrogées varie de **11** à **25** personnes. Au total, nous avons enquêté 137 individus. Les questions abordent les pratiques des populations, leurs processus d'appropriation des espaces ainsi que leurs relations avec le milieu. Les populations cibles dans cette catégorie sont les chefs de quartiers ou villages, les anciens, les personnes qui exercent une activité quelconque dans la zone et les nouveaux résidents. Le but de ces enquêtes est d'analyser les interactions entre les populations et leur milieu. Nous cherchons à comprendre comment les populations s'approprient les espaces à travers un certain nombre de pratiques et d'activités ainsi que les logiques qui guident leurs actions. Ceci est une première étape vers la caractérisation des trajectoires d'occupation du sol. En effet, un accent particulier est mis sur le mode d'acquisition des espaces afin de déceler les logiques et les pratiques qui dominent en matière d'acquisition foncière dans la presqu'île de Libreville. À travers cette analyse, nous tentons de justifier les effets de l'occupation spontanée et anarchique des terres.

En outre, nous nous intéressons aussi aux raisons qui poussent les populations à occuper et à s'installer dans ces espaces périphériques, parfois dépourvus de toutes commodités, ainsi qu'aux temporalités entre l'année d'occupation d'un espace et l'année d'installation définitive (ANPN, 2016). Ici, l'année d'occupation correspond à un marqueur d'appropriation des espaces (activité agricole, clôture, mise en valeur). Tandis que l'année d'installation est caractérisée par la construction du bâti. L'intervalle entre ces deux indicateurs permet d'une part d'analyser les activités qui ont précédé la construction du bâti et, d'autre part, de mettre en évidence la dynamique de l'étalement du bâti. Enfin, l'enquête auprès des populations autochtones vise également à étudier leur point de vue sur les dynamiques des écosystèmes forestiers ainsi que les facteurs de dégradation de ces mêmes milieux et les impacts sociaux que ces changements engendrent.

Pour les décideurs et les chercheurs, nous avons utilisé le questionnaire et les entretiens semi-directifs. Au total, un corpus de 11 entretiens audio d'une durée variant de 25 minutes à 1 h 45 a été réalisé.

- La population cible décideur est composée des agents des administrations publiques qui interviennent dans la gestion du territoire. Il s'agit de l'Agence Nationale d'Urbanisme des Travaux Topographiques et du Cadastre (ANUTTC), de l'Agence Nationale des Grands Travaux et des Infrastructures (ANGTI), de l'Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN), et du Ministère de l'Habitat et du Cadre de Vie et la Direction Générale de l'Environnement (du Ministère des Eaux et Forêts). Le but de ces entretiens était d'analyser la posture de ceux qui prennent les décisions sur le développement

ou l'aménagement du territoire, d'identifier les freins, ainsi que les éventuels conflits qui peuvent exister, afin d'établir des liens de cause à effet. La compréhension des dynamiques d'occupation du sol passe par l'analyse du cadre institutionnel et des prérogatives de chaque institution. La cohérence ou l'incohérence des actions des décideurs est aussi examinée.

Les enquêtes au sein des administrateurs n'ont pas pour objectif d'analyser les politiques existantes ni leur pertinence, car cette dernière peut se faire par simple analyse bibliographique. Ce qui nous intéresse c'est de trouver des explications aux changements ou aux dégradations malgré l'existence de texte et des lois en vigueur. Ainsi, le problème n'est pas la loi ou l'absence des politiques de gestion, mais plutôt leur non-application et, voir même, leur contournement par les populations. L'intérêt scientifique et le but des entretiens semi-directifs sont d'analyser, à travers les discours, les causes du dysfonctionnement et le processus de prise de décision.

- La population cible chercheur est composée d'une poignée d'enseignants-chercheurs du Département de géographie et du Département de sociologie de l'Université Omar Bongo (les seuls à avoir accepté de répondre à nos questions). Les questionnements portaient sur les dynamiques paysagères et environnementales dans la presqu'île Libreville. Le questionnement semi-directif soumis aux chercheurs tente de leur faire décrire et caractériser le déroulement dans le temps et dans l'espace l'ensemble des activités et des processus qui ont entrainé des changements paysagers dans la presqu'île de Libreville. Plusieurs thèmes tels que : les interactions homme-milieu et les enjeux d'aménagement du territoire, l'étude de la vulnérabilité ou de la dégradation des paysages et des facteurs de changement d'occupation du sol, les enjeux environnementaux et leurs conséquences sociales, les conflits liés à l'occupation du sol (conflits fonciers, conflits d'usages, conflits de compétence), ainsi que leur vision prospective du grand Libreville ont été abordés. L'objectif était de voir ce que pensent les chercheurs sur le déroulement des processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères, d'identifier les enjeux et les conséquences sur le plan social et de modéliser ces processus dans le but de proposer un support d'analyse et de discussion pour la gestion du territoire et de l'environnement.

Secteurs d'échantillonnage : le choix des sites correspond à une exigence de notre part de collecter les données sur différents milieux pour lesquels les interactions entre l'homme et son environnement sont particulièrement fortes. Pour ce faire, le choix des sites de collecte de données de terrain se nourrit des expériences passées, réalisées dans le cadre de deux projets (MORIDF, 2014 ; MDMLERD, 2018). Les visites de terrains réalisées dans le cadre de ces projets nous ont permis d'identifier des zones de pressions. D'autres zones, notamment au nord de Libreville, ont également été ajoutées. Ainsi, les enquêtes se sont uniquement déroulées dans les zones périphériques de Libreville dont le niveau de pression a été mis en évidence. Plusieurs critères ont guidé notre choix. Le premier concerne la présence d'activités humaines (activité agricole, briquèterie, pêche, etc.) et la connectivité (réseau routier). L'accent est mis sur les sites de fronts pionniers et ceux comportant des indicateurs de pression comme les briquèteries (Moridef, 2014),

l'agriculture sur brûlis. Le second correspond à la distance par rapport au centre urbain et au réseau routier principal. Les secteurs doivent être éloignés du centre urbain et de la route principale. Le troisième critère correspond à la présence d'habitations construites ou en cours de construction.

Ici, nous privilégions les espaces où le bâti est encore diffus, peu dense et qui sont en cours d'occupation. L'idée est de comprendre ce qui motive ces populations à s'installer dans les zones dépourvues de tout équipement urbain afin d'expliquer les dynamiques. Il s'agit des zones périphériques, semi-forestières et forestières dans lesquelles se développent des fronts pionniers. Leur identification, pour certaines zones, au sud et au sud-est, a été rendue facile par l'utilisation des drones civils. Les zones présélectionnées ont été survolées afin de vérifier si elles répondent aux critères définis ci-dessus. Les secteurs ne répondant pas aux critères, c'est-à-dire ne présentant pas de signe de pression anthropique, n'ont pas été retenus. Ainsi, 10 secteurs d'enquête correspondant aux zones de pressions ont été retenus. La localisation de chaque secteur d'échantillonnage est présentée dans la spatiocarte (fig.26).

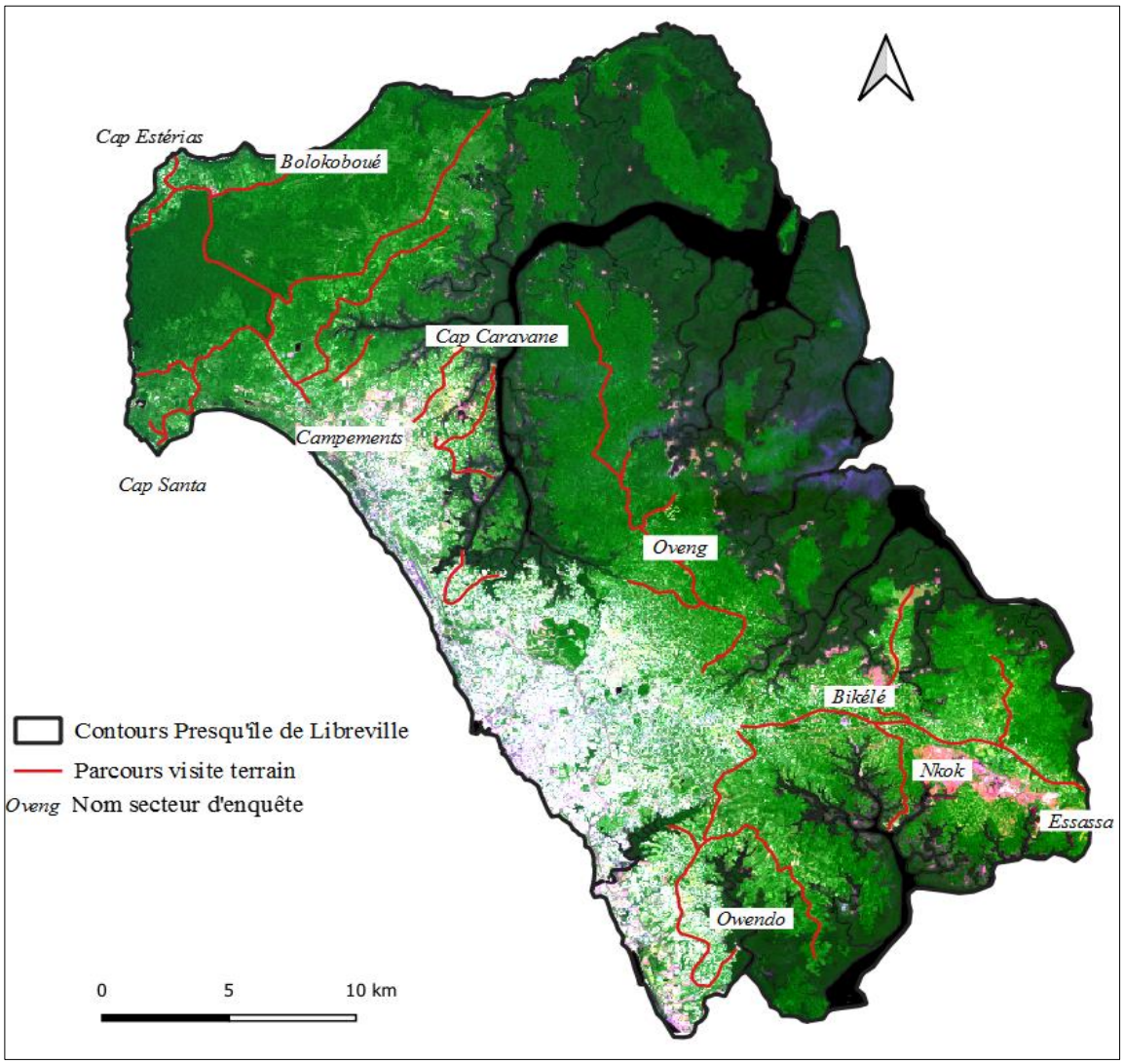


Figure 26 : Spatiocarte de localisation des secteurs et parcours d'enquêtes de terrain. Réalisation : Cédric Mpié. Source : image Landsat 20014

Tout comme Di Méo (2016), nous nous intéressons à l'espace comme le fruit d'une dynamique sociale, mais nous nous appuyons, autant que possible, sur des réalités objectives pour analyser les jeux d'interactions entre l'homme et son environnement. Dans notre cas, nous nous intéressons aux pratiques (des populations) comme réalité objective par laquelle peuvent s'appréhender les enjeux spatiaux et sociaux. Nous avons fait l'effort de n'interroger que les populations qui agissent de manière concrète sur le territoire, par la pratique d'une activité (acquisition de parcelle, activité agricole, pêche, construction, etc.). L'intérêt scientifique ou le but est d'identifier et analyser les pratiques (sociales) qui contribuent en la modification ou à la dégradation des écosystèmes naturels. Pour ce faire, le questionnaire tente de faire identifier les facteurs de changement passés et actuels. Une mise en perspective de l'évolution de ces facteurs est envisagée, de même que l'analyse des conditions qui ont favorisé leur émergence. Rappelons que l'objectif est de procéder à une analyse des processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères de la presqu'île de Libreville par le prisme des pratiques des populations. La collecte de données permet donc de les identifier et de les analyser. Les effets de chaque pratique sur les écosystèmes naturels permettent d'apprécier leur niveau de dégradabilité.

3.1.2.2. Méthode de traitement et d'analyse des données d'entretien et d'observations terrain

Traitement des données de terrain : Les données issues du questionnaire et des entretiens semi-directifs sont traitées différemment. Les observations ou réponses collectées à l'aide du questionnaire auprès des populations ont fait l'objet de traitement à la fois quantitatif et qualitatif. Ces données ont été saisies dans les logiciels MS Excel et Sphinx. Ces deux logiciels permettent le traitement des données, la production des tableaux statistiques, des diagrammes qui illustrent et l'analyse subséquente.

Les traitements ont été réalisés selon deux catégories temporelles, l'une traitant les questions des dynamiques passées, l'autre abordant les perspectifs avenirs. Un accent particulier est porté sur la temporalité des facteurs et processus de changement. Elles permettent de comprendre et d'expliquer les dynamiques sociales et spatiales de la zone d'étude. L'ensemble des traitements (tableaux, graphiques, schémas, etc.) permettent de répondre à la problématique et a vérifié les hypothèses. Ils viennent également en appuis au raisonnement dans le corps du texte. Les variables retenues permettent aussi d'étudier les conséquences des facteurs de changements ainsi que la gestion du territoire. Le questionnement rétrospectif permet également de faire une analyse de la situation en cours. Il tente de faire identifier par les enquêtés, ce que ces derniers considèrent comme étant des facteurs de dégradation, les moteurs ainsi que les enjeux d'aménagement auxquels font face leurs territoires.

Traitements des données d'entretien : Les données audio d'entretien avec les administrations ont d'abord été retranscrites. Les textes qui en découlent ont été traités. Seuls les idées et dires d'acteurs en lien avec la problématique en été retenu, et constitué en thème, grâce à une analyse lexicométrie (par similitude) de mots clés. Globalement, ces écrits servent de support d'analyse des politiques de gestion du territoire et de la mise en évidence des signaux faibles. Le discours des administrateurs territoriaux est utilisé sous forme de *verbatine* et vient généralement en appuis à l'analyse thématique. L'ensemble de ces variables d'analyses seront développées dans l'analyse des résultats. Ils viendront principalement en appuis aux résultats issus de la télédétection et SIG. Un lien de cause à effet est établi pour chaque variable retenue. Les résultats issus du traitement des données de terrain ne font pas l'objet d'un traitement à part, ils seront intégrés au raisonnement global.

Ces deux modes de collecte de données ont l'avantage de nous permettre de recueillir à la fois l'avis des populations sur un thème spécifique et l'analyse des décideurs sur les politiques de gestion du territoire. Les résultats produits permettent de naviguer entre l'analyse qualitative et quantitative.

Précisons que notre démarche ne consiste pas à analyser ou à questionner la perception ou la sensibilité des enquêtés. L'analyse de la perception peut être un exercice complexe en ce qu'elle s'intéresse, au-delà de l'analyse du discours, aux émotions, aux hésitations, aux rires, etc. Elle consiste à analyser la manière dont l'enquêté se construit la représentation d'un objet extérieur travers ses sens ou sa sensibilité. C'est une traduction des sensations de notre manière d'appréhender le monde extérieur. Ce qui renvoie à une opération psychologique complexe.

3.2. Prospective territoriale spatialisée appliquée à la presqu'île de Libreville

La démarche méthodologique mise en œuvre vise à répondre aux objectifs fixés dans le cadre de notre recherche. Elle se divise en deux grandes parties, chacune avec ses composantes. La première partie présente et décrit les approches mises en œuvre pour le ***Suivi des dynamiques paysagères*** à travers une analyse diachronique de l'occupation du sol. Elle vise une meilleure compréhension du territoire étudié et de son évolution. Elle comprend la description et la caractérisation des trajectoires du milieu d'une part et d'autre part la détermination des facteurs de changements.

La deuxième partie est consacrée à la présentation et à la description des outils et méthodes utilisées pour la modélisation spatiale des changements d'occupation du sol par approche prospective. Cette étape présente comment nous mettons en œuvre et mobilisons les données utiles pour la prospective territoriale spatialisée de la presqu'île de Libreville. Cela passe par la formalisation des processus de changements de l'occupation du sol (ou modélisation des changements observés) et l'élaboration des scénarios prospectifs a proprement dite. Les parties suivantes présentent les différentes étapes de l'approche méthodologique adoptée pour ce travail, les outils ainsi que les données utilisées.

3.2.1. Approche mobilisée pour le suivi des dynamiques paysagères

3.2.1.1. Méthode de description et caractérisation des trajectoires du milieu

Le territoire d'étude fera l'objet d'une analyse *rétrospective de l'occupation du sol* faite à partir des données satellites optiques disponibles. Cette étude repose d'une part sur les outils de télédétection et SIG pour le suivi des dynamiques passées et en cours, mais également sur l'utilisation des données de terrain pour la validation et la détermination des facteurs de changements. Un accent particulier est mis sur l'exploitation des données issues des enquêtes socioéconomiques pour comprendre ce qui a façonné le territoire, analyser les pratiques des populations locales et faire un lien avec les dégradations et les facteurs de dégradation du milieu. La caractérisation des trajectoires de changements d'occupation du sol passe par les classifications des données satellitaires. Les différentes étapes de cette analyse sont présentées dans la figure 27.

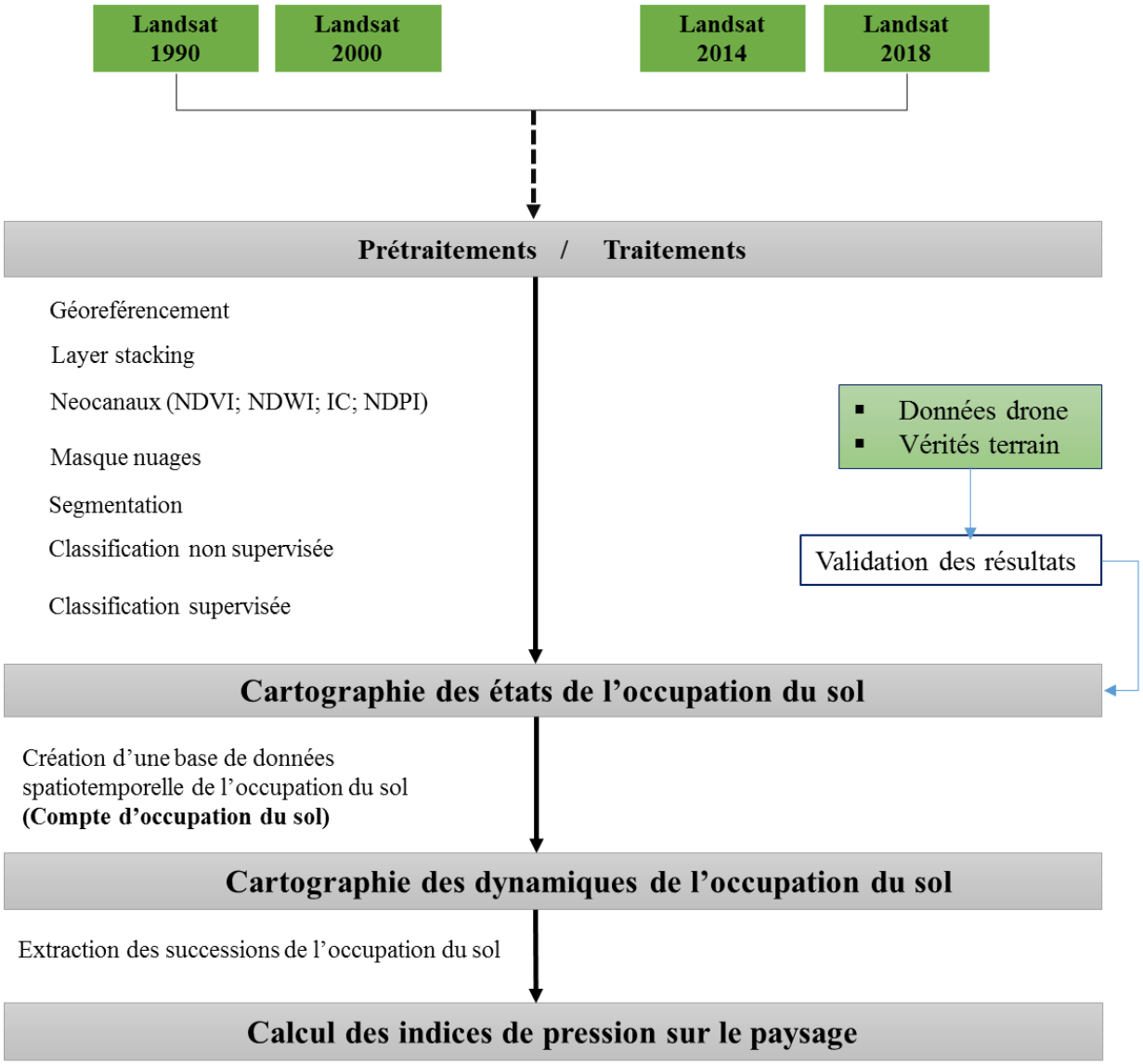


Figure 27 : Principales étapes méthodologiques du traitement des images pour la classification de l'occupation du sol à partir les images Landsat

Des analyses spatiales diachroniques (1990-2018) découlant de la cartographie de l'occupation du sol permettront d'identifier les facteurs de changements du milieu et de comprendre les mécanismes de changement. Des indicateurs pertinents seront sélectionnés afin de décrire quantitativement, qualitativement ou de façon évolutive, un aspect particulier des dynamiques spatiales. L'objectif est de mettre en évidence les facteurs de dégradation des écosystèmes forestiers et des dynamiques périurbaines. L'identification des facteurs de changements se base sur une approche orientée vers la compréhension des dynamiques des phénomènes territorialisés. Elle met l'accent sur la caractérisation et la connaissance des effets d'influences de chaque facteur sur le milieu.

3.2.1.2. Méthode pour la détermination d'indices de pression anthropiques sur les écosystèmes naturels

Un accent particulier est mis sur la détermination du processus de diffusion spatiale de l'artificialisation du territoire. En effet, l'objectif de la collecte de données de terrain était aussi d'observer un certain nombre *d'indices/indicateurs de pressions anthropiques*. Il s'agit des marqueurs anthropiques dynamiques qui menacent l'intégrité ou la stabilité des écosystèmes et qui ont un impact direct ou indirect sur le milieu. Ceux-ci concernent un corps d'activités et phénomènes sociaux qui permettent de dégager des indicateurs de mesure de la pression sur les écosystèmes naturels. Plus l'activité a de l'emprise sur le milieu, plus le coefficient attribué est élevé (Moussa Amadou, 2014). Le tableau 8 ci-dessous présente la grille de notation et d'appréciation des indices.

Note indice	1	2	3	4	5
Activité/indice	Insuffisant	Faible	Élevé	Très élevé	Critique

Tableau 8 : Classification des valeurs des indices de pressions anthropiques.

Le but de cette classification est de mettre en évidence les facteurs anthropiques ou les activités les plus impactant. Ces données *in situ,* permettront donc de construire des modèles pressions/impacts, qui sont à la fois explicatifs des changements observés et, prédictifs des potentiels changements.

Les modèles pressions/impacts reposent sur le calcul de l'indice des pressions anthropiques (IPA). Il correspond au rapport entre l'usage d'une ressource et sa disponibilité pour une unité spatiale de référence. Il permet de mesurer les pressions sur l'environnement par rapport à une ressource disponible (Nivet et *al.*, 2012). Appliqué aux écosystèmes forestiers, l'indice de pression sur les ressources végétales pour un usage spécifique est le rapport de prélèvement (Pi) et des disponibilités (Di) pour une unité spatiale de référence i (USR) (Moussa, Amadou, 2014). Il s'obtient par la formule suivante :

$$IP = Pi/Di$$

Pi = l'usage ou le prélèvement ;

Di = la ressource totale disponible

Cet indice sera particulièrement mobilisé pour analyse les pressions sur les écosystèmes forestiers (forêt de terre ferme et mangrove) dans la presqu'île de Libreville. Les unités spatiales de référence pour chaque catégorie sont définies sur la base des résultats de la classification de l'occupation du sol en année de départ. Si cette formule est utilisée au départ pour estimer la pression sur une ressource du couvert végétal (exemple l'exploitation du bois), dans notre cas, nous l'adaptons pour calculer la pression qu'exerce l'artificialisation (exemple agriculture, construction du bâti, etc.) sur l'ensemble de la surface forestière disponible. Ici, cet indice représente la proportion de surface d'un milieu soumis à une pression d'origine anthropique. Autrement dit, il rend compte du degré d'influence des activités humaines sur les écosystèmes forestiers.

En outre, les pressions sur les écosystèmes seront également mises en évidence en calculant le bilan ressources/usages (*Ibid.*). Il est obtenu par la différence entre les prélèvements et les disponibilités des ressources. Il s'obtient par la formule suivante :

$$Bi = Pi — Di$$

Pi = l'usage ou le prélèvement ;

Di = la ressource totale disponible

Ces indices peuvent être importants dans le processus d'aide à la décision pour les politiques de préservations des ressources et des espaces.

Pour l'analyse des dynamiques urbaines ou l'étalement du cadre bâti, nous calculons l'indice d'urbanisation (Rousseau, 2015). Il est élaboré sur la base les données pixélisées issues de la classification de l'occupation du sol. Il représente le degré de constructibilité pour chaque pixel. Cet indice représente une proportion de transformation avérée des autres catégories d'occupation du sol vers la classe bâtie. Il prend en compte, les contraintes physiques (pentes), règlementaires (aires protégées, parcs, etc.). Il est construit sur une approche probabiliste et permet d'estimer quelle catégorie d'occupation du sol a le plus de chance de devenir construite. Plus l'indice de constructibilité est élevé, plus les pixels ont une probabilité importante de devenir des zones construites. Il correspond à l'évolutivité de l'occupation du sol (*ibid.*).

Pour rendre cet indice plus performant, nous élaborons une carte des espaces attractifs et répulsifs pour la construction du bâti, sur lesquelles sera appliqué l'indice d'urbanisation. Les espaces attractifs au bâti sont des surfaces disponibles et constructibles, propices pour la construction du bâti. Les espaces répulsifs, sont des milieux non adaptés pour le bâti comme les zones marécageuses ou à très forte pente, dépourvue de toute commodité, mais que les populations en manques d'espaces utilisent pour la construction du bâti. La distinction entre ces deux milieux est nécessaire, car les dynamiques et les rythmes d'occupation ne sont pas les mêmes. Pour être mieux calibré, l'indice de constructibilité doit donc pouvoir tenir compte de ces deux paramètres. Ces résultats seront exploités pour élaborer un modèle pression/impact centré sur les

dynamiques foncières. Le critère physique est aussi pris en compte dans le modèle. La pente est considérée comme un paramètre physique limitant le potentiel de l'étalement du bâti. Une pente importante va réduire les possibilités de construction d'un bâti. Un Modèle numérique de Terrain (MNT) est utilisé pour calculer les pentes de la presqu'île de Libreville. L'objectif est d'établir un rapport entre la localisation ou progression du bâti et la pente afin de déterminer si elles sont des facteurs limitants ou non. Les différents zonages règlementaires sont pris en compte pour estimer le potentiel d'urbanisation de la zone d'étude. Cette dernière fait l'objet de plusieurs zonages règlementaires relatifs à la présence de zones à risque ainsi que de zones de protection de la nature. Ce sont des règlements limitant la construction du bâti. La distance à la route principale est un facteur important dans le processus d'occupation des espaces dans la zone de la presqu'île de Libreville. Plus on s'éloigne de la route, moins le bâti est important (ANPN, 2016). L'ensemble de ces critères est pondéré pour établir une carte de risque d'artificialisation sur du territoire. Cette partie consiste à produire les données qui serviront pour le développement des modèles spatiaux sur lequel repose la modélisation prospective du territoire.

En outre, cette analyse est aussi orientée vers la recherche et la mise en évidence des signaux faibles et des facteurs émergents. Le but est de dépasser la simple explication des dynamiques ou tendances passées et actuelles et de s'inscrire dans la prise en compte de la complexité des relations entre les composantes du système territoriales. En géographie, l'analyse de la complexité s'inscrit dans le cadre d'une approche systémique indispensable pour comprendre le fonctionnement d'un territoire. Cette étape constitue le socle sur lequel reposera l'analyse prospective spatialisée de l'occupation du sol.

3.2.2. Approche mobilisée pour la modélisation prospective de l'occupation du sol

La deuxième partie de notre travail est axée sur la modélisation prospective de l'occupation du sol qui est un outil de plus en plus exploité pour comprendre les systèmes sociogéographiques complexes. Cette thématique s'inscrit dans le cadre des travaux de recherches dans le domaine des risques territoriaux, d'origine anthropique. Elle vise aussi bien l'estimation des dynamiques possibles d'un ou plusieurs *aléas* dans la presqu'île Libreville, que les enjeux et leurs vulnérabilités en amont, pendant et en aval. L'approche privilégiée met l'accent sur des méthodes de détection de changements spatiotemporels en utilisant les modèles spatiaux. Ces modèles sont utiles pour la compréhension des territoires à risque et des dynamiques qui peuvent s'y exercer à des échelles spatiales et temporelles relativement fines. Cette partie se veut aussi bien méthodologique qu'appliquée. Elle vise deux principaux objectifs :

- La modélisation des processus anthropiques liés à la transformation des espaces dans la zone d'étude.
- La modélisation et simulation spatialement explicite des interactions entre différentes entités d'occupation du sol tout en prenant en compte les phénomènes émergents.

3.2.2.1. Modélisation spatiotemporelle des changements observés

Il s'agira dans un premier temps de modéliser les processus de transformation des entités d'occupation du sol par l'identification des relations entre les différentes classes. Cette modélisation reproduit les mécanismes qui ont entrainé les changements observés. Cette partie vise la maitrise, le suivi et la modélisation des changements d'occupation du sol à partir d'une série d'images satellitaires multi-dates et l'intégration d'autres facteurs explicatifs du phénomène étudié.

Les relations entre l'homme et son milieu sont très complexes. Cette complexité provient de la multiplicité des processus à l'œuvre dans les mécanismes de fabrique de territoires anthropisés. Une bonne connaissance des dynamiques globales de ce système passe nécessairement par la compréhension du fonctionnement des sous-systèmes qui le compose. Pour ce faire, nous faisons appel à la modélisation. Elle permet une synergie entre l'analyse des dynamiques et les trajectoires d'évolution d'un territoire selon différentes profondeurs temporelles.

La modélisation apporte une réponse conceptuelle à la problématique de l'analyse des changements. Ses méthodes et ses outils permettent d'aborder le concept de la complexité. Appliquée au territoire, elle permet d'interroger son fonctionnement en s'appuyant sur les interactions entre les éléments environnementaux et sociaux (Moine, 2007).

Si la géographie est la science qui étudie les relations entre la nature et la société, la modélisation est mobilisée dans le cadre d'un savoir-faire méthodologique qui permet de découvrir les lois d'organisations des espaces. Elle s'inscrit dans le cadre d'un processus que nous qualifions de ***déconstruction-reconstruction***. La déconstruction permet de mettre en exergue les règles de fonctionnement du système étudié. Elle va au-delà des simples représentations diachroniques ou de la succession des différents états du système. Une fois le système démantelé, c'est-à-dire que les différents niveaux d'organisation du système (sous-système) sont mis en évidence, il est désormais possible d'utiliser ces connaissances pour produire de nouvelles : c'est la reproduction. Il s'agit d'utiliser les informations ou connaissances (passé ou présent) du système pour prédire le futur.

3.2.2.2. Simulation spatiale des changements possibles : le choix de la méthode

Cette étape est consacrée à la simulation spatiotemporelle des interactions entre différentes entités d'occupation du sol. Elle passe par la construction de scénarios prospectifs et le choix de modèle de spatialisation adapté. Pour identifier les mutations susceptibles de bouleverser le territoire ou pour anticiper les transformations majeures du territoire, nous mobilisons les méthodes de la modélisation prospective spatialisée (Houet et *al.*, 2008). Ici, l'enjeu ne repose pas seulement sur la quantification des changements futurs, mais aussi et surtout sur leur localisation.

Valider le choix de l'outil de simulation : dans un article fondateur publié en 2014 par Mas et *al.*, une étude comparative des outils de modélisation et simulation a été réalisée afin d'aider les futurs utilisateurs à faire le choix du modèle le plus approprié à leur problématique. Cette approche comparative est basée sur la capacité des outils à reproduire les différentes étapes nécessaires pour une approche de modélisation à savoir : 1) l'estimation de la quantité de changement, 2) la caractérisation des changements observés par des variables explicatives, 3) l'allocation spatiale des changements, 4) la reproduction des patrons spatiaux, 5) l'évaluation de la performance du modèle et 6) capacités pour développer des modèles sophistiqués. Quatre principaux logiciels ont été étudiés, afin de mettre en exergue leur potentiel en termes de modélisation et simulation des changements d'occupation du sol. Les caractéristiques de chacun des outils sont répertoriées dans le tableau 9. Ces quatre modèles représentent les outils les plus utilisés en géographie pour la modélisation des changements d'occupation et d'usage des sols (Houet et *al.*, 2008). Le tableau 9 synthétise les méthodes et outils disponibles pour chacun des modèles évalués. Il est présenté à titre illustratif pour justifier notre choix.

Outils de modélisation	Quantité de changements	Probabilité du Changement	Relation variable d'influence/LULCC	Besoin de connaissances expertes	Dépendance aux données
CA_Markov	Chaîne de Markov	Carte d'aptitude	Évaluation multicritères	Oui	Non
CLUE-S	Données externes	Carte d'aptitude	Régression logique	Non	Oui
DINAMICA	Chaîne de Markov Données externes	Probabilité de transition	Poids d'évidence Algorithme génétique	Oui Non	Oui Oui
LCM	Chaîne de Markov Données externes	Probabilité de transition	Régression Logique Perception multicouche	Non	Oui

Tableau 9 : Caractéristiques des outils de modélisation (source : Mas et al., 2014)

Pour la simulation de l'occupation du sol, nous avons choisi de travailler avec la plateforme de prédiction *Land Change Modeler (LCM)* implémentée dans le logiciel Idrisi TerrSet. Le choix d'un outil de simulation dépend des objectifs visés et de la problématique. LCM répond à la démarche de modélisation choisie dans le cadre de notre recherche à savoir, la projection des surfaces de changements futurs, la production des cartes de probabilité de changement, des cartes des modes d'occupation et usages des sols futurs. La flexibilité et la capacité de cet outil à effectuer ces différentes tâches ont été objectivées par son utilisation dans plusieurs études scientifiques (Aguejdad, 2014 et 2010 ; Mas et *al.*, 2014 ; Lecerf, 2009 ; Houet et *al.*, 2008 ; Oloukoï, 2007).

Le modèle LCM est décomposé en cinq tâches principales, chacune avec ses sous-tâches et ses produits.

- La première tâche, « *change analysis »,* est destinée à l'analyse des changements d'occupation et utilisation des sols passés ou présents. On commence par le paramétrage du modèle en définissant les *inputs*, c'est-à-dire les données en entrées du modèle. Ce sont généralement des cartes d'occupation et d'usages des terres à des dates différentes et générées par classification d'image. D'autres données supplémentaires comme le réseau routier ou les altitudes, la distance à la route, les pentes, les zonages règlementaires, etc., peuvent être spécifiées au départ.

L'analyse de changement permet de produire *les cartes de changements* d'occupation et d'usage du sol, d'une part, et les *tendances de changements*, d'autre part. Les premières correspondent à l'ensemble des dynamiques spatiotemporelles de chaque unité du paysage qui se sont produites entre deux dates. Elle permet d'observer les différentes transitions entre une ou plusieurs classes, de voir les surfaces qui ont changé et celles qui au contraire sont restées stables. On peut donc analyser les progressions, les régressions, la stabilité des surfaces et voir le résultat soit de façon cartographique soit de façon graphique.
L'ensemble des données issues de l'analyse des changements permet de dégager les tendances de changement pour chaque catégorie d'occupation du sol. Cette sous-tâche indique, pour l'ensemble du territoire, les surfaces ou classes pour lesquelles les changements ont été les plus intenses. Ces tendances sont généralement représentées par des valeurs décimales qui varient de 0 à 1. Plus la valeur est proche de 1, plus la tendance au changement d'une classe d'occupation du sol est élevée. Quand elle tend vers zéro, la tendance ou l'intensité de la classe au changement est faible. Le potentiel de transition détermine la probabilité d'une classe à se transformer en une, ou plusieurs classes.

- La deuxième tâche, « *transition potentials* », est consacrée à la modélisation du potentiel de transition d'une classe d'occupation des sols vers une autre. Ici, il s'agit d'évaluer la susceptibilité au changement. Cette tâche est organisée en plusieurs sous-tâches. Au préalable, il faut construire un sous-modèle de transition. Il définit les principales transitions qui se sont opérées entre les unités du paysage. Celui-ci est composé d'un utilitaire qui permet de transformer les variables explicatives de changements en fichier quantifiable. Chaque variable sélectionnée est testée afin d'évaluer leur poids dans la conduite des changements ou leur capacité à influencer le changement. Les résultats sont des cartes correspondant aux facteurs explicatifs des changements des types d'occupation des sols. Une fois la structure du sous-modèle de transition élaborée, nous pouvons l'exécuter.

- La troisième tâche, « *change prédiction* » est dédiée à la prédiction des changements probables d'occupation des sols. Cette tâche a pour objectif de déterminer les surfaces des classes d'occupation du sol qui vont changer après la simulation spatiale et temporelle. Elle est composée d'un sous-modèle

de *demande de changement* qui estime la quantité des changements futurs. Pour prédire les changements, d'autres données ou fichiers peuvent être ajoutés au modèle afin de le rendre plus robuste. Il s'agit notamment des fichiers décrivant la dynamique du développement du réseau routier si ces derniers sont des facteurs de changements du milieu. Une fois paramétré et exécuté, le sous-modèle *d'allocation spatiale du changement* détermine les surfaces d'occupation du sol qui vont potentiellement changer, c'est-à-dire qu'il opère une distribution spatiotemporelle des changements. Le résultat se présente sous forme de carte prédictive d'occupation du sol et d'utilisation du sol à un temps T+ n. Cette tâche comporte à la fin un module qui permet de procéder à l'évaluation ou la validation des cartes produites.

- La quatrième étape *« planning »,* consiste à définir et évaluer les éléments de contrainte ou d'incitation (les politiques) qui favorisent une gestion environnementale durable. Elle prend en compte les infrastructures prévues dans les politiques d'aménagement telles que la planification de nouvelles routes, ou autre élément structurant. Cette étape permet donc d'évaluation des politiques de gestion visant à maintenir un environnement durable.

- La cinquième étape consiste en l'évaluation de ses impacts sur l'environnement. Il s'agit d'analyser les répercussions des différents scénarios et des cartes simulées sur l'environnement en termes de biodiversité, d'habitat ou de paysage. Le fonctionnement général du modèle est présenté dans la figure 28 ci-dessous.

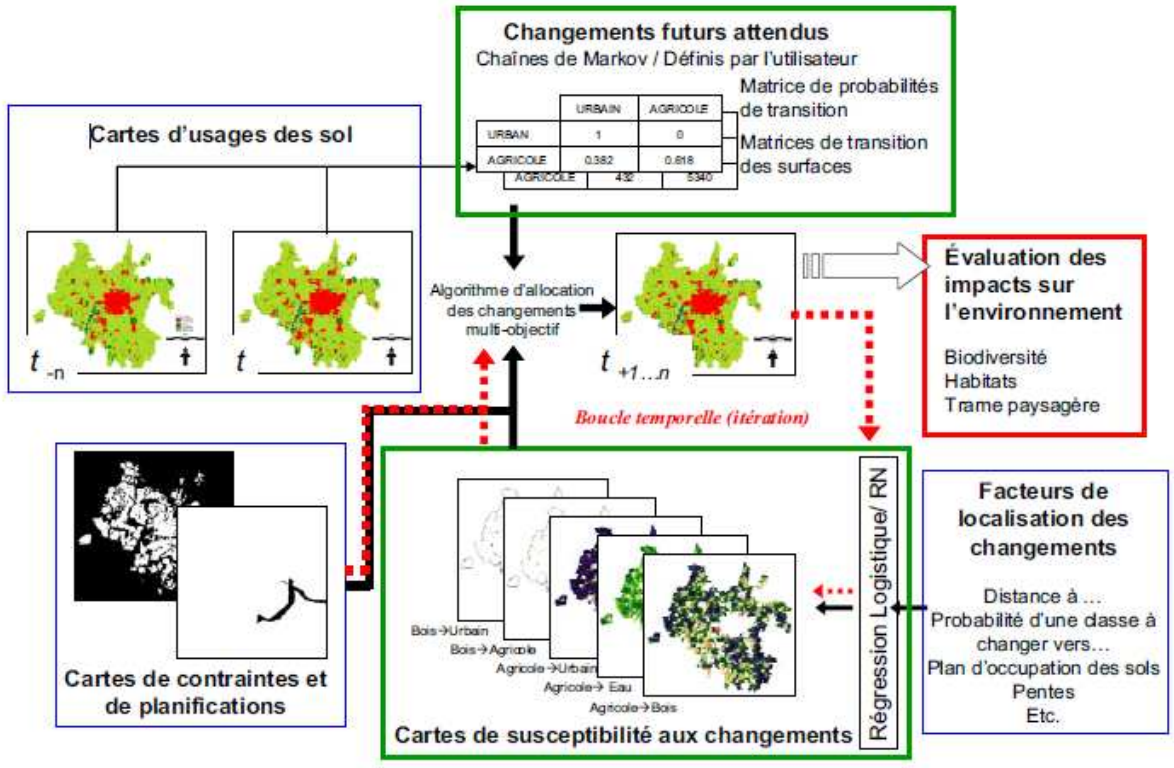


Figure 28 : Présentation générale du fonctionnement du modèle LCM (Aguejdad et Houet, 2008)

3.2.2.3. Approche pour l'évaluation des quantités et des probabilités de changement

Avec LCM, la quantité de changement est calculée à l'aide du modèle *chaînes de Markov*. Le résultat se présente sous la forme d'une matrice de transition. Cette dernière, qui indique la surface (ou le nombre de pixels) pour chaque transition, est obtenue par la comparaison de cartes d'occupation du sol à deux dates (T0 et T1). Elle peut être transformée en une matrice de probabilité de transition qui permet de réaliser des projections à une ou plusieurs dates futures (Tn). Les projections à une date future (Tn) sont réalisées, soit en un seul pas de temps, soit suivant un nombre d'itérations ayant une signification temporelle précise (Houet et *al.*, 2014). LCM prend en compte les erreurs qui peuvent survenir des classifications d'images satellitaires et donc tient compte de la fiabilité des cartes d'occupation du sol en corrigeant des valeurs des probabilités de la matrice. En effet, les méthodes de classification ne permettant pas de réaliser des cartes parfaites, cette option permet donc de relativiser la confiance apportée aux quantités estimées de changements attendus (*ibid.*).

L'évaluation de la probabilité de changement dépend des facteurs explicatifs de changements. LCM calcule la probabilité de chaque transition à partir de la relation entre les variables explicatives et les transitions observées entre T0 et T1. Il propose d'utiliser soit un réseau de neurones (perceptron multicouche) pour produire la carte de probabilité, soit une régression logistique. Pour la réalisation des cartes de probabilité de changements, les variables explicatives doivent au préalable être traitées. Ce traitement consiste à attribuer une valeur quantitative à chaque variable. En effet, pour élaborer les cartes de probabilité des changements d'un type d'occupation du sol vers un autre, le modèle de simulation LCM procède à une représentation quantifiée des variables explicatives. Le poids de chaque variable ou leur probabilité de changement est calculé en fonction des pixels ayant connu un changement. Chaque facteur est transformé en variable catégorielle sur lesquelles seront calculées les probabilités de changement.
Des outils tels que l'indice V de Cramer, le coefficient de corrélation et l'indice de Kappa permettent d'évaluer la corrélation entre les cartes, afin de sélectionner les variables à conserver ou non. Les poids de chaque variable sont calculés indépendamment et leur capacité à influencer le changement repose sur des méthodes utilisant l'intelligence artificielle (réseaux de neurones), et les modèles de régression logistique. Ces derniers prennent en compte simultanément toutes les variables explicatives.

Procédures d'allocation spatiale des changements et leur simulation : sur la base des cartes de probabilité de changements réalisées, l'algorithme sélectionne les pixels qui connaitront un changement. Sont prioritairement sélectionnés, les pixels qui présentent une forte probabilité au changement. LCM fait usage d'une procédure d'affectation des changements dite *multiobjective* basée sur les probabilités des différents types d'occupation du sol et la quantité de changement produite précédemment (Aguejdad, 2014).

LCM utilise également plusieurs sous-modèles comme les chaînes de Markov, un modèle de régression logistique, les automates cellulaires, un réseau neuronal, perceptron multicouche pour reproduire les dynamiques spatiales et temporelles de l'occupation et utilisation des sols. LCM tend à favoriser les zones à proximité directes de la route et celles étant à la même altitude. Il simule de façon dynamique et spatialement explicite les changements d'occupation des sols sur de larges territoires (*ibid.*).

Approche pour l'évaluation des simulations : la fiabilité des résultats des modèles de simulation spatiale des changements d'occupation des sols est sujette à des incertitudes (Ferchichi, 2017 ; Antoni, 2006). Le rôle de l'évaluation des simulations est d'accroitre la plausibilité ou le degré de confiance des résultats des scénarios prospectifs, en montrant la capacité du modèle à reproduire une situation semblable à la réalité. Dans la littérature scientifique, il existe plusieurs démarches de validation des cartes simulées (Maestripieri et *al.*, 2017 ; Aguejdad et *al.*, 2016 ; Mas et *al.*, 2011). La plupart des méthodes d'évaluation procèdent par comparaison entre une carte de la situation réelle et une carte simulée de cette même situation. Il s'agit de la reproduction des dynamiques ou simulation sur une période passée (Houet et *al.*, 2014). En d'autres termes, cette approche permet d'évaluer la coïncidence spatiale entre les changements réellement observés et les changements simulés. L'autre approche consiste en la réalisation de tests de sensibilité et d'intégration. Les premiers permettent de s'assurer que l'ensemble des processus sont convenablement simulés par le modèle. Les seconds s'assurent que l'interaction de ces processus n'entrave pas leur fonctionnement respectif (Houet et *al.*, 2007).

Pour ce faire, *Land Change Modeler* offre deux moyens d'évaluer la fiabilité des résultats en fonction du type de cartes produits. Il s'agit de la méthode ROC (*Relative Operating Characteristics)* pour les cartes de probabilité aux changements et l'indice Kappa pour les cartes catégorielles d'occupation et utilisation du sol (Ponce, 2000). Une coïncidence forte entre la carte simulée et la carte réelle exprime la capacité du modèle à prédire les changements et augmente la confiance vis-à-vis des résultats.

Conclusion du chapitre 3

L'objectif principal de ce chapitre était de proposer une méthode de suivi et de simulation des changements d'occupation du sol à travers des scénarios prospectifs. Pour ce faire, nous avons choisi d'appliquer une méthode existante à savoir la géoprospective ou prospective territoriale spatialisée. Cette approche requiert, dans un premier temps, la construction de la base de connaissance sur les dynamiques passées d'occupation du sol. Cette dernière est rendue possible par la classification des images satellitaires. Un accent est mis sur l'identification des facteurs de changements passés et actuels et l'analyse des données de terrain. Celles-ci permettent d'expliquer les changements paysagers par l'analyse des mécanismes de causes à effets. Ici, les données de terrain ont pour vocation de servir d'appui aux résultats de la télédétection, par l'analyse des corrélations entre les facteurs de changement et les dégradations observées.

Après la construction de la base de connaissance, la seconde phase consiste en la formalisation des processus de changements d'occupation du sol suivi de l'élaboration des scénarios. L'approche modélisatrice sera mise en œuvre dans la plateforme de prédiction *Land Change Modeler (LCM)* implémentée dans le logiciel Idrisi TerrSet. Le choix de cet outil de simulation dépend des objectifs et de la problématique. LCM répond à la démarche de modélisation choisie à savoir, la projection des surfaces de changements futurs, la production des cartes de probabilité de changement, des cartes des modes d'occupation et usages des sols futurs. La flexibilité et la capacité de cet outil à effectuer ces différentes tâches ont été objectivées par son utilisation dans plusieurs études scientifiques (Aguejdad, 2014 et 2010 ; Mas et *al.*, 2014 ; Lecerf, 2009 ; Houet et *al.,* 2008 ; Oloukoi, 2007).

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

L'objet de cette première partie est triple et a été décliné en trois chapitres distincts.

Le but de premier chapitre était de présenter, à travers une analyse bibliographique, la façon dont la question de modélisation des dynamiques paysagères ainsi que l'évaluation de leurs impacts étaient abordées. Ainsi, les différents aspects conceptuels et méthodologiques couramment mobilisés pour appréhender les changements d'occupation du sol d'une part et ceux mobilisés pour la modélisation prospective ont été présentés. Un accent particulier a été mis sur les différentes approches couramment utilisées pour le suivi des changements d'occupation du sol ainsi que les outils utilisés. Un des enjeux réside dans les capacités d'identification des entités d'occupation du sol et la quantification des changements. Les outils de la télédétection permettent de répondre à cette exigence par le recours aux images, ayant des résolutions spatiales de plus en plus fines. Les approches de la modélisation des changements d'occupation des sols sont nées de la nécessité d'anticiper les changements spatiaux et de l'évaluation de leurs effets possibles sur l'environnement. Les différentes approches de la modélisation dynamique ont été passées en revue ainsi que l'évolution de la prospective, caractérisée par l'intégration de la dimension spatiale à la prospective au travers des modèles.

Le chapitre deux (2) est une introduction à la connaissance de la zone d'étude. Son but est de présenter les caractéristiques sociogéographiques et de mettre en évidence les dynamiques et le mode de gestion de ce territoire. Cette analyse est orientée vers les zones périurbaines forestières et semi-forestières et les facteurs qui induisent leurs changements. Les résultats montrent que la zone d'étude est en territoire dominé par une forte pression démographique et une gestion foncière mal maitrisée. Par conséquent, l'espace urbain ne cesse de s'étendre et d'exercer des pressions accrues sur les écosystèmes naturels. La connaissance de la zone d'étude ainsi que son mode de fonctionnement sont utiles, car elle nous permet d'affiner le choix des outils et méthodes adapter au territoire pour le suivi des changements d'usages des terres.

Le chapitre trois (3) a pour objectif de proposer une méthodologie, de suivi des dynamiques paysagères, adaptée au territoire d'étude. Cette dernière est basée à la fois sur l'usage des modèles et des données de terrain pour comprendre et expliquer les changements passés et en cours d'une part et, de pouvoir anticiper ou projet leurs effets possibles d'autre part. Pour ce faire, la modélisation prospective spatialisée a été choisie. Cette dernière répond parfaitement aux objectifs définis. L'enjeu est la spatialisation des changements futurs à travers des scénarios qui décrivent assez bien les processus à modéliser. Cette approche nous permettra de mettre en évidence les changements possibles d'occupation du sol à travers l'étape suivante : la cartographie de l'occupation du sol ; la mesure ou quantification des changements observés, la simulation des changements futurs et leur spatialisation à travers des scénarios.

PARTIE II

ANALYSE MULTISCALAIRE DES TRAJECTOIRES D'OCCUPATION ET D'USAGE DES TERRES ETDÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS OBSERVÉS

PARTIE II : ANALYSE MULTISCALAIRE DES TRAJECTOIRES D'OCCUPATION ET D'USAGE DES TERRES ETDÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS OBSERVÉS

Cette partie propose d'améliorer l'état des connaissances des dynamiques de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville, à travers un suivi diachronique et multi-échelle en utilisant les données aérospatiales et les investigations de terrain. Elle est composée de trois chapitres. Le premier (chapitre 4) est consacré à l'analyse de l'évolution historique de la configuration des paysages à une échelle régionale. Son but est de faire un état des lieux des dynamiques passées et en cours, qui permettront d'appréhender les changements ainsi que leur trajectoire de manière globale. Seront analyser ici, les différents états de l'occupation du sol en 1990, 2000, 2014 et 2018, leur dynamique de changement ainsi que les modifications qui en découlent.

Le second chapitre de cette partie (chapitre 5) s'intéresse aux dynamiques à l'échelle locale. Son but est d'appréhender les trajectoires de changements de mères fines. Un accent particulier est mis sur l'étude de la déforestation et dégradation forestière (forêt de terre ferme et mangrove) liée aux pratiques des populations locales. Il fournit plusieurs résultats intermédiaires sur l'artificialisation des terres, la fragmentation et la dégradation forestière. Ces deux chapitres fournissent un premier diagnostic sur l'intensité des changements et des dynamiques dans leur ensemble. Ils visent de minière spécifique à caractériser les changements spatiotemporels de l'occupation du sol entre 1990 et 2018, à identifier les facteurs de changements, à suivre leur évolution ainsi que l'évaluation de leurs impacts sur les écosystèmes naturels.

Le troisième chapitre de cette partie (chapitre 6) est consacré à la détermination des facteurs qui ont conduit aux changements observés. Son but est d'analyser la part contributive de chaque facteur dans les changements réellement observés, et distingue les facteurs spatialisables des facteurs de changements non spatialisables. Ces derniers ainsi que les processus qui les engendrent sont identifiés et hiérarchisés suivant deux temporalités (passé et en cours) par les populations interrogées. Dans cette étape, le recours aux données de terrain est indispensable.

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES CHANGEMENTS PAYSAGERS PAR TÉLÉDÉTECTION À L'ÉCHELLE DE LA PRESQU'ÎLE DE LIBREVILLE

Les changements d'occupation du sol sont des indicateurs de la santé des écosystèmes naturels. Ils ont des conséquences néfastes pour l'environnement et les sociétés humaines. La connaissance de leurs dynamiques permet donc de diagnostiquer la santé des écosystèmes. Dans la presqu'île de Libreville, les dynamiques de changement paysager restent peu connues, bien que visibles. Il en est de même pour les facteurs qui les engendrent. Les effets induits des changements d'occupation du sol de cette région intercommunale ne sont pas maitrisés et les recherches à cette échelle sont peu nombreuses.

Au regard de ce qui précède, ce chapitre est entièrement dédié à l'analyse diachronique des changements d'occupation du sol passée et en cours. Ces changements sont d'abord analysés et caractérisés à l'échelle de toute la presqu'île de Libreville. Le but est de dégager les tendances générales, c'est-à-dire appréhender les trajectoires de changements dans leur ensemble. Ici, nous nous intéressons aux grands ensembles d'occupation du sol. Cette analyse repose sur l'identification des catégories d'occupation du sol. Elles doivent être le plus vraisemblables possible afin de minimiser les erreurs dans l'estimation des surfaces. Elles doivent également avoir un lien direct avec la problématique.

Ce chapitre est composé de deux sections. La première a pour but d'identifier les entités d'occupation du sol et de déterminer ou calculer leur proportion respective. La seconde section est consacrée à l'analyse diachronique des dynamiques d'occupation du sol et à l'interprétation des modifications observées. Ces données statistiques constituent la base de connaissance des dynamiques territoriales. Elles sont indispensables pour la simulation des changements. L'ensemble des éléments évoqués en introduction de ce chapitre sont présentés dans les sections qui suivent.

4.1. Identification spatiale des entités d'occupation du sol

L'identification spatiale des entités d'occupation du sol regroupe l'ensemble des méthodes et techniques qui permettent la différenciation des objets sur les images satellitaires. Le but est de minimiser au maximum les erreurs de confusion des classes d'occupation du sol lors des processus de classifications et d'assurer une haute précision de l'identification des objets spatiaux.

Cette étape passe par la création des néo-canaux, qui sont de nouvelles images que l'on obtient en combinant plusieurs sources d'informations de manière à synthétiser, extraire certaines caractéristiques ou certaines propriétés de données peu visibles sur les canaux d'origines. La plupart de ces néo-canaux existent et sont couramment utilisés pour effectuer des transformations multispectrales. Il s'agit d'opérations post-classification dont le but est de préparer les images pour les traitements finaux (les classifications).

En fonction des catégories d'occupation du sol retenu, des indices adaptés ont été sélectionnés. La zone d'étude ne dispose pas de données de référence sur l'occupation du sol. Pour cela, un accent est mis sur la précision ou la validation des classes d'occupation du sol, car elle conditionne aussi les opérations de modélisation et simulations des changements.

4.1.1. Traitements des images et validation des résultats des classifications

4.1.1.1. Les prétraitements : création des néo-canaux

Les données à référence spatiale ont été obtenues et utilisées dans la présente étude. Les images sont issues des capteurs Landsat 4 (1999), Landsat 7 (2000) et Landsat 8 (2014 et 2018). La résolution spatiale de toutes ces images est de 30 m. Dans le cadre de ce travail, les indices retenus ainsi que leurs caractéristiques spécifiques sont présentés et décrits dans le tableau 10. Le choix de ces indices est étroitement lié à la configuration des grands ensembles paysagers de la presqu'île de Libreville, un territoire dominé par le couvert végétal, les surfaces en eau et les surfaces artificielles. Ainsi, chaque indice retenu permet de mettre en évidence ou d'identifier des aspects particuliers de ces grandes entités du paysage.

Indices	Équations	Caractéristiques
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index	(1) $NDVI = \frac{(PIR-R)}{(PIR+R)}$	Varie entre -1 et 1 et mets en valeur les différences entre la végétation et les éléments non végétaux.
BI : Brightness Index	(2) $BI = \sqrt{MIR^2} + \sqrt{R^2}$	Mets en évidence les surfaces à forte réflectance.
IC : Indices de Cuirasse	(3) IC = 3 x V — R — 100	Permet de mettre en évidence les sols nus. Fait une distinction entre les sols nus et les surfaces bâties.
NDWI: Normalized Difference Water Index	(4) $NDWI = \frac{(PIR - SWIR)}{(PIR + SWIR)}$	Permet d'identifier les plantes ayant une forte teneur en eau. Elles vont refléter une valeur de NDWI proche de 1.
NDPI: Normalized Difference Pond Index	(5) $NDPI = \frac{(SWIR - Green)}{(WWIR + Green)}$	Permet de mettre en évidence les surfaces en eau

Tableau 10 : Caractéristiques et description des indices utilisés

Ces indices ont été calculés pour chacune de nos images. Ils ont par la suite permis la création des néo-canaux pour l'identification des différentes classes d'occupation du sol. Pour ce faire, nous avons donc procédé à un assemblage de tous ces néo-canaux sous un même fichier raster pour maximiser la différenciation des entités spatiales d'occupation du sol. Ainsi, pour identifier la végétation, nous avons procédé à une composition colorée en combinant le NDVI en néo-canal, le PIR et la bande Rouge.

L'identification des surfaces en eau s'est faite avec la composition colorée comportant le NDTI en néo-canal, PIR-MIR-Blue. L'identification des sols nus et du bâti s'est faite grâce à la composition colorée combinant respectivement l'IC ou l'IB en néo-canal et les bandes Vert et Bleu. La combinaison des néo-canaux et des bandes a permis une bonne discrimination des grandes catégories d'occupation du sol. Les différentes classes sont nettement plus distinctes sur la nouvelle image que sur les images d'origines (fig.29).

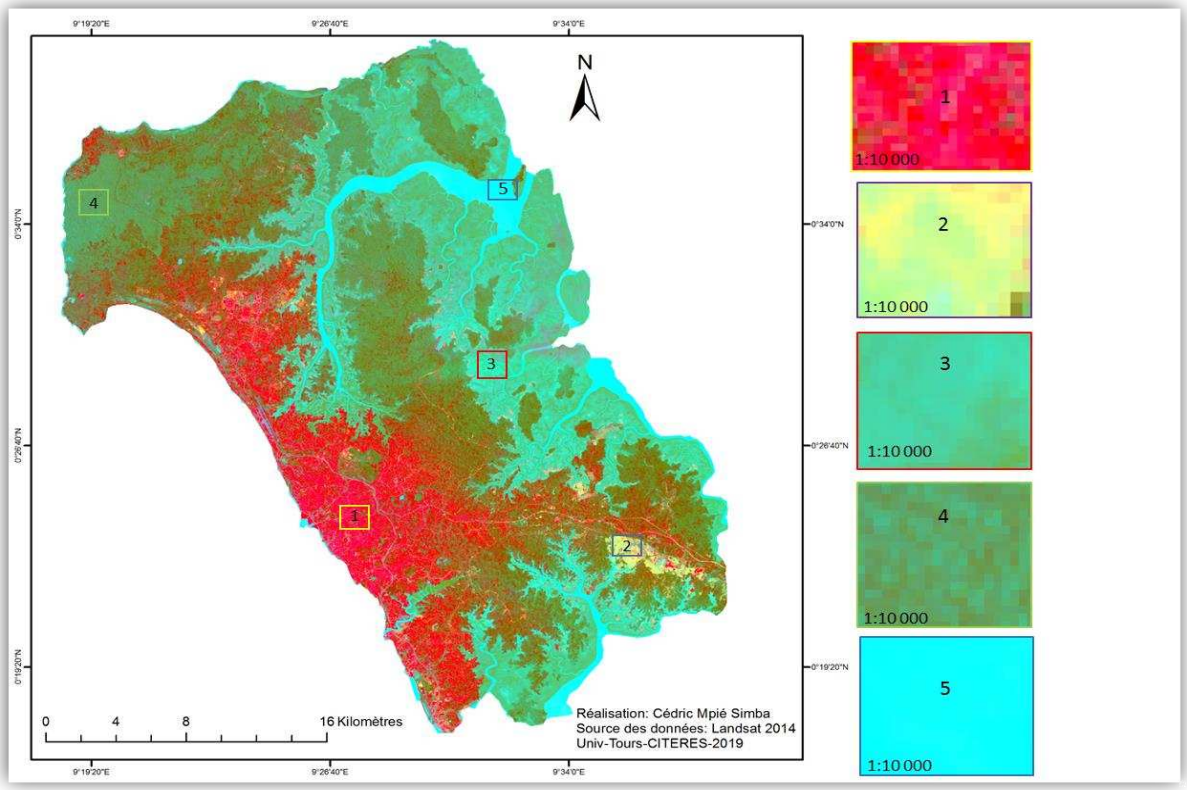


Figure 29 : Les grands ensembles d'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville. Composition colorée : NDVI-IC-NDPI. 1 : surface bâtie ; 2 : Sols nus ; 3 : Mangroves et forêts humides ; 4 : forêts ; 5 : Eau

D'autres prétraitements comme, la création des masques de nuages et leurs ombres, le calage d'images, le « mosaïquage » et la fusion d'image ont été réalisés afin d'assurer la cohérence des résultats et leur comparabilité. Des images aériennes d'une précision fine comme les données drones ont été utilisées pour cartographier certains sites. Ces données sont utiles et ont été introduites à différents stades d'analyse soit en complément d'information soit pour la validation des résultats. Plusieurs indices de végétation ont été développés au cours des 20 dernières années. Mais dans la littérature scientifique, le NDVI est le plus couramment utilisé pour distinguer la végétation verte des zones non végétalisées. Les jeux de données Landsat 4 et 7 TM ont été acquis pour les années 1990 et 2000. Elles contiennent 7 bandes chacune (bandes 1 à 7). Les bandes utilisées afin de générer le NDVI sont la bande 3 (sensibilité spectrale : 0,63 - 0,69 µm et correspond au domaine rouge : Red) et la bande 4 (sensibilité spectrale : 0,76 - 0,90 µm et correspond au domaine du proche infrarouge : NIR) conformément à l'équation (1). Les jeux de données

Landsat 8 OLI/TIRS couvrent les années 2014 et 2018 avec 11 bandes chacune (bande 1 — bande 11). Ici, le NDVI est obtenu avec la bande 4 (sensibilité spectrale : 0,63 - 0,67 µm et correspond au domaine du rouge : Red) et la bande 5 (sensibilité spectrale : 0,85 - 0,88 µm et correspond au domaine du proche infrarouge : NIR). Les cartes de série temporelle de NDVI ont été calculées et produites à l'aide de l'équation 1 (tableau 10). On constate que les valeurs de NDVI pour la presqu'île de Libreville ont été modifiées au fil des ans. En effet, pour l'année 2000, elles étaient comprises entre -0,50 et 0,49. Pour l'année 2014, les valeurs de NDVI étaient comprises entre -0,16 et 0,60. En 2018, elles se situent entre -0,09 et 0,49. Ces variations peuvent être dues aux caractéristiques phénologiques de la végétation. Les valeurs positives indiquent une couverture de végétation verte tandis que les valeurs négatives indiquent les autres classes d'occupation du sol (fig.30).

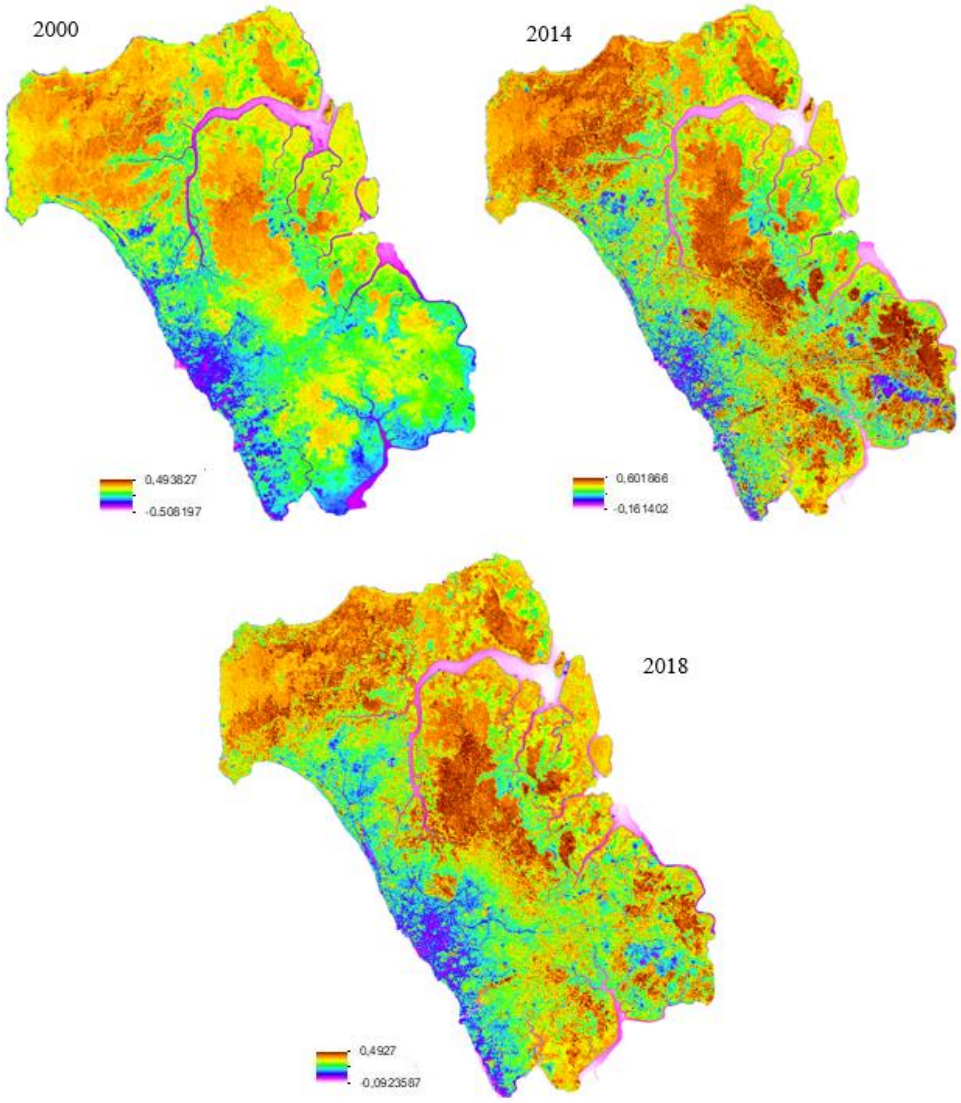


Figure 30 : Variation de l'indice de végétation entre 2000, 2014 et 2018

Dans le détail, ces valeurs correspondent aux surfaces bâties, aux surfaces en eau, aux sols nus. Les résultats globaux de la classification des valeurs de NDVI sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces

résultats détaillés des cartes de l'indice de végétation montrent que le couvert végétal occupe une large surface du territoire. Il est composé de trois grandes catégories à savoir la mangrove, la forêt tropicale dense et la forêt tropicale claire dont les valeurs sont majoritairement positives (tableau 11).

Couverture du sol	Intervalle des pixels 2000	Intervalle des pixels 2014	Intervalle des pixels 2018
1. Sol nu	-0,44 — 0,17	-0,16 — 0,32	-0,07 — 0,32
2. Eau	-0,50 — 0,01	-0,12 — 0,18	-0,09 — 0,27
3. Bâti	-0,39 — 0,34	-0,16 — 0,54	-0,05 — 0,49
4. Végétation dense	0,15 – 0,47	0,14 – 0,57	0,21 – 0,43
5. Végétation claire	0,079 – 0,49	0 — 0,60	0,11 – 0,48
6. Mangrove	-0,34 — 0,39	-0,058 — 0,50	0,12 – 0,43

Tableau 11 : Correspondance des valeurs du NDVI par catégories d'occupation du sol

Les valeurs de NDVI négatives des classes de mangrove en 2000 et 2014 s'expliquent par le fait que ces derniers sont des forêts inondées, donc elles ont une forte teneur en eau (ou par le passage du satellite à marée haute). On peut également constater que les classes comme les sols nus ou les surfaces en eau ont des valeurs soit inférieure à zéro soit proche de zéro. La distinction de ces éléments nous a permis d'affiner nos classes d'occupation et d'assurer une meilleure séparabilité des objets. Les valeurs susmentionnées de 2000, 2014 et 2018 ont été traitées et comparées aux classes d'occupation du sol afin de faire un suivi des changements du couvert forestier dans le chapitre suivant.

4.1.1.2. Validation de la précision des classifications

L'analyse de la fiabilité des cartes d'occupation du sol est réalisée à partir de l'élaboration des matrices de confusions. Cette dernière détermine, d'une part, la précision globale de la classification et l'indice kappa, d'autre part, elle détermine aussi la précision de chaque classe d'occupation sol. Ainsi, les matrices ont été réalisées pour chacune des images retenues dans le cadre de cette étude. Les résultats sont présentés dans le tableau 12.

Couverture du sol	Numéro de classes	1990 (%)	2000 (%)	2014 (%)	2018 (%)
Forêt dense	1	73,00	71,97	97,98	96,10
Forêt claire	2	63,95	92,13	78,06	80,90
Mangrove	3	99,97	99,50	99,28	99,82
Sols nus	4	61,43	92,20	98,73	73,56
Surfaces bâties	5	96,17	98,51	99,68	98,56
Surfaces en eau	6	100	99,78	98,12	98,84
Précision globale		**88,59**	**88,96**	**96,06**	**96,41**
Indice Kappa		**0,85**	**0,85**	**0,94**	**0,95**

Tableau 12 : Synthèse des résultats sur la fiabilité des cartes d'occupation du sol produites. Sont reportés dans ce tableau, les précisions des catégories d'occupation du sol pour chaque année retenue, la précision globale de chaque carte ainsi que l'indice kappa.

Les résultats des classifications ont été évalués à partir des données de référence, notamment, pour l'année 2018 et 2014 (données drones et points GPS acquis pendant les sorties de terrain). Les images plus anciennes comme celles de 1990 et 2000, on fait l'objet d'une validation automatique assistée par l'ordinateur. Elle consiste en l'identification et à la sélection des zones d'intérêts composés de pixels purs qui seront par la suite comparés aux pixels des régions d'intérêts ayant servis pour la classification des images. L'évaluation finale des classifications a montré de bons résultats, avec une précision globale moyenne de plus de 92 % et des indices kappa avec accord parfait ou presque parfait (Tableau 12). Dans l'ensemble, les résultats de l'évaluation des catégories d'occupation du sol sont excellents. Le niveau de fiabilité élevé des classifications est aussi lié au faible nombre des classes et à l'échelle d'analyse. En effet, cette première analyse concerne un territoire plus vaste (la presqu'île de Libreville) qui compte quatre communes (Libreville, Akanda, Owendo et une partie de la commune de Ntoum). Par conséquent, les classes à distinguer ne sont constituées que des grands ensembles d'occupation du sol, ce qui réduit significativement la marge d'erreur et la confusion des pixels du fait de l'agrégation dans une classe de plusieurs sous-classes. C'est le cas par exemple des sols nus qui regroupent aussi les zones de sable, les estrans vaseux ou la mangrove, dans laquelle nous avons aussi des forêts inondées et les tannes.

Les images ont fait l'objet d'une classification basée sur une approche orientée objet avec le logiciel Idrisi TerrSet. L'échelle d'analyse adoptée (la presqu'île de Libreville) analyse les dynamiques des grands ensembles de l'occupation du sol. Ici, les images ont été segmentées en objets homogènes et les classes d'occupation du sol affectées de façon supervisée, selon une classification au plus proche voisin en 6 catégories à savoir « les forêts denses », « les forêts claires », « les surfaces de mangrove », « les surfaces bâties », « les sols nus » et « les surfaces en eau » (tableau 12). Ici, la texture, la taille, la forme et les relations de voisinage sont des critères qui ont été retenus pour la classification. Une fois validés, les résultats de ce premier niveau de classification ont été analysés et comparés les unes aux autres de manière diachronique. Ces données nous ont permis de constituer les comptes d'occupation des sols, qui sont des unités analytiques et seront utilisés comme éléments de base pour le suivi des dynamiques et des pressions anthropiques sur les écosystèmes naturels.

4.1.2. États de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 19 990 et 2018

Cette section présente les résultats des classifications de l'occupation du sol aux différentes dates ainsi que les analyses des dynamiques, des croisements de classifications. L'idée ici, c'est de poser un premier diagnostic, d'identifier et de caractériser les principaux changements d'occupation du sol ainsi que leurs trajectoires d'évolutions. Rappelons que ce travail a pour objectif, l'étude de la dynamique de l'occupation du sol en combinant les méthodes issues de la télédétection et SIG en plus des méthodes classiques d'investigation de terrain. L'atteinte de cet objectif passe par l'élaboration d'une cartographie des états

successifs de l'occupation du sol comprenant : un état considéré comme *initial*, un état *intermédiaire* et un état *actuel*.

4.1.2.1. États de l'occupation du sol en 1990 et 2000

En 1990, les forêts de type dense et claire occupent la majeure partie de la surface de la presqu'île de Libreville avec respectivement 296,87 km² soit 34,42 % du territoire et 179,71 km² soit 22,99 % du territoire (tableau 13). Ces deux catégories d'occupation du sol représentaient plus de 56 % du territoire. Ces forêts, plutôt homogènes dans leur ensemble, se concentraient autour de l'aire urbaine et sa périphérie. La catégorie mangrove, qui correspond à la classe des forêts inondées, est la deuxième plus grande surface. Elle couvre une superficie de 227,24 km², soit 26,43 % du territoire. Les surfaces bâties quant à elles sont estimées à 88,35 km², soit 10,27 %. Les sols nus restent la plus petite catégorie spatiale et ne représente que 1,16 % du territoire, tandis que les surfaces en eau occupent 36,76 km² soit 4,28 % du de la zone d'étude.

Les écosystèmes forestiers représentaient l'unité de paysage la plus importante (fig.31). En effet, les surfaces naturelles représentent plus 75 % du territoire. Le cadre bâti est plus important au centre et sur la zone littorale dans un rayon de 10 km. À cette période, la commune d'Akanda n'existe pas, elle était encore composée de petits villages, où vivaient quelques autochtones qui y mènent quelques activités telles que l'agriculture vivrière. La tache urbaine dans la zone nord (au Cap) est très peu significative et ne peut être identifiée à cette échelle. Déjà à cette période, les surfaces de forêts denses sont peu à peu remplacées par les forêts claires, principalement vers la zone nord, autour de la forêt classée et surtout vers le sud-ouest de part et d'autre de la route nationale. C'est principalement vers cette direction que l'on observe les traces d'une extension urbaine. Par ailleurs, on observe encore des surfaces assez significatives d'îlots forestiers en milieu urbain. En outre, les sols nus que l'on observe à l'intérieur des terres fermes sont essentiellement composés des terrassements destinés à la construction d'infrastructures ou à des cités résidentielles. Dans les zones de mangrove, les sols nus sont essentiellement composés des estrans vaseux et sableux tandis qu'en milieu forestier ou sur le littoral ils sont constitués de carrières de sable. Bien que cette image soit de mauvaise qualité, avec un taux de couverture nuageux élevé, elle permet tout de même d'étudier l'état de l'occupation du sol à cette période. Le tableau 13 présente les résultats statistiques de ces deux dates.

Catégorie d'occupation des sols	1990 (km² et %)		2000 (km² et %)	
Forêt dense	296,87	34,52	248,15	28,87
Forêt claire	197,71	22,99	174,21	20,26
Surface bâtie	88,36	10,27	108,39	12,6
Sol nu et tannes	9,99	1,16	12,90	1,49
Surface en eau	36,78	4,28	42,09	4,89
Mangrove	227,24	26,43	272,23	31,66
Masque (nuages)	2,98	0,35	1,96	0,23
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**

Tableau 13 : Superficies des catégories d'occupation du sol en 1990 et 2000

En 2000, on observe une tendance à la baisse de surfaces des forêts de type dense et claire. La première classe citée est estimée à 248,14 km², soit 28,83 % des terres, tandis que les forêts claires enregistrent une surface de 174,20 km², soit 23,26 % du territoire. Contrairement aux forêts de type dense et claire, les surfaces bâties vont enregistrer une augmentation de leur surface passant de 88,35 à 108,38 km² soit un peu plus de 12 % de la surface de la presqu'île. Les sols nus présents dans la zone centre et nord ont laissé place au cadre bâti (figure 31). Celui-ci est homogène au centre, mais se disperse peu à peu vers le nord et le sud-est. Toutefois, les sols nus sont en nette progression et occupent une superficie12, 90 km². Les surfaces de mangrove quant à elles vont aussi connaitre une augmentation en 2000 par rapport à 1990 passants de 227,24 à 272,23 km². En fin, les surfaces en eau ont aussi registré un gain par rapport à 1990. Elles sont estimées à 42,09 soit un peu plus de 5 % du territoire. Les résultats cartographiques pour ces deux dates sont présentés dans la figure 31 ci-après ainsi que la comparaison de l'évolution des surfaces par catégories (fig.32).

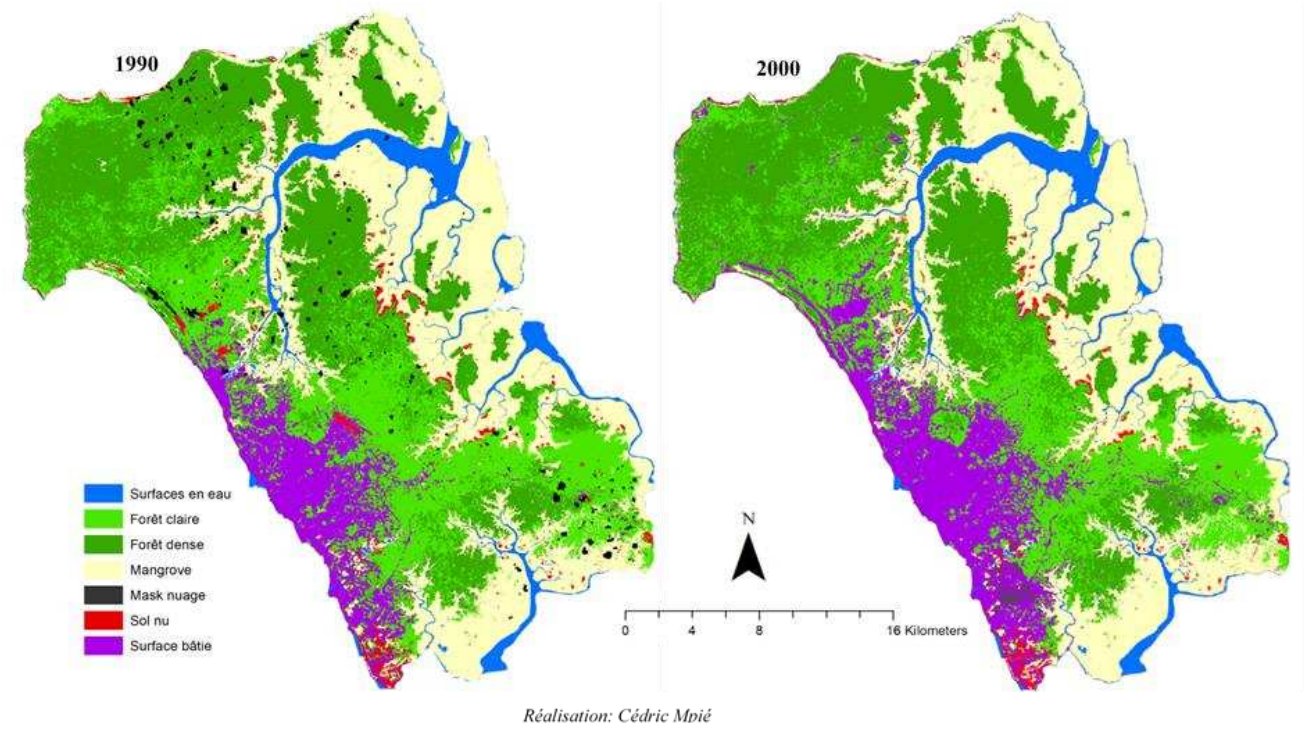


Figure 31 : Cartographie de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 1990 et en 2000

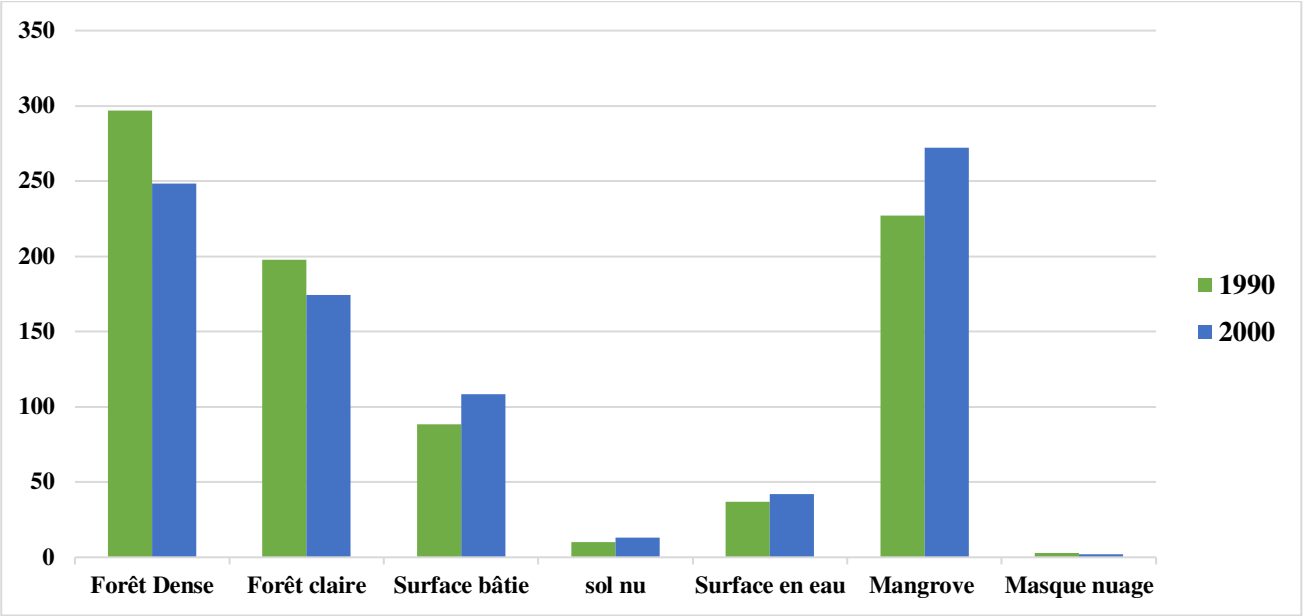


Figure 32 : État des superficies de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 1990 et 2000

4.1.2.2. État de l'occupation du sol en 2014 et 2018

En 2014, le paysage était dominé par les surfaces naturelles (mangrove, forêt, eau). Elles couvraient 72,20 % du territoire. La classe mangrove représentait 26,19 % du territoire et occupe une surface de 225,19 km² et correspond à la classe d'occupation du sol la plus étendue, tandis que la forêt claire représente 25,48 % du territoire. Cette dernière catégorie est nette progression et semble plus dispersée notamment au nord et au sud-est. La forêt dense quant à elle est estimée à 186,34 km², soit 21,67 %. Elle parait plus fragmentée dans la partie nord et a perdu son caractère homogène. Le bâti, qui progresse comparativement à l'année 2000, couvre une surface de 153,44 km², ce qui représente 20,89 % du territoire. Elles sont de plus en plus visibles dans les zones nord et sud-est. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre urbain, le bâti devient moins homogène et semble plus dispersé. La surface des cours d'eau varie faiblement comparativement à l'année 2000. Elle est de 41,80 km² et représente un peu plus de 4 % de la zone d'étude. L'ensemble des résultats statistiques (2014 et 2018) est présenté dans le tableau14.

Catégorie d'occupation des sols	2014 (km² et %)		2018 (km² et %)	
Forêt dense	186,34	21,67	170,55	19,83
Forêt claire	219,12	25,48	202,88	23,59
Surface bâtie	153,44	17,84	174,34	20,27
Sol nu et tannes	34,02	3,96	4,62	0,54
Surface en eau	41,80	4,86	50,69	5,89
Mangrove	225,19	26,19	240,93	28,02
Masque (nuages)	0	0	15,91	1,86
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**

Tableau 14 : Superficies des catégories d'occupation du sol en 2014 et 2018

L'image Landsat 2018 correspond à l'état actuel de l'occupation du sol. L'analyse de cette dernière montre que la plupart des unités d'occupation du sol ont une tendance régressive comparativement à aux états antérieurs (2014, 2000, 1990). Les forêts de type clair constituent la formation végétale de terre ferme la plus dominante avec 202,87 km², soit 23,59 % de la superficie totale de la zone d'étude. La forêt dense est estimée à 170,55 km² soit 19,83 % de territoire tandis que les sols nus constituent la plus petite unité d'occupation du sol avec 4,61 km² et représente moins de 1 % de la surface totale de la zone d'étude. En outre, la surface de la mangrove quant à elle occupe une surface de 240,93 km² soit 28,02 % tandis que la surface bâtie représente 20,27 % du territoire. On constate une très forte dégradation de la forêt dense au niveau de l'Arborétum (forêt classée) dans la zone nord, mais aussi, disparition quasi totale des sols nus en milieu urbain. Cette catégorie a été remplacée par les espaces bâtis. Au sud, la forêt dense a totalement disparu pour laisser place à la forêt de type claire. La tache urbaine, à une emprise plus importante au nord et au sud-est. Les résultats cartographiques pour ces deux dates sont présentés dans la figure 33 ainsi que la comparaison de l'évolution des surfaces par catégories (fig.34).

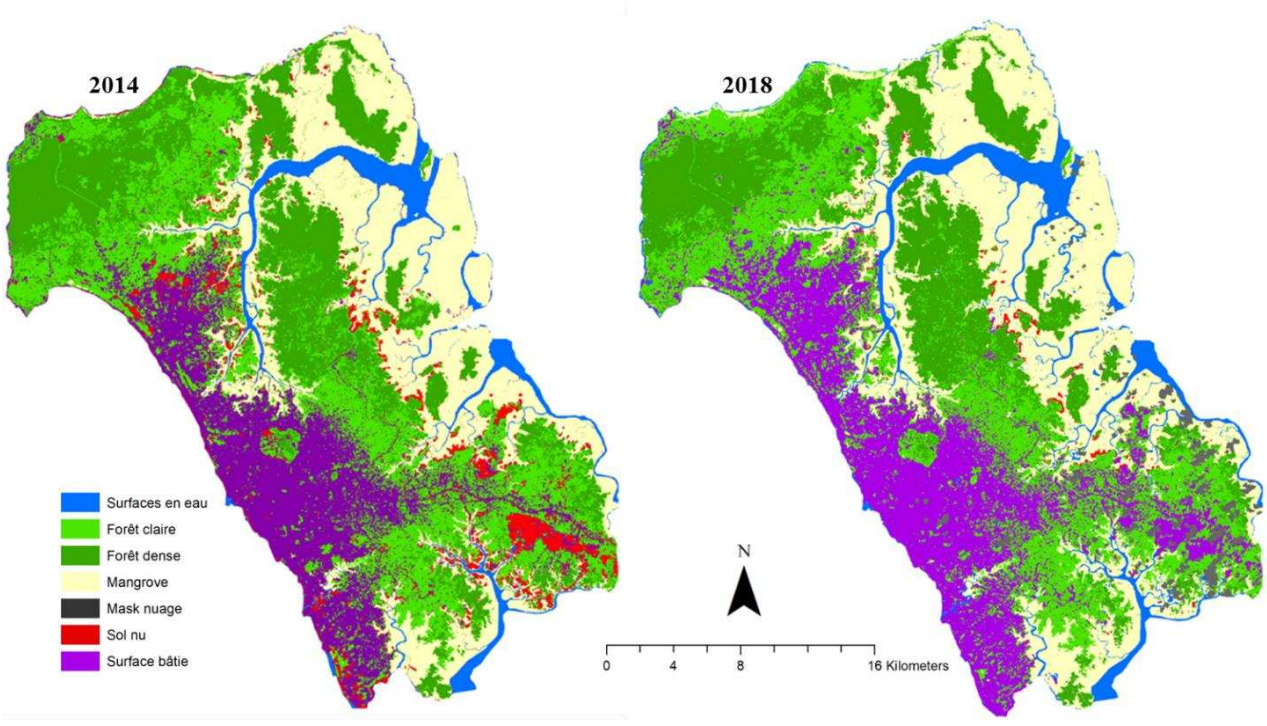


Figure 33 : Cartographie de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 2014 et en 2018

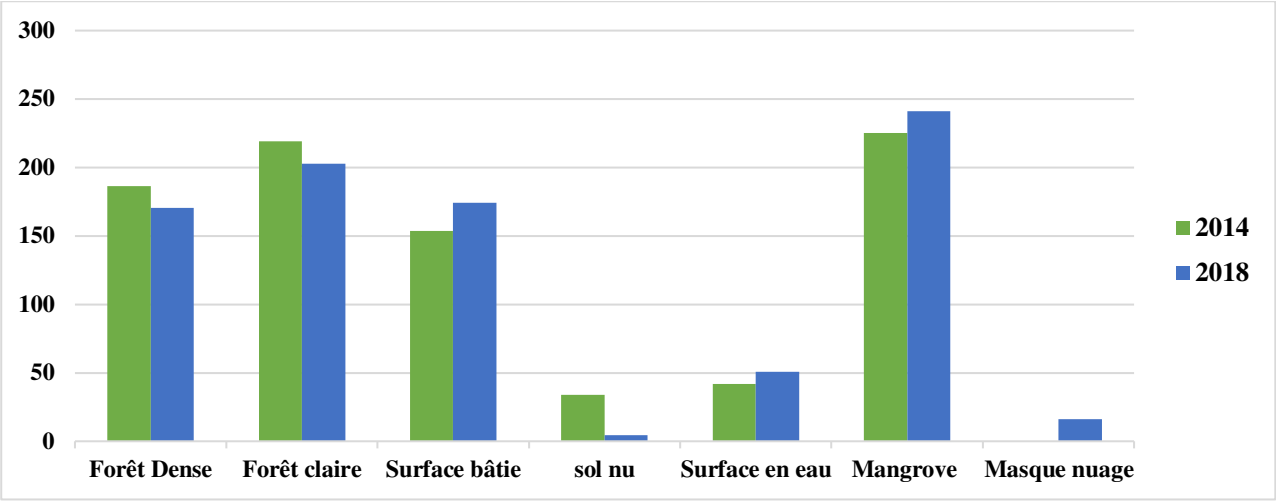


Figure 34 : Évolution des superficies de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 2014 et 2018

4.1.2.3. Analyse des proportions d'occupation des sols entre 1990, 2000, 2014 et 2018

L'analyse globale de l'occupation du sol faite précédemment (l'état de l'occupation des sols de 1990, 2000, 2014 et 2018) met en évidence les différents changements observés pour chaque catégorie. La comparaison des taux de couverture de chaque classe aux différentes dates permet de distinguer leur tendance. Si les forêts de types denses et les surfaces bâties ont une évolution chronologique, les forêts claires, la mangrove, les sols nus ont une évolution anachronique, tandis que les cours d'eau semblent plus ou moins stables. La figure 35 permet une évaluation globale de l'évolution de chaque catégorie sur les 4 dates.

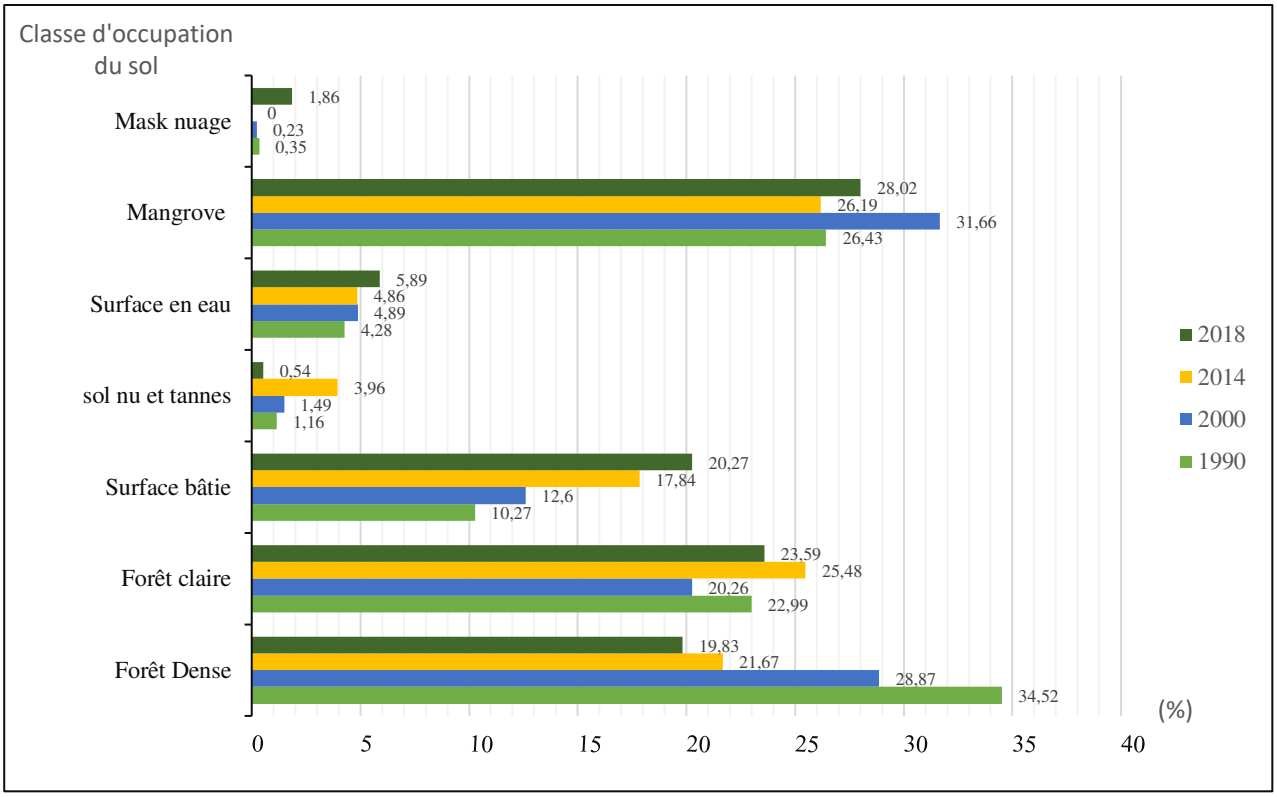


Figure 35 : Évolution des proportions des catégories d'occupation du sol de 1990 à 2018.

En effet, on constate que de 1990 à 2018, la surface de forêt dense ne cesse de régresser. Son taux de couverture est passé de 34,52 % en 1990 à 19,83 % en 2018. La surface bâtie, quant à elle, correspond à une évolution chronologique, mais croissante. Sa surface a doublé entre 1990 et 2018, passants de 10,27 à 20,27 %. Par ailleurs, la surface de mangrove enregistre plusieurs fluctuations dans l'évolution de sa surface. On constate une tendance à la croissance entre 1990 (26,43 %) et 2000 (31,66 %) puis une régression en 2014 (26,19 %) et de nouveau une légère augmentation en 2018 (28,02 %). Dans l'ensemble, cette catégorie a connu une augmentation substantielle de sa surface puisqu'elle est passée de 26,43 à 28,02 % en 2018. Cette tendance concerne aussi la forêt claire dont le taux de couverture varie de 1990 à 2018. Les sols nus croissent de 1990 à 2014 et ont une tendance régressive en 2018.

4.2. Détection multi-dates des changements de l'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville

À partir des informations de base produites sur l'occupation des sols de 1990 à 2018, nous procédons à la détection des changements intervenus entre ces dates. Cette démarche a pour but de poser un diagnostic à partir des comparaisons des évolutions des proportions spatiales d'occupation des sols des différentes catégories. Compte tenu de la mauvaise qualité de l'image de 1990, l'analyse diachronique ne sera effectuée que sur les images de 2000, 2014 et 2018 pour les périodes 2000-2014 ; 2014—2018 et 2000-2018. Cette étape de l'analyse du territoire mettra en lumière les grandes tendances d'évolution de l'occupation du sol intervenues dans la presqu'île de Libreville et ainsi que l'intensité des changements. La deuxième partie de cette analyse, décrit les principaux types de changements, et s'intéresse aux dynamiques particulières des catégories naturelles et anthropiques.

4.2.1. Analyse des dynamiques des changements d'occupation du sol

4.2.1.1. Dynamiques de changements entre 1990 et 2000

La période 1990-2000 est marquée par des variations non négligeables des catégories de l'occupation du sol. Les changements les plus importants et les plus significatifs s'observent pour les catégories des forêts de type dense et clair, les surfaces bâties et la mangrove (tableau 15).

Catégorie d'occupation des sols	1990 (km² et %)		2000 (km² et %)		Variation entre 1990 et 2000 (km² et %)		Taux de croissance global (%)	Taux de croissance annuel (%)
Forêt dense	296,87	34,52	248,15	28,87	-48,72	-5,66	-16,41	-1,79
Forêt claire	197,71	22,99	174,21	20,26	-23,50	-2,73	-11,89	-1,26
Surface bâtie	88,36	10,27	108,39	12,6	20,02	2,33	22,67	2,04
Sol nu et tannes	9,99	1,16	12,90	1,49	2,91	0,34	29,21	2,56
Surface en eau	36,78	4,28	42,09	4,89	5,30	0,62	14,43	1,34
Mangrove	227,24	26,43	272,23	31,66	44,98	5,23	19,78	1,81
Masque (nuages)	2,98	0,35	1,96	0,23	-1,02	-0,12	-34,24	-
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**	-	-	-	-

Tableau 15 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 1990 et 2000

Ici, deux tendances se dégagent. Une tendance caractérisée par des régressions de surface (fig. 36). Cette première tendance concerne d'abord les forêts denses qui ont enregistré une régression de 48,72 km² de leur surface, soit un taux de variation globale de -16,41 %. Son taux d'expansion moyen annuel est estimé à -1,97 %. Les surfaces de type forêts claires ont aussi la même tendance. Elles ont enregistré une régression de l'ordre de 23,50 km² entre 1990 et 2000, ce qui représente un taux de variation global de -11,89 % et un taux moyen annuel d'expansion spatiale de -1,26 %. Ces deux catégories ont subi des perturbations ayant réduit de manière remarquable leur superficie. La deuxième tendance caractérisée par la progression de surfaces (fig.36). Les catégories caractérisées par une progression sont les surfaces bâties avec un gain de 20,03 km² en 2000, ce qui correspond à un taux global de changement de 22,47 % et un taux moyen annuel d'expansion spatiale de 2,04 %.

Les surfaces de mangrove pour lesquelles on note une progression de plus de 44 km² ont une évolution moyenne annuelle de 1,81 % et un taux de changement global de 19,78 %. Les sols nus ont aussi connu une légère progression de leur surface, soit 2,91 km² en 2000. Par ailleurs, on observe également des changements dans les surfaces en eau. Entre 1990 et 2000, cette classe va progresser de plus 5 km². Cette progression concerne principalement le grossissement des lits de rivière, mais aussi les différences périodiques selon que l'on soit en saison sèche ou en saison des pluies.

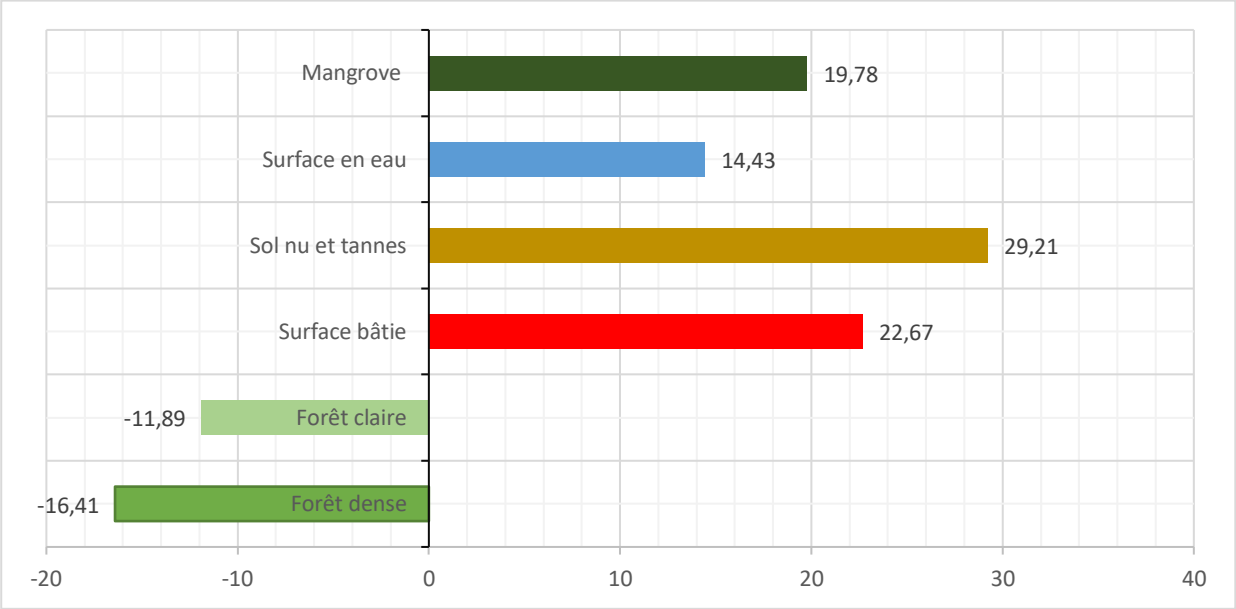


Figure 36 : Taux d'évolution des catégories d'occupation du sol de 1990 à 2000

4.2.1.2. Dynamiques des changements entre 2000 et 2014

Il en ressort que la forêt dense poursuit sa dynamique régressive (-61,808 4 km²). Son taux de changement global est passé de 16,41 à 24,91 % en 2014, soit un taux d'expansion moyen annuel de -2,04 % (tableau 16). C'est la catégorie qui a subi les changements les plus importants. Contrairement à la période 1990-2000, la mangrove enregistre une régression importante de sa surface (-47,035 8). Son taux

de changement global est passé de 19,78 à -17,28 % en 2014. Les surfaces de mangrove perdue sont supérieures aux surfaces gagnées entre les deux périodes. La surface en eau connait une régression substantielle de -0, 02929 km². Les changements des classes d'occupation du sol durant les deux années sont révélés par le tableau 16.

Catégorie d'occupation des sols	2000 (km² et %)		2014 (km² et %)		Variation entre 2000 et 2014 (km² et %)		Taux de changement global (%)	Taux de croissance annuel (%)
Forêt dense	248,15	28,87	186,34	21,67	-61,80	-7,19	-24,91	-2,04
Forêt claire	174,21	20,26	219,12	25,48	44,91	5,22	25,78	1,64
Surface bâtie	108,39	12,6	153,44	17,84	45,05	5,24	41,57	2,32
Sol nu et tannes	12,90	1,49	34,02	3,96	21,12	2,46	163,70	6,92
Surface en eau	42,09	4,89	41,80	4,86	-0,29	-0,34	-0,69	-0,49
Mangrove	272,23	31,66	225,19	26,19	-47,03	-5,47	-17,28	-1,35
Masque (nuages)	1,96	0,23	0	0	-1,95	-0,23	-100	-
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**	-	-	-	

Tableau 16 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2000 et 2014

Par ailleurs, la forêt de type claire est caractérisée par une dynamique progressive. Elle a gagné plus de 44 km² entre les deux dates. Ceci représente un taux global de changement de plus de 25 % pour une croissance moyenne annuelle de 1,64 %. La surface bâtie enregistre une progression de 45,057 6 km² avec un taux global de changement de 41,57 %. Ce qui fait d'elle la catégorie d'occupation du sol la plus dynamique après les sols nus (21,123 9 km²) qui connaissent une croissance exponentielle avec un taux global de changement de 163,70 % avec un taux de croissance moyen annuel de plus de 6 % en 2014. Les taux de croissance de chaque catégorie sont présentés dans la figure 37.

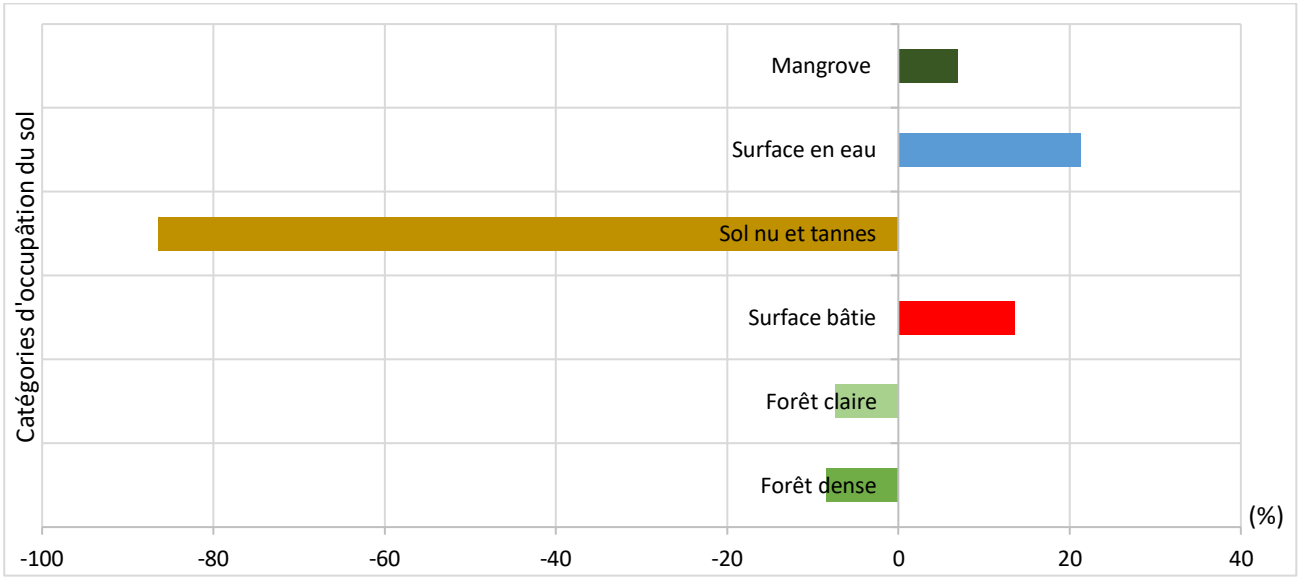


Figure 37 : Taux de changement des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014

4.2.1.3. Dynamiques des changements entre 2014 et 2018

La période 2014-2018 est aussi marquée par des variations très importantes de l'occupation du sol (tableau 17). Dans l'ensemble, les écosystèmes naturels sont marqués par une perte considérable de leurs surfaces. Entre les deux dates, la forêt dense a perdu plus de 15 km² de sa surface, ce qui représente une perte de 1,83. % de sa surface. Son taux de variation global est estimé à -8,47 % pour une croissance moyenne annuelle de -2,21 %.

Catégorie d'occupation des sols	2014 (km² et %)		2018 (km² et %)		Variation entre 2014 et 2018 (km² et %)		Taux de croissance global (%)	Taux de croissance annuel (%)
Forêt dense	186,34	21,67	170,55	19,83	-15,78	-1,83	-8,47	-2,21
Forêt claire	219,12	25,48	202,88	23,59	-16,24	-1,89	-7,41	-1,92
Surface bâtie	153,44	17,84	174,34	20,27	20,89	2,43	13,61	3,19
Sol nu et tannes	34,02	3,96	4,62	0,54	-29,40	-3,42	-86,41	-49,92
Surface en eau	41,80	4,86	50,69	5,89	8,89	1,03	21,27	4,81
Mangrove	225,19	26,19	240,93	28,02	15,73	1,83	6,99	1,69
Masque (nuages)	0	0	15,91	1,86	15,91	1,85		-
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**	**-**	-	-	-

Tableau 17 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2014 et 2018

Contrairement à la période précédente, la forêt claire est caractérisée par une dynamique régressive de sa surface entre 2014 et 2018, soit une perte de -16,244 1 km². Son taux de changement global est de -7,41 % alors que sa croissance moyenne est estimée à -1,92 % de surface par an. Au cours de cette courte période de 5 ans, la surface bâtie a progressé de 13,61 %. Elle a gagné plus de 20 km², ce qui représente une croissance moyenne annuelle de 3,19 %. Par ailleurs, cette période se caractérise par une dynamique régressive des surfaces de sols nus. Elle a perdu 29,40 km² en 5 ans. Sa croissance moyenne annuelle est très forte, soit -49,92 % pour un taux global de changement de -86,41 % (fig.38).

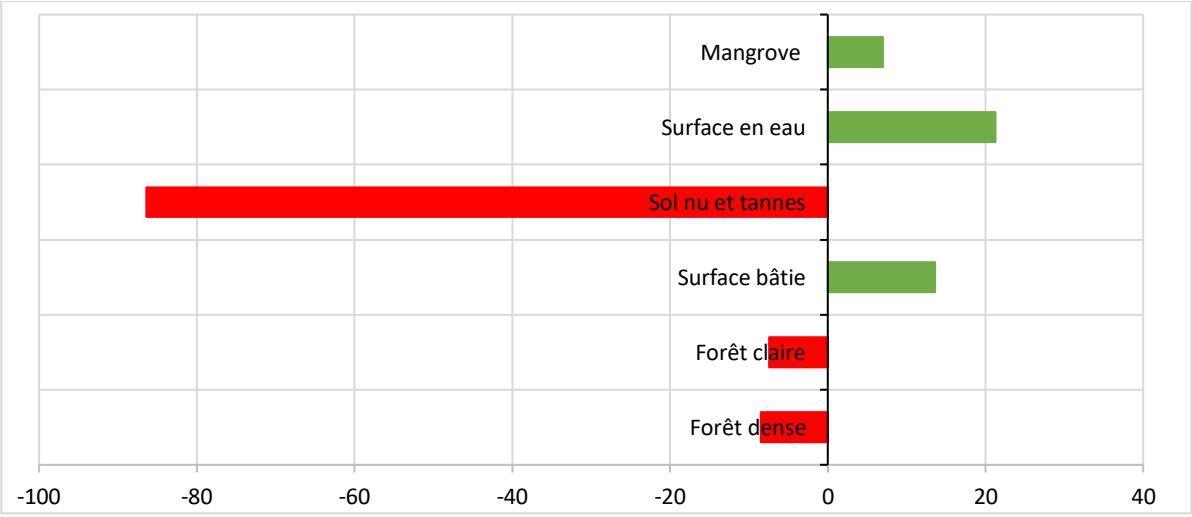


Figure 38 : Taux de changement des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014

4.2.1.4. Dynamiques des changements entre 2000 et 2018

Entre 2000 et 2018, l'ensemble des catégories d'occupation des sols à l'exception des surfaces bâties et des forêts claires, et les cours d'eau présentent une dynamique à tendance régressive. Les forêts denses présentent la plus forte régression avec -77,59 km², soit un taux de variation de 31,27 %. Les surfaces de mangrove représentent la deuxième catégorie qui détient le taux de décroissance le plus élevé avec -31,29 km² soit un taux de variation global de -11,50 % et un taux de croissance moyenne annuelle de -0,67 %. Ensuite viennent les sols nus qui enregistrent une régression de -8,28 km² soit un taux de variation global de -64,20 % et une croissance moyenne annuelle de -5,70 %. C'est la catégorie qui présente le taux de variation le plus élevé, car elle a perdu plus de deux tiers de sa surface en 2018 (tableau 18).

Catégorie d'occupation des sols	2000 (km² et %)		2018 (km² et %)		Variation entre 2000 et 2018 (km² et %)		Taux de croissance global (%)	Taux de croissance annuel (%)
Forêt dense	248,15	28,87	170,55	19,83	-77,59	-9,02	-31,27	-2,08
Forêt claire	174,21	20,26	202,88	23,59	28,66	3,33	16,46	0,84
Surface bâtie	108,39	12,6	174,34	20,27	65,95	7,67	60,85	2,64
Sol nu et tannes	12,90	1,49	4,62	0,54	-8,28	-0,96	-64,20	-5,70
Surface en eau	42,09	4,89	50,69	5,89	8,59	1,00	20,43	4,64
Mangrove	272,23	31,66	240,93	28,02	-31,29	-3,64	-11,50	-0,67
Masque (nuages)	1,96	0,23	15,91	1,86	13,95	1,62	712,64	-
TOTAL	**859,93**	**100**	**859,93**	**100**	-	-	-	

Tableau 18 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2000 et 2018

Les surfaces artificialisées ont augmenté de 65,95 km² soit un taux de variation globale de 60,84 % et une variation moyenne annuelle de 2,24 % (fig. 39 et tableau 18). C'est la catégorie qui présente la dynamique progressive la plus importe. Les forêts claires ont augmenté de 28,66 km² soit un taux de variation global de 16,46 %, ce qui correspond à une croissance moyenne annuelle de 0,84 %.

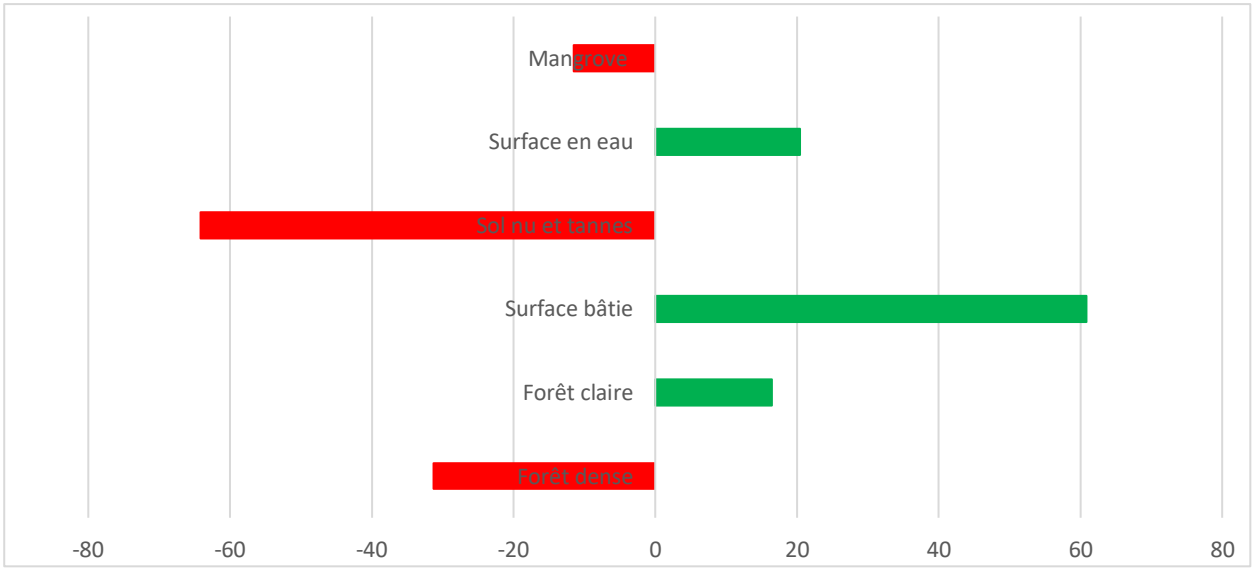


Figure 39 : Taux de changement global des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2018

Une comparaison entre les variations des catégories d'occupation des sols sur les différentes périodes est réalisée. Elle montre des fluctuations importantes entre les différentes périodes, et indique celles pour lesquelles les transitions sont les plus fortes. Le changement global des surfaces montre que la régression des forêts claires (-24,16 km²), des forêts denses (-46,05 km²), la mangrove (-31,29 km²) et des cours d'eau (-8,28 km²) est plus intense au cours de la période 2014-2018 par rapport la période 1990-2014. Par ailleurs, de 1990 à 2000, l'intensité de l'évolution des surfaces bâties est quasiment la même que celle observée entre 2014-2018. La vitesse de changement est donc plus importante entre cette dernière période (soit 4 ans). Ce qui en termes de ratio par rapport aux nombres d'années est assez important. L'ensemble des données statistiques est présenté dans le tableau 19.

Catégorie d'occupation des sols	Taux de variation entre 1990 et 2000	Taux de variation entre 2000 et 2014	**Différence périodique**	Taux de variation entre 2014 et 2018	**Différence périodique**
Forêt dense	-48,72	-61,80	-13,01	-15,78	-46,02
Forêt claire	-23,50	44,91	21,41	-16,24	-28,66
Surface bâtie	20,02	45,05	25,02	20,89	24,16
Sol nu et tannes	2,91	21,12	18,20	-29,40	8,28
Surface en eau	5,30	-0,29	-5,015	8,89	8,59
Mangrove et marais	44,98	-47,03	2,04	15,73	-31,29
Masque (nuages)	-1,01	-1,72	0,70	15,91	14,18

Tableau 19 : Différence périodique des taux d'évolutions entre (1990-2000) (2000-2014) et (2014-2018)

L'analyse des différences périodiques des variations des différentes classes d'occupation du sol révèle que les surfaces en eau présentent des différences assez importantes. Sa croissance globale pendant la période 2014-2018 est supérieure à celle de 1990-2014. Les variations périodiques des cours d'eau sont sans doute liées aux changements de saison (saison sèche et saison de pluie).

4.2.2. Les modifications d'occupation et d'usage des sols : Analyses et interprétations

4.2.2.1. Analyse de la stabilité/instabilité du territoire

L'analyse des dynamiques de l'occupation du sol indique que le territoire est très instable**.** L'instabilité du territoire désigne l'ensemble des variations spatiotemporelles des catégories d'occupation du sol. Elle fait donc allusion aux évolutions et régressions de surfaces, aux modifications, aux dégradations. Cette instabilité concerne principalement les écosystèmes naturels qui perdent leur surface au profit des catégories non naturelles. Cette analyse est basée sur les matrices de changements des catégories d'occupation du sol entre les différentes dates.

La matrice de transition met en évidence de façon condensée et explicite les différentes transitions ou conversions subites par les unités d'occupation des terres entre deux dates t1 et t2. Elle permet de décrire

les changements intervenus. Elle est obtenue par le croisement des cartes d'occupation du sol (Schlaepfer et Sherman, 2002). La stabilité ou l'instabilité du territoire est appréhendée par l'analyse de deux grandes catégories à savoir les surfaces artificielles et les écosystèmes forestiers.

4.2.2.2. Dynamiques des surfaces artificielles

Les dynamiques de cette catégorie seront analysées sur trois périodes à savoir 2000-2014 ; 2014—2018 et 2000-2018. Sur les trois périodes, l'examen des matrices de transition montre que les surfaces bâties progressent continuellement. Entre 2000 et 2018, sa surface est passée de 88,35 à 174,34 km², soit une évolution de plus de 65 km². Toutefois, cette dynamique n'est pas là même entre chaque période. Entre 2000 et 2014, la surface bâtie a progressé de 45,05 km² en l'espace de 14 ans tandis qu'en seulement 4 ans (2014-2018), elle a progressé de 20,27 km² soit près de la moitié. La vitesse et l'intensité de changement de cette catégorie sont plus fortes au cours des dernières années. Aussi, cette évolution du périmètre bâti est plus importante au nord, dans la commune d'Akanda et sud-ouest vers Bikélé. L'artificialisation du territoire est donc inégalement répartie. Les espaces les plus exposés sont ceux qui détiennent les écosystèmes de forêt les plus importants. En d'autres termes, l'évolution des surfaces bâties se fait principalement au détriment des forêts. Les transitions de cette classe peuvent être représentées en deux grandes catégories à savoir, l'évolution des zones naturelles (forêt claire, forêt dense, mangrove) en une zone bâtie et l'évolution d'un sol nu en une surface bâtie. Les mutations de zones naturelles aux sols nus sont les plus importantes entre 2000 et 2014. Ces derniers sont convertis par la suite en surface bâtie en 2018. Cela explique leur faible présence en 2018.

L'évolution de cette catégorie est liée aux activités humaines telles que l'exploitation des carrières de terre pour le remblai, les terrassements pour la construction des logements, notamment au nord dans la commune d'Akanda et au sud-est dans la zone de Bikélé ; l'aménagement des zones industrielles et économiques (zone économique spéciale de Nkok, vers Ntoum). La carte ci-après présente d'artificialisation des terres entre 2000 et 2014 (fig. 40).

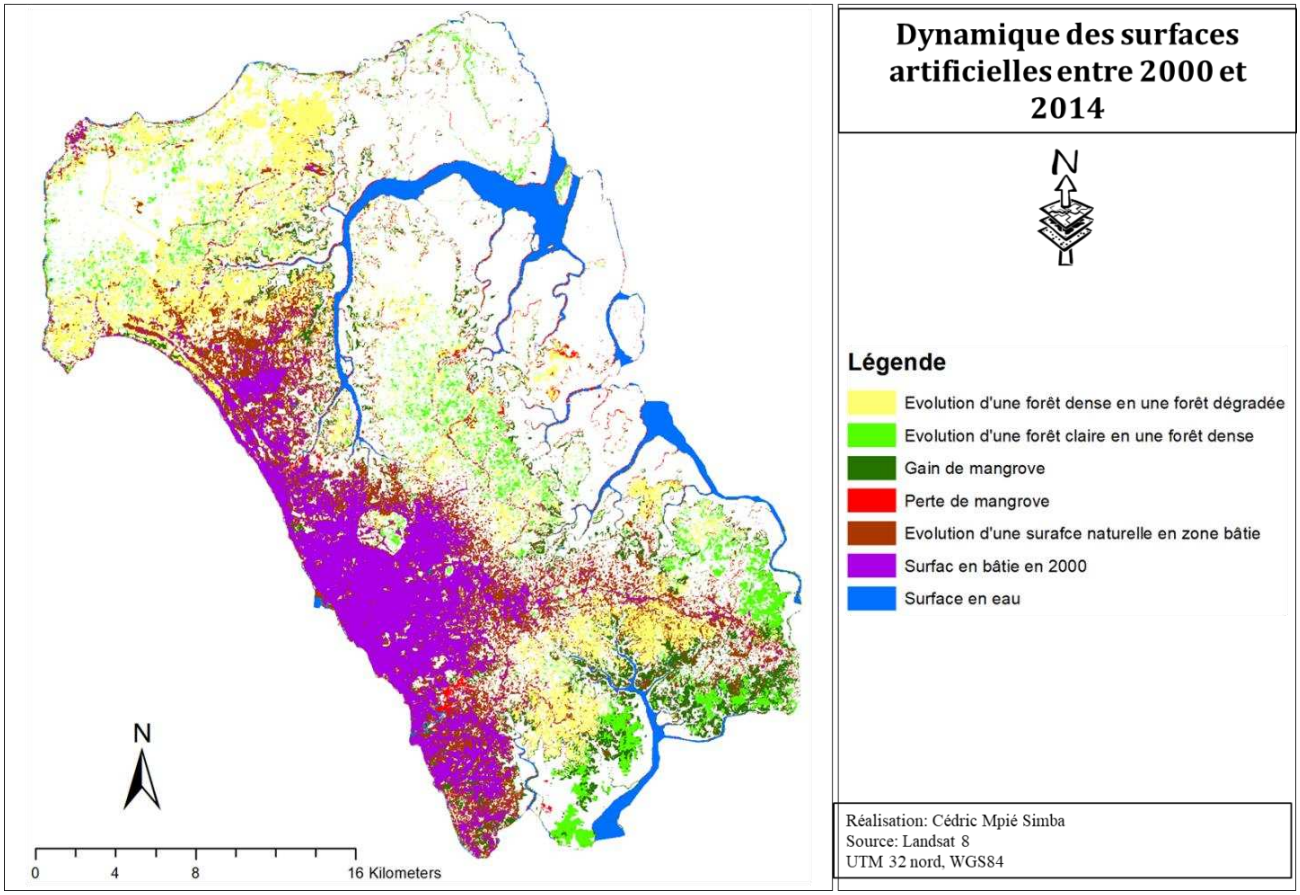


Figure 40 : Dynamiques des catégories d'occupation de sol entre 2000 et 2014.

4.2.2.3. Dynamiques des écosystèmes naturels

La dynamique du couvert forestier est marquée par les transitions entre les forêts denses et les forêts claires ainsi que les surfaces bâties. Cette dynamique se traduit principalement par une perte progressive de sa surface. Le principal facteur identifié de cette régression est l'étalement du cadre bâti, qui traduit l'omniprésence des problèmes fonciers dans ce territoire.

Libreville intra-muros, ne possède plus de réserve foncière et des terrains à bâtir, et, de l'autre côté, la ville fait face à une pression foncière liée à l'augmentation de la population et un déficit criant en logement. Les populations en manque d'espaces se dirigent naturellement vers les zones périphériques, semi-forestières et forestières de plus en plus éloignées du centre urbain traditionnel. Cette arrivée massive des populations exacerbe les processus de déforestation et de dégradation du couvert forestier.

		2000								
		Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Sol nu	Surface bâtie	Surface en eau	Masque	Total 2014	**Surface gagnée**
2014	Forêt dense	**149,57**	23,45	12,79	0,06	0,45	0,01	0,00	186,32	**36,76**
	Forêt claire	83,50	**98,24**	21,11	1,95	13,85	0,09	0,00	218,75	**120,5**
	Mangrove	3,98	0,12	**216,75**	0,60	1,85	1,66	0,00	224,96	**8,21**
	Sol nu	3,65	6,62	12,45	**6,28**	3,78	0,88	0,00	33,67	**27,38**
	Surface bâtie	7,34	45,69	6,45	3,56	**88,11**	0,43	0,00	151,58	**63,47**
	Surface en eau	0,09	0,03	2,32	0,36	0,30	**38,06**	0,00	41,16	**3,1**
	Masque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	1,95	0
Total 2000		248,15	174,21	272,23	12,90	108,39	42,10	1,95	0,00	
Surfaces perdues		**98,56**	**75,91**	**55,12**	**6,53**	**20,23**	**3,07**	0,00	0,00	
Changement net		**-61,80**	**44,59**	**-46,91**	**20,85**	**43,24**	**0,03**	0,00	0,00	

	Légende		
	Évolution d'une forêt dense en une forêt claire		Évolution des surfaces naturelles à un sol nu
	Évolution d'une forêt claire à une forêt dense		Évolution d'une zone naturelle à une surface bâtie
	Évolution d'un sol nu en surface bâtie		Surfaces stables/inchangées

Tableau 20 : Matrice de transition des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014

L'analyse de la matrice des changements montre que toutes les catégories naturelles opèrent des transitions fortes vers les surfaces artificielles (cadre bâti et sol nu). L'ensemble de ces transitions vers la surface bâtie est estimé à 59,91 km² entre 2000 et 2014 et 33,79 km² entre 2014 et 2018. La catégorie la plus touchée par ces dynamiques est la forêt claire avec une perte de 45,69 km².

Ce changement n'est pas anodin, car en réalité, les forêts claires sont issues d'un processus de dégradation des forêts denses. En d'autres termes, l'évolution d'une forêt claire constitue une dégradation de la forêt dense. Le processus de dégradation forestière est donc le phénomène le plus important observé dans la dynamique du couvert forestier. En effet, la forêt dense a gagné 23,45 km² sur la forêt claire. Cette transition signifie qu'il y eut une régénération, des forêts claires vers leurs états initiaux (forêt dense). Par contre, elle a perdu 83,50 km² au profit de la forêt claire. Cette transition signifie qu'il y a eu une dégradation de la forêt dense, passant d'un état initial considéré comme intact, à un état second considéré comme dégradé.

		2014								
		Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Sol nu	Surface bâtie	Surface en eau	Pixels masqués	Total 2018	Surface gagnée
2018	Forêt dense	**143,63**	24,92	1,76	0,03	0,21	0,00	-	170,55	**26,92**
	Forêt claire	31,59	**144,79**	2,59	3,14	20,77	0,01	-	202,88	**58,1**
	Mangrove	7,70	11,78	**209,82**	8,40	2,98	0,25	-	240,93	**31,11**
	Sol nu	0,01	0,42	0,12	**3,62**	0,77	0,00	-	4,62	**1,01**
	Surface bâtie	1,50	31,68	0,61	14,37	**125,99**	0,16		174,31	**48,32**
	Surface en eau	0,17	0,37	5,96	2,75	0,46	**40,68**	-	50,70	**10,02**
	Pixels masqués	1,75	5,16	4,33	1,72	2,27	0,69		15,91	**15,92**
Total 2014		186,34	219,12	225,19	34,03	153,44	153,44	0,00	0,00	
Surfaces perdues		**42,72**	**74,33**	**15,37**	**30,41**	**27,45**	**27,45**	0,00	0,00	
Surface mutée		**-15,79**	**-16,24**	**15,74**	**-29,41**	**20,87**	**20,87**	0,00	0,00	

	Types de transitions	Surface (km²)	Qualité du changement		Types de transitions	Surface (km²)	Qualité du changement
	Évolution d'une forêt dense en une forêt claire	31,59	Dégradation forestière		Évolution des surfaces naturelles à un sol nu	11,57	Déforestation
	Évolution d'une forêt claire à une forêt dense	24,92	Régénération, densification		Évolution d'une zone naturelle à une surface bâtie	59,91	Urbanisation, dégradation
	Évolution d'un sol nu en surface bâtie	14,34	Urbanisation, étalement du bâti		Surfaces stables/in changes		

Tableau 21 : Matrice de transition des catégories d'occupation du sol entre 2014 et 2018

Outre l'analyse quantitative, le tableau 22 nous permet de procéder à une analyse qualitative des changements de ce territoire. La qualité des changements est analysée en qualifiant les transformations spatiales observées pour chaque catégorie d'occupation du sol. Elle permet de connaitre la répercussion d'une transition ou une mutation spatiale sur les écosystèmes naturels, et précise si elle est positive ou négative pour cet écosystème ou l'environnement. Les changements qualifiés de positifs sont ceux qui n'altèrent pas les écosystèmes naturels, c'est-à-dire qu'ils n'entrainent ni dégradation des écosystèmes, ni déforestation, ni déséquilibre environnemental ou ni dégradation des services écosystémiques. Ce sont plutôt des changements qui contribuent à l'amélioration de la santé des écosystèmes. L'analyse des gains et des pertes de surfaces permet de mettre en évidence les trajectoires ou les mutations entre les classes d'occupation du sol. Les différents types des mutations spatiales ont été analysés et répertoriés dans le tableau 22 afin de préciser ce qui caractérise un gain ou une perte et traduire la signification de ces mutations ainsi que leur qualité. Ce tableau tente de lier chiffre et signification et de dépasser la logique comptable dans l'analyse des dynamiques territoriales par les interprétations sur le fonctionnement des écosystèmes.

Types de transitions	Types d'évolutions	Signification de la transition	Qualité du changement
Forêt dense à forêt peu dense	Perte	Dégradation forestière/ Anthropisation	**Négatif** pour l'écosystème forestier
Forêt dense à bâti	Perte	Déforestation/ Dégradation forestière	**Négatif** pour l'écosystème forestier
Forêt peu dense à forêt dense	Gain	Régénération, restauration forestière	**Positif** pour l'écosystème forestier
Forêt peu dense à bâti	Perte	Déforestation, anthropisation	**Négatif** pour l'écosystème forestier
Bâti à forêt dense	Gain	Régénération forestière (liée au recul du bâti)	**Positif** pour l'écosystème forestier
Bâti à forêt peu dense	Gain	Régénération forestière	**Positif** pour l'écosystème forestier
Mangrove à bâti	Perte	Dégradation	**Négatif** pour l'écosystème de mangrove

Tableau 22 : Traduction des mutations spatiales des catégories d'occupation du sol

L'analyse des mutations entre les catégories d'occupation du sol revêt un caractère très complexe. La matrice de transition permet de mettre en lumière l'ensemble des transitions, en montrant quelle catégorie à progresser ou régresser et, au détriment de quelle autre catégorie ? L'ensemble de ces mutations (quantifiables) peut être représenté cartographiquement et qualitativement. Le tableau 22 et la figure 41 montrent que le couvert forestier dans son ensemble, a subi de très fortes perturbations négatives, car on enregistre plus de perte de surface que de gain.

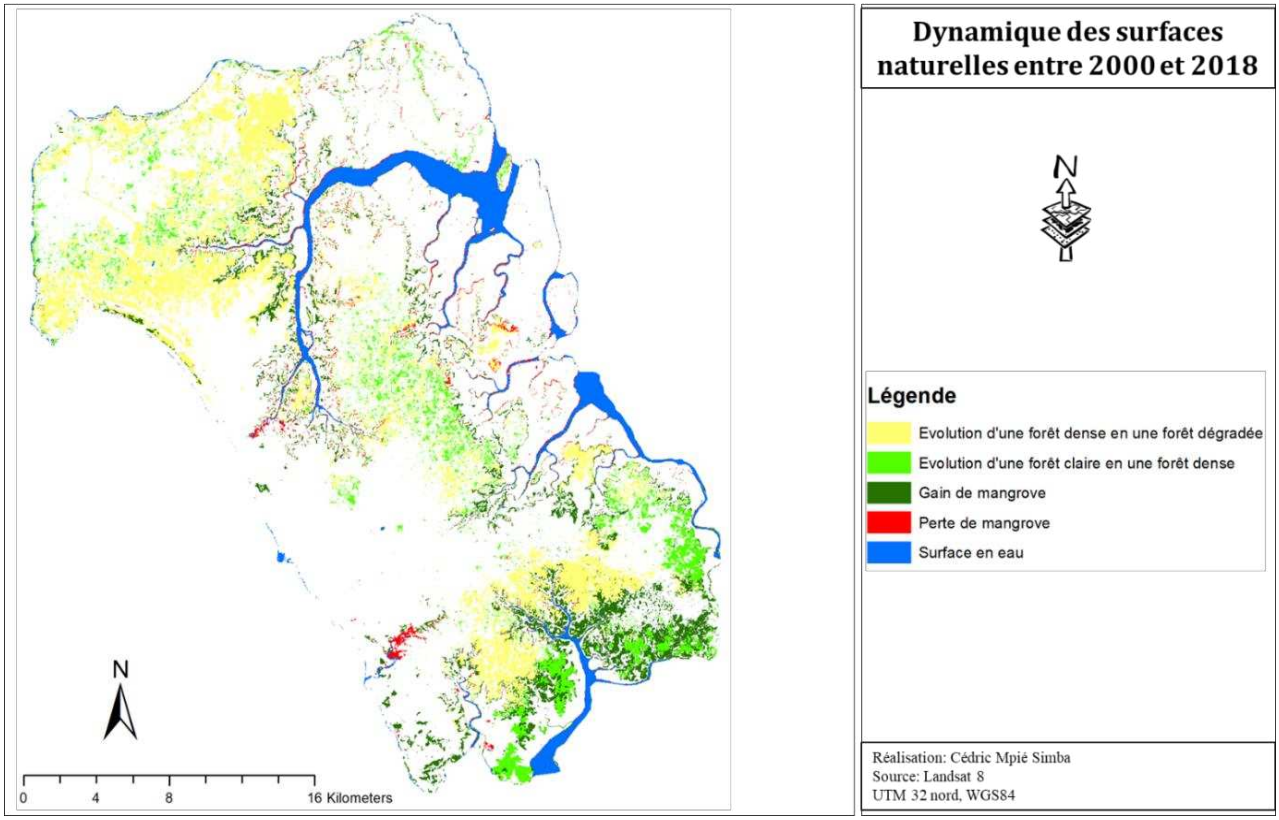


Figure 41 : Dynamiques surfaces naturelles

Les pertes de forêts, décrites comme des changements négatifs, correspondent à deux types de mutations que sont la déforestation et la dégradation forestière. Ces deux processus entrainent une perte de la qualité de l'écosystème forestier. Ici, la déforestation est caractérisée par l'évolution du cadre bâti vers les surfaces de forêts tandis que la dégradation forestière correspond à un changement d'état de la forêt dense vers la forêt claire. Les transitions positives, quant à elles, sont marquées par la régénération des forêts denses et des surfaces de mangroves. Si l'évolution des forêts claires constitue un premier pas vers l'artificialisation du territoire, les gains de forêts denses sont un retour des forêts dégradées à leur état initial. L'analyse de la déforestation et de la dégradation forestière sera faite dans la partie suivante, afin de définir les contours de ces deux concepts qui comme nous pouvons le constater dans cette partie sont différents l'un de l'autre. L'écosystème de mangrove occupe une place prépondérante du territoire de la presqu'île de Libreville. Il représente plus 30 % du territoire et correspond à la catégorie la plus grande d'occupation du sol. La mangrove fait partie des forêts humides des terres inondées en permanence. Elle se développe dans les eaux salines à une altitude comprise entre -10 à 10 m (pour les mangroves du grand Libreville). Les mangroves sont connues pour la qualité et l'importance de leurs services écologiques et environnementaux. Elle joue un important rôle dans la régulation des inondations d'origine marines dans un territoire à altitude très faible comme le grand Libreville, la protection des côtes contre l'érosion. La mangrove est aussi connue comme une zone de reproduction des espèces halieutiques (poissons, crustacés, crabes, crevettes, etc.).

Dans la presqu'île de Libreville, les mangroves font partie des écosystèmes les plus utilisés par certaines communautés locales. On enregistre une forte activité de pêche et ses activités corolaires qui ont un impact non négligeable sur cet écosystème. La mangrove est prisée à la fois pour ses produits halieutiques, mais aussi pour son bois. En effet, le bois de mangrove est principalement utilisé par les pêcheurs pour le fumage de poisson. Aussitôt prélevé, il peut être utilisé sans pour autant être sec. Le bois de mangrove détient des propriétés de combustion qui correspondent aux besoins des pêcheurs. Les pêcheurs pratiquent majoritairement une pêche artisanale et traditionnelle, à l'aide des petites pirogues en bois, des filets et des nasses. Les quantités de poissons sont plus ou moins importantes, mais ils ne disposent pas de moyen de conservation. Pour contourner ce manque, les pêcheurs ont recours au fumage de poisson. C'est notamment le cas des sardines fumées et des carpes. La mangrove détient donc des propriétés qui exacerbent son utilisation.

Par ailleurs, en dehors des activités liées à la pêche, les mangroves de la zone d'étude enregistrent d'autres pratiques nouvelles. Si cet écosystème, de par sa nature, est hostile au cadre bâti, il n'en demeure pas moins qu'on enregistre depuis une dizaine d'années, des pratiques visant à l'occupation des zones de mangrove pour la construction de logement individuel (fig.42).



Faute d'espace disponible et aménagé en ville, les populations occupent et construisent dans les zones de mangrove pourtant soumises aux inondations permanentes et interdites par la loi.

Les zones de mangrove sont définies comme étant non aedificandi

Figure 42 : Habitations construites dans les zones de mangrove au quartier Soduco à Libreville Source : Cliché, Cédric Mpié Simba, 2019



Les populations attendent la grande saison sèche, pendant la période de la décrue pour l'occupation des zones de mangrove. La première étape est l'abatage des arbres. Puis vient une période d'attente, de destruction des souches et de séchage. L'ensemble de bois mort est par la suite mis en feu. Une fois le terrain déblayé, ils peuvent soit construire directement, soit procéder à des remblais ou à des constructions sur pilotis pour ceux qui disposent de moyens

Figure 43 : Destruction des surfaces de mangrove pour la construction de logement individuel. Source : Cliché, Cédric Mpié Simba, 2018

Cette pratique à un impact très négatif sur la santé des écosystèmes de mangrove (fig.43). Entre 2000 et 2014, la dynamique de la mangrove est négative. Elle avait perdu 55,12 km² contre un gain de 8,21 soit un changement net de -46,91 km². Pour la période 2014-2018, elle enregistre des gains supérieurs aux pertes soit 31,11 km² contre 15,37 pour un changement net de 15,74 km². Malgré cette évolution au cours de cette dernière période, celle-ci ne compense pas les pertes enregistrées durant la période précédente. Le bilan de la dynamique de la mangrove par rapport à sa superficie de référence reste donc déficitaire. Dans le détail, trois classes sont concernées par la dynamique de mangrove à savoir le bâti, la forêt et les surfaces en eau. Les mutations interclasses les plus importantes pour la mangrove sont enregistrées pour les forêts de type claires, les surfaces en eau. Les figures ci-dessous illustrent l'occupation des zones de mangrove pour la construction du bâti.

Conclusion du chapitre 4

La connaissance des dynamiques de changements d'occupation du sol constitue un outil fondamental du diagnostic territorial, de la protection de l'environnement et l'aménagement. Dans la presqu'île de Libreville, ces dynamiques restent encore peu connues statistiquement, bien que visibles et prévisibles. C'est pourquoi l'objectif de ce chapitre était d'étudier les changements d'occupation et d'usage des sols qui se sont opérés sur ce territoire depuis 1990 jusqu'en 2018, de les quantifier, mesurer afin de dégager les trajectoires d'évolution et d'en expliquer les causes. Cette étude repose essentiellement sur l'analyse et les traitements des images satellitaires pour l'identification des objets spatiaux. Elle s'élabore à partir de la création des néo-canaux (transformation multispactrale) qui a permis d'extraire certaines caractéristiques et de créer les indices tels que le NDVI, le BI ou l'IC, etc. Ces traitements ont permis d'assurer une meilleure séparabilité des classes et d'augmenter la confiance vis-à-vis des résultats (surfaces), avec un niveau de fiabilité élevé et des précisions globales et des indices Kappa moyens supérieurs à 88 %.

Les cartes d'occupation de 1990, 2000, 2014 et 2018 ont permis d'observer l'évolution réelle du territoire, d'identifier les principaux changements et de poser un premier diagnostic à l'échelle régionale. Ce diagnostic a mis en avant que la presqu'île de Libreville est un territoire très dynamique au regard des mutations spatiales observées. Il est caractérisé par une forte instabilité de ces écosystèmes. Cette tendance a été mise en évidence par les données statistiques de l'évolution du bâti. Ses surfaces évoluent principalement au détriment du couvert forestier. La surface forestière dans son ensemble est dominée par mes transitions entre forêts denses et forêts claires. Ce constat reste le même pour toutes les dates ou périodes. Les mutations spatiales les plus dominantes sont la déforestation et la dégradation forestières. Ces deux dynamiques mettent en évidence la très forte tendance à l'artificialisation des terres qu'enregistre la presqu'île. Les résultats de cette analyse mettent aussi, en évidence, la dégradation des surfaces des mangroves au profit du cadre bâti. Cette mutation traduit ou met en exergue, le niveau de pression sur les terres à Libreville et ses environs. Les matrices de transitions de l'occupation du sol ont permis d'analyser les comportements de chaque catégorie dans l'espace et dans le temps et de préciser la signification de chaque mutation. L'interprétation de ces mutations a permis de dégager les trajectoires de changements à l'échelle régionale. Le résultat montre clairement que les écosystèmes naturels s'orientent vers une artificialisation de plus en plus importante, et que les forêts et zones protégées de la presqu'île sont en danger. Ces changements résultent de multiples facteurs qui entrainent la consommation des espaces par les processus d'urbanisation, qui à son tour entraine la régression et la dégradation des écosystèmes naturels. Si les changements ont été bien quantifiés à l'échelle régionale, il n'en demeure pas moins que cette échelle ne prend en compte que les grandes catégories d'occupation du sol, les grands phénomènes de changements. C'est pourquoi une analyse fine des changements est envisagée à une échelle inférieure (communale) afin d'étudier en détail les processus de changements observés. Cette analyse est principalement orientée vers les dynamiques du couvert forestier.

CHAPITRE 5

CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE

CHAPITRE 5 : CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE

Ce chapitre s'intéresse aux dynamiques locales à une échelle plus fine. L'objectif est de prendre en considération certains changements de l'occupation du sol dont l'identification par télédétection à une échelle plus vaste était difficile. Le site sélectionné est la commune d'Akanda couvrant la partie nord et nord-est de la presqu'île de Libreville. C'est un site d'intérêt, car il abrite deux aires protégées que sont l'Arborétum Raponda Walker, qui est un site de forêt classée, et une partie du parc national Akanda qui est, en grande partie, une zone de protection des mangroves. Ce territoire concentre les surfaces de forêt et de mangrove les plus importantes de la presqu'île. En outre, le choix de cette zone repose également sur deux autres constats. D'abord, l'analyse globale des dynamiques d'occupation du sol a montré que c'est ce territoire qui enregistre les dégradations les plus importantes. Le taux d'artificialisation de ces terres est l'un des plus forts comparativement aux autres communes. Aussi, la commune d'Akanda est l'une des plus convoitées par les populations. C'est un territoire sous pression, qui, en plus, retient l'attention de pouvoirs publics. Il compte 4 secteurs d'enquêtes qui ont été retenus au regard de leurs dynamiques. L'analyse des trajectoires de changements sur ce site parait donc très intéressante.

Ce chapitre est divisé en deux sections. Dans la première, nous caractérisons les trajectoires de changement d'occupation du sol. Dans un premier temps, l'intensité des changements dans chaque commune est étudiée à travers l'analyse du taux d'artificialisation des terres. Celui-ci permet de mettre en évidence les communes les plus impactées, mais aussi celles qui disposent de plus de terres, car, la disponibilité des terres constitue un facteur de pression. Les trajectoires de changements sont aussi appréciées à travers l'analyse de la fragmentation forestière dans les sites de fronts pionniers identifiés lors des sorties de terrain. Pour appréhender les trajectoires d'évolution de ce territoire, la seconde section de ce chapitre met l'accent sur les processus de dégradation forestiers et produit une cartographie détaillée des changements observés. L'approche méthodologique ainsi que les processus des transformations (dégradation) des forêts sont aussi exposés dans cette section. Ce chapitre permet de mieux comprendre et caractériser les dynamiques en œuvre sur ce territoire.

5.1. Analyse des trajectoires de changements d'occupation du sol

Les changements d'occupation du sol ont des conséquences sur l'environnement, qui à leur tour engendre des perturbations de l'organisation sociale et spatiale des territoires. Analyser les trajectoires de changements d'occupation du sol à l'échelle locale revient à s'intéresser à leurs dynamiques spatiales, au sens de leur évolution ainsi qu'aux traductions ou aux significations qu'elles peuvent engendrer. Elles revêtent donc à la fois un caractère qualitatif et quantitatif. En d'autres termes, cette section nous permet

de faire une analyse qualitative des trajectoires des écosystèmes forestiers tout en mettant en exergue leur orientation. L'évaluation des trajectoires de changements d'occupation du sol reposera sur deux facteurs pour lesquels le niveau d'intensité à des répercussions sur le plan environnemental. Pour ce faire, nous avons retenu l'évaluation du taux d'artificialisation des terres et l'analyse du processus de fragmentation forestière.

5.1.1. L'intensité des changements par site à l'échelle locale

5.1.1.1. Évaluation du taux d'artificialisation par site

L'artificialisation résulte d'un processus de progression des activités humaines vers les écosystèmes naturels. L'augmentation de l'utilisation du sol contribue donc à la dégradation du potentiel de la biodiversité. À ce titre, l'artificialisation peut être considérée comme la modification d'un écosystème naturel à des fins anthropiques. Si son moteur principal est l'anthropisation, elle est cependant influencée par plusieurs sous-facteurs.

Dans la presqu'île de Libreville, elle est principalement conduite par l'urbanisation galopante et les activités socioéconomiques. En faisant cette hypothèse, on constate que la dynamique n'est pas la même pour chaque commune et pour chaque sous-facteur. On peut donc tirer plusieurs enseignements :

- L'artificialisation a comme élément précurseur les activités pionnières pratiquées en milieu forestier comme les carrières d'extraction de sable (à Akanda et Bikélé), les activités agricoles et les pratiques liées à la réservation foncière, etc.),
- L'artificialisation des terres est surtout due à la dynamique de l'étalement du cadre bâti, comprenant les habitations individuelles privées et les logements sociaux construits par les pouvoirs publics ; cet étalement urbain est aussi lié aux changements d'usages des sols par la transition des activités pionnières vers bâti,
- Elle est enfin liée à l'ouverture des routes et les pistes de circulations qui permettent aux populations locales de rallier les lieux d'activités, notamment en milieu forestier. Ces éléments contribuent aussi à la dégradation des forêts denses, et constituent une première étape vers l'artificialisation des terres.

L'analyse détaillée (fig.44) montre que le taux d'artificialisation varie d'une commune à une autre. S'il est plus important à Libreville (92,02 %), il est cependant plus dynamique et intense dans la commune d'Akanda (31,23 %) et celle de Bikélé (52,19 %), qui sont aujourd'hui les territoires les plus prisés par les populations et enregistrent les nouvelles installations les plus importantes. Cet état de fait nous a été confirmé par un agent de l'ANUTTC, lors de nos entretiens en ces termes : *« … aujourd'hui, vous avez deux zones qui sont vraiment sous pression, il y a d'abord Akanda ensuite vous avez la zone sud avec Owendo, Bikélé et vers Essassa… ».*

Ces pressions sont liées au fait que ces territoires disposent encore de vastes terres non construites. C'est donc cette disponibilité en terre qui constitue, entre autres, un facteur de pression et mérite d'être pris en compte dans le cadre d'une démarche d'anticipation des occupations spontanées et anarchiques.

Libreville dispose de très peu de terres constructibles et une très faible couverture forestière. Ce territoire est presque totalement artificialisé. L'évolution des surfaces artificielles est presque stable depuis 2014. Or, la commune d'Akanda détient encore une importante couverture forestière et des terres constructibles disponibles. De ce fait, la zone connait une dynamique de l'étalement du bâti très importante et par conséquent, une très forte modification des écosystèmes forestiers y compris dans les zones de protection. Ces surfaces protégées constituent un facteur qui freine l'étalement du bâti. Les communes de Ntoum (Bikélé) et Owendo dont les écosystèmes forestiers ne font preuve d'aucune restriction subissent aussi de fortes pressions avec des taux d'artificialisation des terres respectifs de 52,19 et 61,67 %. Le taux d'artificialisation des terres a été calculé pour chaque commune à partir des données d'occupation du sol de 2018. Le résultat cartographique est présenté dans la figure 44 ci-après.

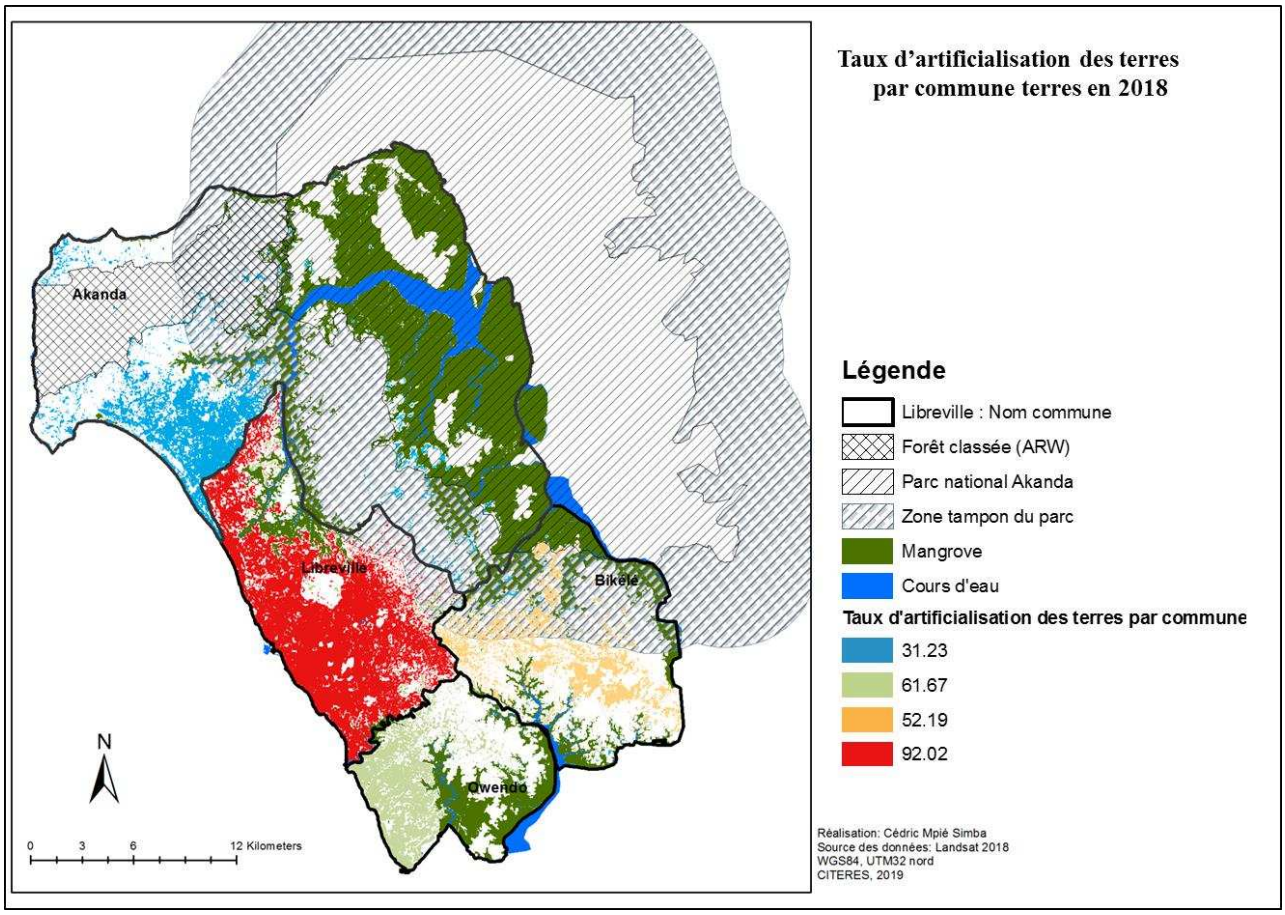


Figure 44 : Évaluation du taux d'artificialisation des terres par commune

5.1.2. Analyse de la fragmentation forestière dans les sites de fronts pionniers

Un des éléments qui permet d'apprécier l'intensité des changements et l'artificialisation du territoire est l'analyse de la fragmentation forestière dans les sites de front pionnier. Cette assertion place le front pionnier comme la principale source de fragmentation forestière et de déforestation dans la presqu'île. Les fronts pionniers sont des marqueurs spatiaux très souvent dynamiques, désignant les limites provisoires de l'expansion d'une activité ou d'une société au sein d'un territoire. Généralement situés en forêt, ce sont des territoires antérieurement inoccupés, mais qui sont désormais sous pressions anthropiques (Dubreuil V et *al.*, 2008). En d'autres termes, ce sont des surfaces forestières non occupées, mais qui reçoivent de nouvelles activités telles que l'agriculture traditionnelle, l'extraction du sable, etc.

Dans les espaces périphériques de la presqu'île de Libreville, les fronts pionniers ont une emprise spatiale non négligeable. Ce sont des espaces dans lesquels les pratiques des populations créent de nouveaux territoires en périphérie, qui au fur et à mesure, vont être greffés au tissu urbain. Ce processus a un lien direct avec l'augmentation des besoins en terre, la saturation des espaces dans le territoire occupé ou le développement d'une activité économique en milieu forestier (exploitation du bois, carrière d'extraction de sable). Cette progression de la zone habitée ou anthropisée détruit les écosystèmes naturels par ses logiques, qui dans le cadre de ce territoire sont anarchiques, incohérents et illégaux. Les modifications des paysages liées aux fronts pionniers sont très rapides et spectaculaires dans les espaces périurbains de Libreville. Mais au-delà des dégradations ou déforestations causées par le développement de fronts pionniers, se cachent des conflits liés au processus d'appropriation des espaces entre les différents acteurs, qui sans doute exacerbent la fragmentation forestière.

S. Rosière (2008) désigne la fragmentation forestière comme « *un processus de division ou de différenciation de ce qui antérieurement était uni ou homogène* ». Cette division laisse entrevoir l'idée de séparation d'un type paysager (exemple de la forêt) en de structures moyennes qui au fur et à mesure vont se séparer les uns des autres. L'aire totale d'origine diminue et les fragments en place s'isolent progressivement les uns des autres (Thompson et *al.*, 2009 ; Davide K et *al.,* 2008). Elle correspond donc à une interruption de la continuité spatiale de l'écosystème forestier par les actions anthropiques. Ces éléments de définition mettent en exergue deux processus à savoir, « la division des habitats » et « la réduction des superficies ».

Le premier processus se manifeste par le morcèlement de l'écosystème forestier en un nombre de petits fragments. Le type forestier le plus morcelé dans notre zone d'étude est la forêt secondaire. Elle subit une fragmentation importante causée par l'évolution de l'habitat diffus, des sols nus, de l'agriculture sur brûlis et des voies de circulation et même les activités d'extraction de sable. Les taches liées à l'empreinte anthropique modifient le paysage forestier et entrainent des changements. Le couvert forestier, qui antérieurement était homogène, se disloque peu à peu sous la pression des activités des populations. Les

différents états de l'évolution du couvert forestier identifiés dans la partie précédente indiquent l'amorce du processus de fragmentation, qui dans notre zone d'étude aboutit à une déforestation totale.

Le second facteur se manifeste par la régression des entités d'occupation du sol, donc, les surfaces de forêt morcelées (P. Martin, 2008). En effet, le morcèlement des unités d'occupation du sol entraine une diminution de leur superficie. Cette régression peut évoluer jusqu'à la disparition totale de la forêt et par conséquent, assurer une connexité des différentes « taches ». Dans le paysage, plus les « taches » sont petites et dispersées, plus la fragmentation est importante. C'est le cas des forêts de la zone nord, notamment au cap Santa Clara au nord-ouest, à l'intérieur de l'ARW dans sa partie sud-est. Pour l'ensemble des sites de fronts pionniers identifiés, la fragmentation est l'une des causes de changements d'occupation du sol. Elle est associée au défrichement des forêts, qui, elles, sont étroitement liées à l'activité agricole de transition. Elle est aussi associée aux constructions de logements individuels et à la mise en valeur des parcelles. À cela, s'ajoutent les activités d'exploitation du bois et de sable qui crée à l'intérieur des surfaces forestières de grandes taches. Tous ces éléments ont des conséquences négatives sur la qualité du couvert forestier et influencent leur capacité à fournir des services écosystémiques utiles aux populations autochtones.

En effet, la diminution de l'écosystème forestier à des conséquences à la fois sur l'homme, mais aussi sur les espèces animales. Son recul s'accompagne d'une raréfaction des ressources destinées à des usages tels que l'agriculture, la cueillette, le prélèvement du bois, la pharmacopée et même la chasse. Ce recul va aussi provoquer la dispersion ou le déplacement des animaux vers d'autres espaces. Si l'on se rapporte aux résultats de l'analyse de la dégradation forestière qui mettent en exergue le cycle d'extinction de la forêt, on peut affirmer que la fragmentation à des effets sur le processus de régénération du couvert forestier de la presqu'île de Libreville. Elle est donc un facteur important de la dégradation forestière. Dans cette logique, il semble évident qu'elle peut aussi avoir une influence sur la composition spécifique ou floristique (qui n'est pas abordée dans le cadre de notre étude et parait être une piste d'approfondissement de la question). Les figures 45 a et 45 b ci-après, illustrent le processus de fragmentation forestière dans un site (la commune d'Akanda) entre 2014 et 2018. Ces images mettent en exergue une nette évolution du processus de dégradation forestière.

Dans l'exemple du secteur Mamboumba, les dynamiques de fragmentation sont très fortes et rapides. En l'espace de 4 ans, les écosystèmes de forêt secondaire ont presque totalement été disloqués et les terres dénudées. Un facteur semble être à l'origine de l'accélération des dynamiques observées : c'est l'apparition de la route. Elle a facilité l'accessibilité à cette zone et motivé les détenteurs de parcelles, a entamé les travaux de construction de logements en 2018, alors qu'en 2014, les taches semblent être principalement liées à l'activité agricole ou autre opération de réservation de parcelle et quelques campements.



Figure 45 (a et b) : Illustration de l'évolution de la fragmentation forestière dans un site de front pionnier dans la zone de Mamboumba dans la commune d'Akanda en 2014 (a) et en 2014 (b). Source des données : Google Earth

a) : Écosystème forestier, composé de forêts secondaires en cours de dégradation, plus ou moins homogène avec continuité de l'habitat forestier, mais marqué par les débuts d'une activité pionnière. Le parcellaire est moins marqué et peu de surfaces déforestées en 2000.

b) : Même écosystème de forêt, mais fragmentée, composée de forêts dégradées et très dégradées et de sols nus ; la connexité entre certains îlots est déjà effective du fait d'une disparition totale des habitats constitués. Dans certains espaces, le parcellaire parait bien marqué et certaines parcelles sont totalement déforestées en 2014.

5.2. Analyse des changements des écosystèmes forestiers à l'échelle locale

Les changements des écosystèmes forestiers sont un élément fondamental dans le cadre de notre recherche. La compréhension de ces dynamiques et des processus de ses modifications constitue un des éléments de réponse à notre problématique. Un accent particulier est donc mis sur l'analyse des facteurs et des processus de dégradation forestière et de déforestation à l'échelle locale. Le but est de mettre en évidence les différentes phases d'évolution des forêts d'un état initial considéré intact (non dégradée) à un état second considéré dégradé. Cette mise en évidence des différentes phases permet de caractériser les trajectoires des écosystèmes forestiers et de dégager les principales tendances de leur évolution.

5.2.1. Évaluation de la dégradation du couvert forestier à l'échelle locale, cas de la zone nord

La FAO (2009) définit la **dégradation des forêts** comme les changements qui influent négativement sur le peuplement forestier, en réduisant en particulier la capacité de production (quantité, qualité et volume). Par conséquent, la dégradation des forêts n'est pas à confondre avec **la déforestation** qui, elle, correspond à une nette conversion des terres forestières qui passent à d'autres usages avec réduction du couvert forestier à une densité inférieure à 10 %. Cette définition de la dégradation souffre d'une carence, en ce qu'elle ne permet pas de dégager un seuil de dégradation comme c'est le cas avec la déforestation. La définition d'un seuil commun de *dégradabilité* que l'on pourrait appliquer à toutes les forêts est d'autant plus complexe, car, il existe plusieurs types de forêts, aux critères, aux structures et aux densités tout à fait différents, qu'il semble d'emblée impossible de trouver un consensus. En effet, les forêts qualifiées de dégradées ou considérées comme telles dans un territoire peuvent ne pas l'être dans un autre.

D'un territoire à un autre, les densités de forêt ne sont pas les mêmes. La dégradation forestière est un processus qui peut soit aboutir à la déforestation soit à une régénération lorsque certaines conditions sont réunies (notamment l'absence de pression anthropique et les conditions climatiques favorables). Si nous considérons la dégradation comme un changement d'état du couvert forestier par apport à un état de référence connue considéré comme *intact* [8] (entendons par là, non dégradée), il devient donc possible de l'étudier localement et de dégager un seuil de dégradabilité. Plusieurs auteurs ont étudié la dégradation et la déforestation dans le bassin du Congo. Ces études identifient les moteurs de ces deux processus et les regroupent en facteurs directs et indirects de la déforestation et la dégradation forestière. L'analyse de

[8] Précisons qu'il n'existe pas de forêt intacte dans la presqu'île de Libreville. Cette expression est utilisée dans le cadre de ce travail pour désigner un état initial, un stade de référence d'une forêt considérée non dégradée et qui nous permet de suivre et d'analyser l'évolution de catégorie d'occupation du sol. Il ne s'agit nullement d'une forêt intacte au sens stricte du terme.

déforestation et de la dégradation forestière doit donc faire un lien entre la présence effective de ces moteurs et le niveau des dégradations.

5.2.1.1. Processus d'évaluation de la dégradation forestière

L'évaluation de la dégradation forestière est entièrement basée sur les techniques de télédétection complétée par les données de terrain pour certaines dates, notamment 2018. Il existe plusieurs méthodes. Certaines méthodes, dites approches ponctuelles, travaillent à l'échelle d'un paysage (Asner et *al.*, 2006), d'autres méthodes, dites approches temporelles, se basent sur plusieurs images par an, et travaillent à l'échelle du pixel (Kennedy et *al.*, 2010)**.** La méthode développée pour l'étude de la dégradation forestière est une combinaison de méthode et d'approche. Elle est basée sur la classification des séries temporelles. L'approche par télédétection procède par une analyse de l'état du couvert forestier par détection des changements au sein de cette catégorie d'occupation du sol. C'est une approche dite temporelle et travail à l'échelle du pixel. Elle prend également en compte le changement structurel du couvert forestier. Si la dégradation forestière est considérée comme un changement d'état du couvert forestier, passant d'un état initial considéré *intact,* à un autre état second considéré comme dégradé, alors la première étape de la démarche consiste à identifier cet état initial (*intact*) (à une date passée). Cet état, confronté aux dynamiques spatiotemporelles, est par la suite comparé à un autre état second, à une date récente. Cette démarche, permettra de déduire s'il y a dégradation ou non. L'identification de l'état initial de la forêt est une étape automatisée, mais supervisée (photo-interprétation des images du drone). Elle se base sur l'identification des pixels sources (*endmembers*) c'est-à-dire les pixels purs. Les pixels purs sont comparés aux données de terrain (2018) pour la validation.

La deuxième étape consiste à calculer les valeurs des indices de végétation. Deux indices ont été utilisés à savoir la **NDVI** et le **GreenRed**. Précisons que le NDVI à lui seul ne permet pas d'étudier la dégradation forestière. C'est d'abord un indice qui permet de différencier les surfaces photosynthétiques des autres catégories d'occupation du sol. Toutefois, les valeurs de NDVI réfléchies par le couvert forestier sont classées afin de voir si elles correspondent ou non à un type de forêt spécifique. Nous émettons l'hypothèse qu'une forêt très dégradée peut admettre des valeurs de NDVI très faibles. Une analyse détaillée est donc réalisée afin de classer ou faire correspondre chaque écart de valeur à un type forestier. Pour renforcer le contraste entre les forêts et les autres catégories non forestières, nous calculons le GreenRed (GR). Il s'obtient par la formule suivante :

$$\mathbf{GR = G — R/G + R}$$

Un masque binaire du couvert forestier de type booléen, correspondant à la logique forêt-non forêt, dont les valeurs sont 0 et 1, est créé. Celui-ci a été utilisé pour la création d'images brutes correspondant uniquement au couvert forestier. Sur ces images ont été appliqués les traitements présentés dans cette partie. La méthode prend également en compte un facteur additionnel comme la taille ou la hauteur des arbres. Les images brutes constituées uniquement du couvert forestier sont utilisées. Ils servent au calcul de la taille des arbres. Le résultat est comparé afin de déceler les changements dans la distribution des hauteurs. On déduit dans le raisonnement que le changement de taille des arbres dans un espace un donné, correspond à une dégradation forestière, lorsque ce changement est marqué par *une transition de forêt dense vers forêt claire*. Cela nécessite donc de scruter minutieusement les transitions entre forêt dense et forêt claire afin d'observer si ces dernières correspondent à une variation des hauteurs entre deux dates. Pour l'estimation des hauteurs, un modèle numérique de la canopée de la commune d'Akanda est réalisé. Celui-ci est obtenu par la différence entre le modèle numérique de surface (points du sursol) et le modèle numérique de terrain (points au sol). Il s'obtient par la formule suivante :

MNC=MNS-MN

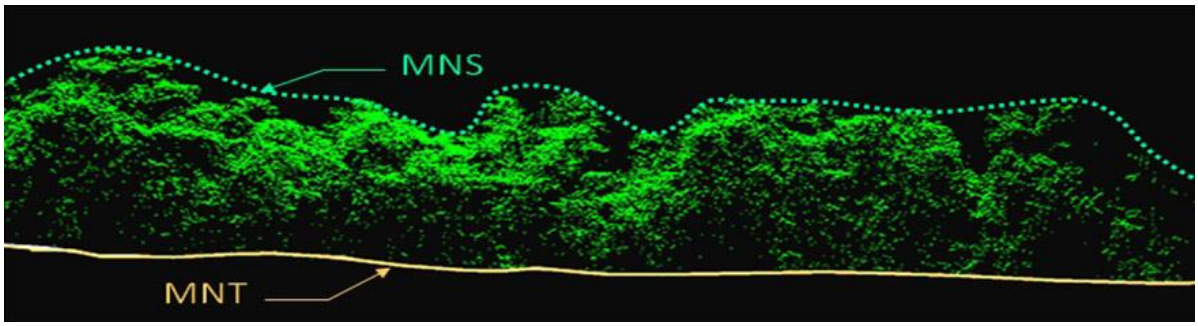


Figure 46 : Illustration de la Différence entre le MNT et le MNS. (Source : Google)

Le Modèle numérique de Terrain (MNT) est un ensemble de points 3D comprenant uniquement les éléments au sol. Le Modèle numérique de Surface (MNS), est un ensemble de points 3D comprenant les éléments du sursol, c'est-à-dire la végétation (cime des arbres) et le bâti. Ces deux fichiers numériques contiennent les données d'altitude d'un territoire, sous forme de semi de points irréguliers, de grille de points à maille carrée ou triangulée. Il semble très difficile d'obtenir la hauteur d'une végétation à partir d'une image optique. Les résultats les plus pertinents sont obtenus à partir des données lidars. Nous avons donc construit deux modèles numériques de canopée ; l'un des zones de mangrove uniquement et, l'autre de forêt de terre ferme. À partir de ces modèles, nous avons extrait les informations sur les hauteurs des forêts et des mangroves. Les résultats cartographiques de la distribution du couvert végétal par hauteurs sont présentés dans les figures 47 et 48.

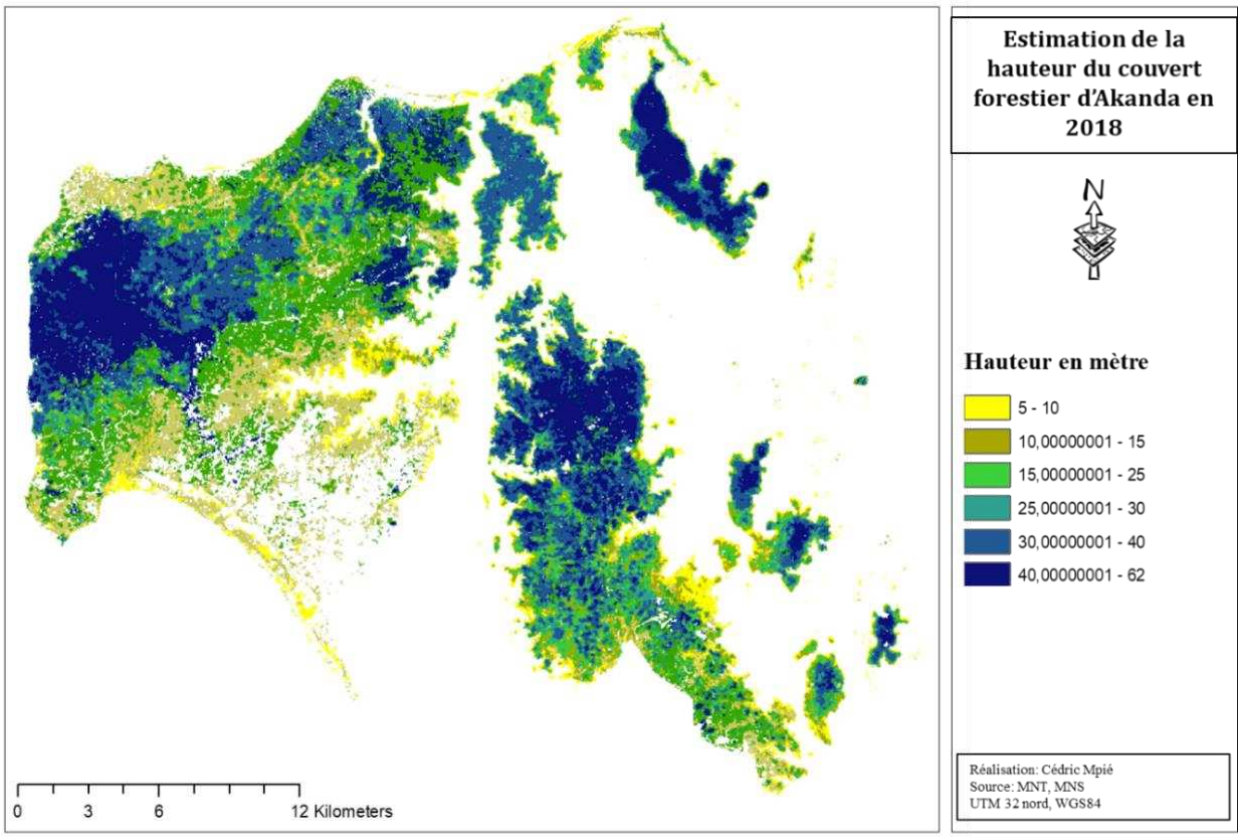


Figure 47 : Estimation des hauteurs du couvert forestier de la commune d'Akanda au nord de Libreville

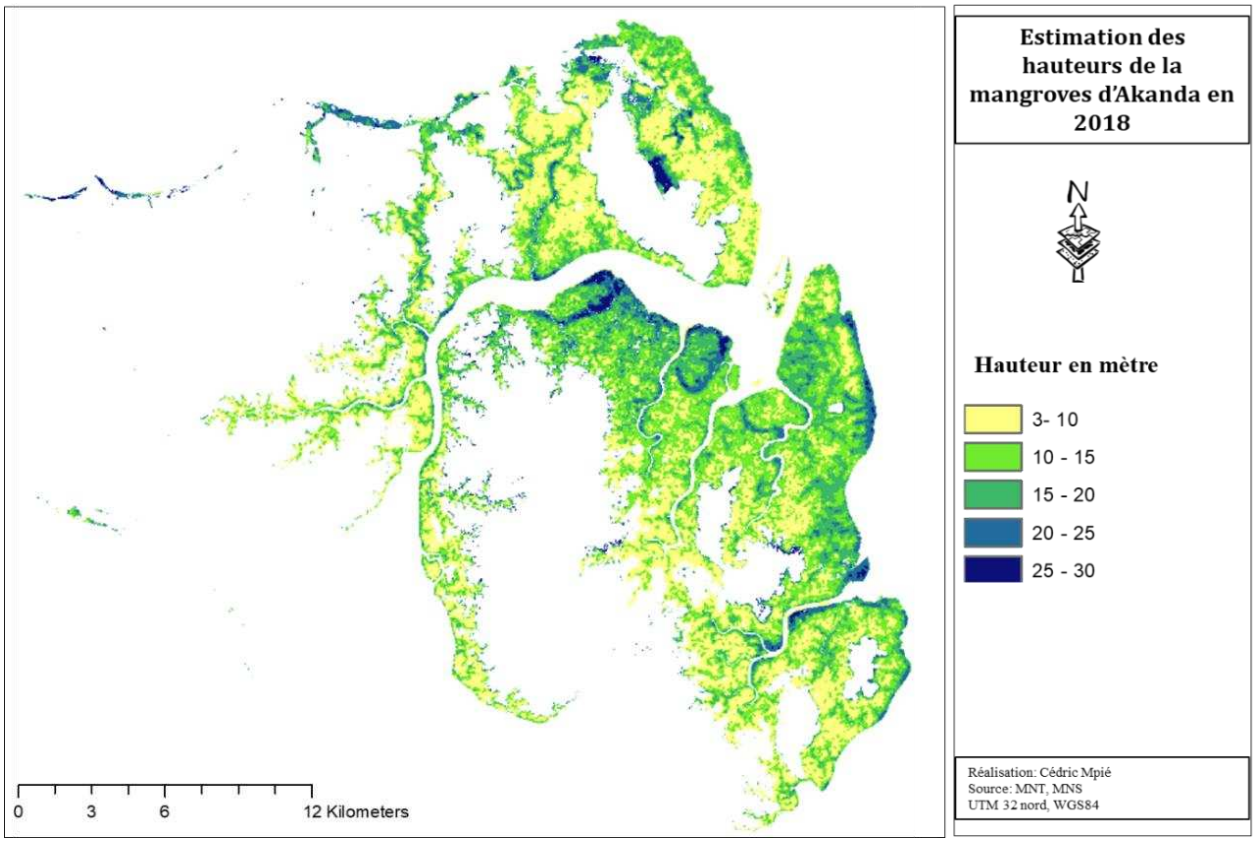


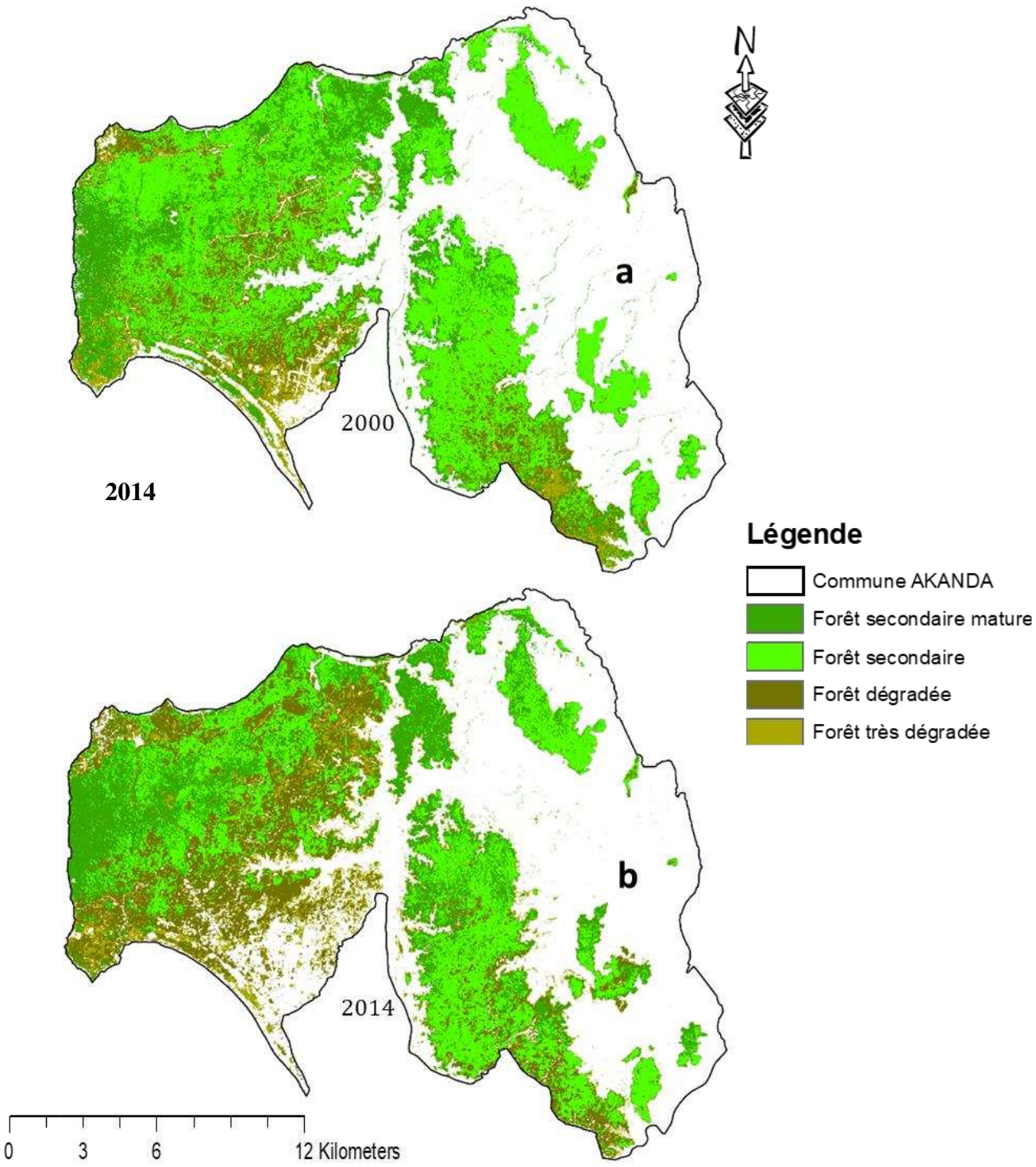
Figure 48 : Classification des hauteurs des mangroves de la commune d'Akanda au nord de Libreville

Dans les espaces périphériques semi-forestiers ou forestiers de la presqu'île de Libreville, les dynamiques du couvert forestier induisant le changement de taille sont liées aux pratiques de l'agriculture de transition vers le bâti, de l'agriculture traditionnelle et itinérante sur brûlis. Cette pratique agricole nécessite l'abatage des arbres. Les plantations, après les différentes récoltes, sont souvent délaissées ou mises en jachère. Cette période permet une régénération du couvert forestier. La période de mise en jachère peut durer plusieurs années, voire même des décennies dans certains cas. Les données récoltées sur le terrain auprès des populations locales montrent que cette période varie entre 3 et 6 ans. Bien que les capacités d'autorestauration des forêts dans la presqu'île de Libreville soient assez fortes en l'absence de pressions anthropiques, cette période de mise en jachère ne permet pas d'atteindre les tailles de formation végétales originelles.

Les données composées des indices de végétation (NDVI et le GreenRed), les hauteurs du couvert forestier et les données numériques concernant les pixels purs ont été utilisées pour l'identification des différents types des forêts. Précisons que le critère hauteur n'intervient pas directement dans le processus de classification des différents types de forêts. Ce dernier intervient en aval et tente d'établir une corrélation par interpolation entre la hauteur et l'état de santé d'une forêt suivant la transition *forêt dense-forêt claire*.

Les traitements réalisés ont pour but de déceler d'éventuelles perturbations, des ruptures dans la distribution spatiale du couvert forestier. L'ensemble des traitements réalisés a permis d'identifier et cartographier plusieurs catégories correspondant aux états du couvert forestier dans la presqu'île de Libreville pour les périodes 2000, 2014 et 2018 (voir figure 49a, 49 b et 49 c ci-après).

Au total, quatre états du couvert forestier ont été identifiés. Chaque état correspond à un stade de l'évolution du couvert forestier partant de forêt mature (intacte) à la forêt dégradée voire même à son extinction. Ces quatre états ont été répartis entre les deux grands types de forêts, à savoir la forêt dense et la forêt claire. Les traitements réalisés dans la catégorie forêt dense ont permis d'identifier deux états. Le premier (forêt secondaire mature) correspond à l'état initial (la forêt intacte ou non dégradée). Cette catégorie correspond aux données de référence de l'état initial des forêts. En effet, l'analyse des données historiques montre que ces forêts ont conservé leur structure depuis les années 1990 et même bien avant au regard de l'âge de certains arbres (certains arbres dits les bois géants de la forêt classée ont plus de 80 ans).


N
a
2000
2014
Légende
Commune AKANDA
Forêt secondaire mature
Forêt secondaire
Forêt dégradée
Forêt très dégradée
b
2014
0
3
6
12 Kilometers

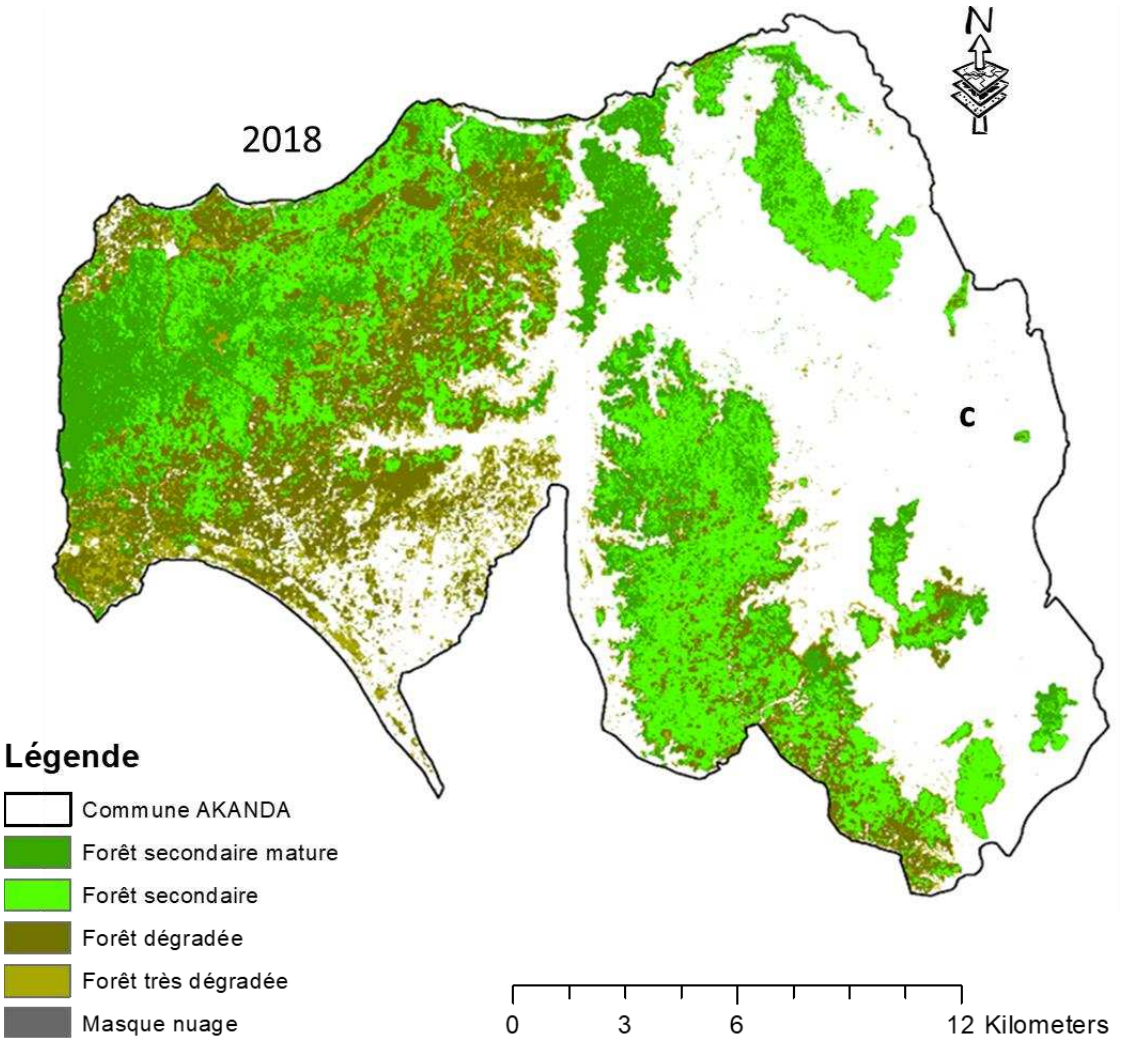


Figure 49 (a, b et c) : État du couvert forestier de la commune d'Akanda en 2000, 2014 et 2018

L'interpolation faite avec les hauteurs montre que cette catégorie (forêt mature) enregistre les hauteurs d'arbres les plus élevées du site d'étude. La taille des arbres est estimée à plus de 40 mètres et les valeurs de NDVI varient 0,31 à 0,60. L'analyse montre qu'il y a un lien entre la hauteur des arbres et leur état. Plus les hauteurs sont importantes, plus leur probabilité à être une forêt (*intacte)* est forte. Ces espaces de forêt intacte sont ceux qui n'ont pas enregistré la présence d'activité anthropique et ne font l'objet d'aucune pression. Seule une petite partie de la forêt secondaire mature en 2000 et reste intacte et n'a pas connu de dégradation, notamment dans la partie nord-ouest de la forêt protégée. Ces forêts ont gardé les mêmes états en 2000, 2014 et 2018. C'est dans cette partie que nous avons sélectionné les pixels purs qui ont servi pour identifier les forêts intactes (fig.50).



Figure 50 : Forêt secondaire mature à canopée fermée (dans la forêt classée). Source : Google Earth

NB : Nous n'avons pas pu obtenir une image drone de la forêt protégée, car la zone est interdite de vol.

Le deuxième état de la catégorie forêt dense est la forêt secondaire. Il s'agit majoritairement des forêts secondaires matures, mais qui ont subi une légère modification de leur structure sous l'action de l'homme. Ce sont des forêts en bon état, mais leur fermeture ainsi que leur densité sont moins importantes par rapport à la forêt secondaire mature. La transformation de ces forêts est issue de deux principaux processus :

- Elles sont issues du processus de transformation ou de changement des forêts matures sous la pression des activités humaines, mais avec un impact plus limité. Dans ce cas, il s'agit du début du processus de dégradation des forêts secondaires matures (intactes). Bien que cette forêt produise encore des services écosystémiques utiles aux hommes, notamment les populations locales (protéines animales, produits halieutiques, cueillette, prélèvement de bois, des écorces et plantes pour la médecine traditionnelle, etc.), il n'en demeure pas moins que le processus de dégradation est en marche et que la structure morphologique de la forêt n'est plus la même.
- Ce sont aussi des forêts secondaires issues de l'action de l'homme. En effet, la carte de l'état du couvert forestier de 2000 montre qu'il est dominé par la forêt secondaire, notamment dans la zone nord. Pour comprendre cette situation, il faut remonter aux années 1930.

L'analyse bibliographique et historique indique que cette zone était une concession forestière jusqu'en 1934. Au cours de cette période, la forêt primaire a subi d'énormes dégradations. À la fin de l'activité d'exploitation forestière, les pouvoirs publics avaient initié un vaste programme de reboisement de la zone. Au regard de la richesse écologique de cette forêt, avec un nombre important d'espèces endémiques et de bois rares, une grande partie de la forêt (l'actuelle forêt protégée de la commune d'Akanda) avait été classée en zone interdite d'exploitation en 1951. Elle couvrait une superficie de 10 200 ha. Depuis sa création, la forêt Classée de la Mondah a régulièrement été réduite, perdant 40 % de sa superficie en 80 ans (G. Walters et al.). Elle a subi plusieurs déclassements et reclassements qui ont tous abouti à une redéfinition de sa surface. Cette première délimitation comprenait des villages et des zones d'exploitations et d'activités des populations autochtones (zones d'utilisation villageoise). Elle a d'abord connu une régression de surface passant de 10 200 à 7,975 ha en 1967, puis en 2004, sa surface était de 4,930 ha. Les deux derniers déclassements ont permis d'exclure les principales zones d'habitats villageois (Cap Estérias, Malibé, Cap Santa Clara). Mais en 2012, la zone protégée va connaitre un reclassement qui va entrainer une augmentation de sa surface (6,747 ha) par rapport à celle de 2004. Ces déclassements et reclassements, bien qu'ayant exclu les villages, n'ont toutefois pas pris en compte les zones d'exploitations et d'activités des populations autochtones. De plus, la délimitation de 2012 a malheureusement intégré d'autres villages. Aujourd'hui, les espaces de forestiers les plus dégradés sont essentiellement composés des zones d'utilisation villageoises. Bien que la zone soit interdite d'exploitation, elle continue tout de même à enregistrer des dégradations.

En définitive, l'abondance de la forêt secondaire (notamment en 2000) est liée à la dynamique de reboisement initiée à la fin des années 1934, favorisées par l'absence de pressions humaines dans certains espaces. Globalement, les hauteurs des forêts de cette catégorie varient de 25 à 40 m avec des valeurs de NDVI allant de 0,32 à 0,48. Rappelons que la combinaison des différents indicateurs de mesure de l'état du couvert forestier nous a permis d'identifier quatre états qui correspondent aux différents stades d'évolution du couvert forestier. Les deux premiers stades que nous venons de décrire font partie de la catégorie forêt dense. Les deux autres stades font partie de la catégorie forêt claire et sont définis comme deux stades progressifs de la dégradation forestière. Ces deux états ont été définis en *forêt dégradée* et en *forêt très dégradée*. Les forêts dégradées sont principalement issues des forêts secondaires qui enregistrent en leur sein une activité anthropique très forte. On les localise principalement dans les zones d'utilisation villageoises au nord. Ce sont des forêts ouvertes, avec une densité de la canopée inférieure à 30 %. Leur hauteur varie entre 15 et 25 m avec des valeurs de NDVI allant de0, 35 à 0,43. Les forêts très dégradées sont des espaces ayant subi un changement radical suite à un changement d'utilisation du sol. Ici, la forêt a totalement perdu sa structure, les arbres sont peu présents, mais les arbustes prépondérants. La densité de la canopée inférieure à 20 %, les valeurs de NDVI sont proches de zéro (0), et se confondent à celles des surfaces artificielles. Elles varient entre 0,11 et 0,30. Les hauteurs des arbres y sont très faibles et varient

de 5 à 10 m. Les valeurs spectacles indiquent une très forte confusion avec les surfaces bâties et les sols nus. Les facteurs tels que la taille, la densité et le NDVI ont permis de discriminer cette catégorie. Il existe une forte corrélation entre la hauteur, la valeur de l'indice de végétation et l'état de santé des forêts. Plus la taille est faible, plus leur probabilité à être une forêt dégradée est élevée. Toutefois, cette affirmation n'est valable que si cette variation des hauteurs se fait sur des espaces qui enregistrent la transition forêt dense à forêt claire. Aussi, il existe une corrélation entre la valeur de l'indice de végétation et l'état des forêts. Plus les valeurs du NDVI d'une catégorie forestière sont proches de 0,30, plus leur capacité à être une forêt dégradée est élevée.

5.2.2. Cartographie détaillée de l'occupation du sol de la commune d'Akanda

L'ensemble de ces informations a été utilisé pour cartographier l'occupation à sol de la commune d'Akanda. Les résultats cartographiques et statistiques de cette analyse sont présentés ci-après. Ils serviront à la fois pour l'étude de la dynamique de dégradation forestière et pour l'analyse du processus de régénération forestière.

Catégorie d'occupation des sols	2000 (km² et %)		2014 (km² et %)		2018 (km² et %)		Variations 2000-2014	Variations 2014-2018
Surface bâtie	14,43	3,07	25,87	5,50	35,07	7,45	11,44	9,20
Sol nu	4,41	0,94	9,96	2,12	2,81	0,60	5,55	-7,15
Forêt secondaire mature	73,39	15,60	70,51	14,99	68,21	14,50	-2,88	-2,30
Forêt secondaire	131,77	28,01	86,38	18,36	80,44	17,09	-45,39	-5,94
Forêt dégradée	39,01	8,29	72,25	15,36	54,47	11,58	33,24	-17,78
Forêt très dégradée	18,65	3,96	26,77	6,69	35,41	7,53	8,12	8,64
Mangrove haute	72,69	15,45	61,02	12,97	69,48	14,77	-11,67	8,46
Mangrove moyenne	59,89	12,73	63,34	13,46	60,13	12,78	3,45	-3,21
Tannes et mangrove dégradée	31,71	6,74	31,16	6,62	33,43	7,10	-0,55	2,27
Surface en eau	24,54	5,21	23,23	4,94	27,51	5,85	-1,31	4,28
Masque nuage	0,00	0,00	0,00	0,00	3,53	0,75	-	-
Total	**470,49**	**100**	**470,49**	**100**	**470,49**	**100**		

Tableau 23 : Dynamiques de l'occupation du sol et du couvert forestier d'Akanda en 2000, 2014 et 2018

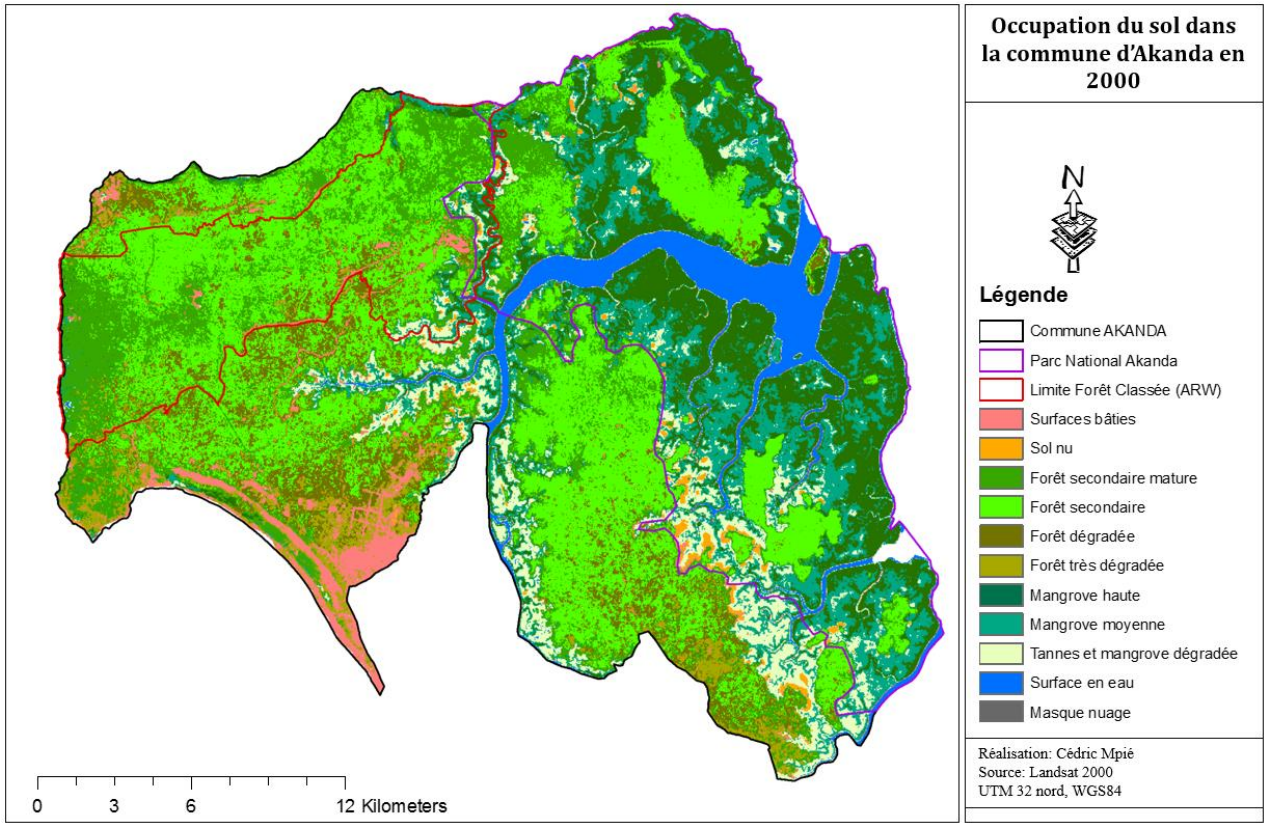


Figure 51 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2000

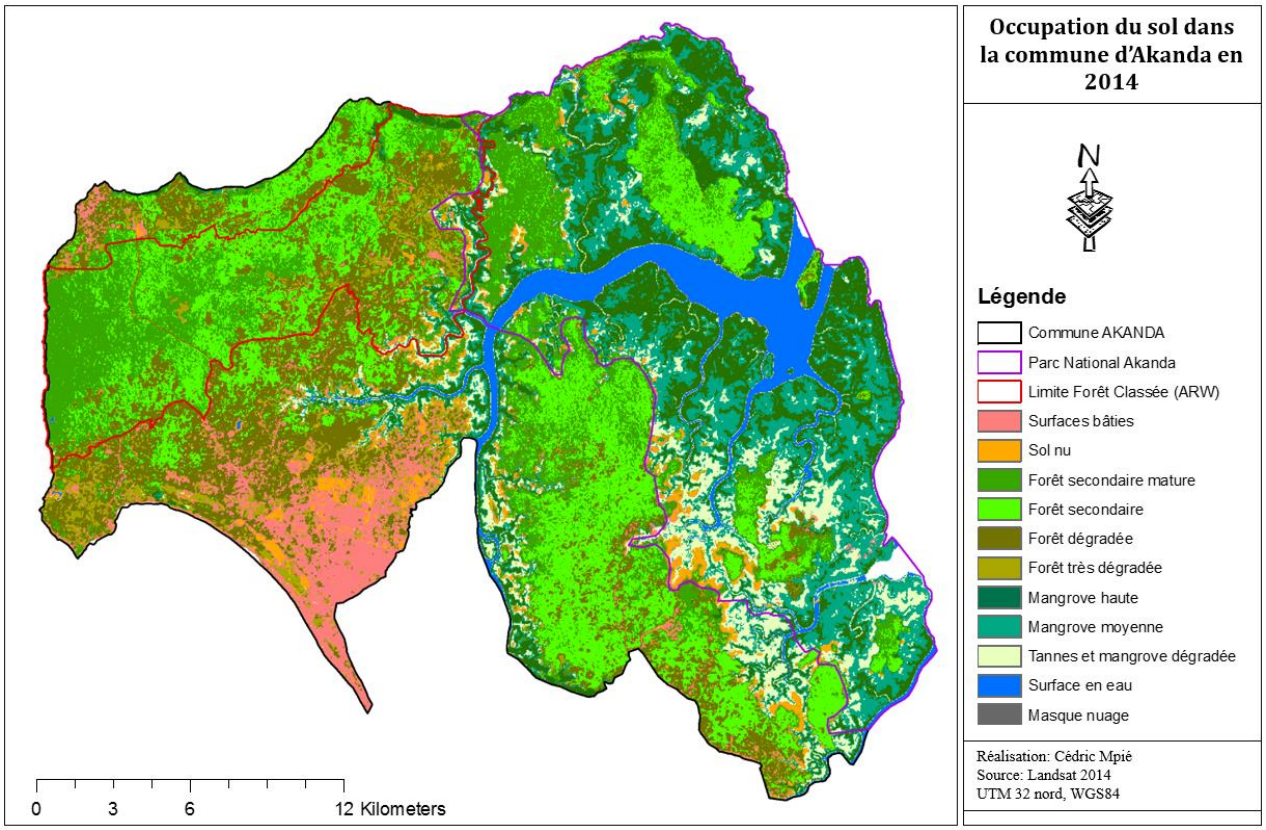


Figure 52 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2014

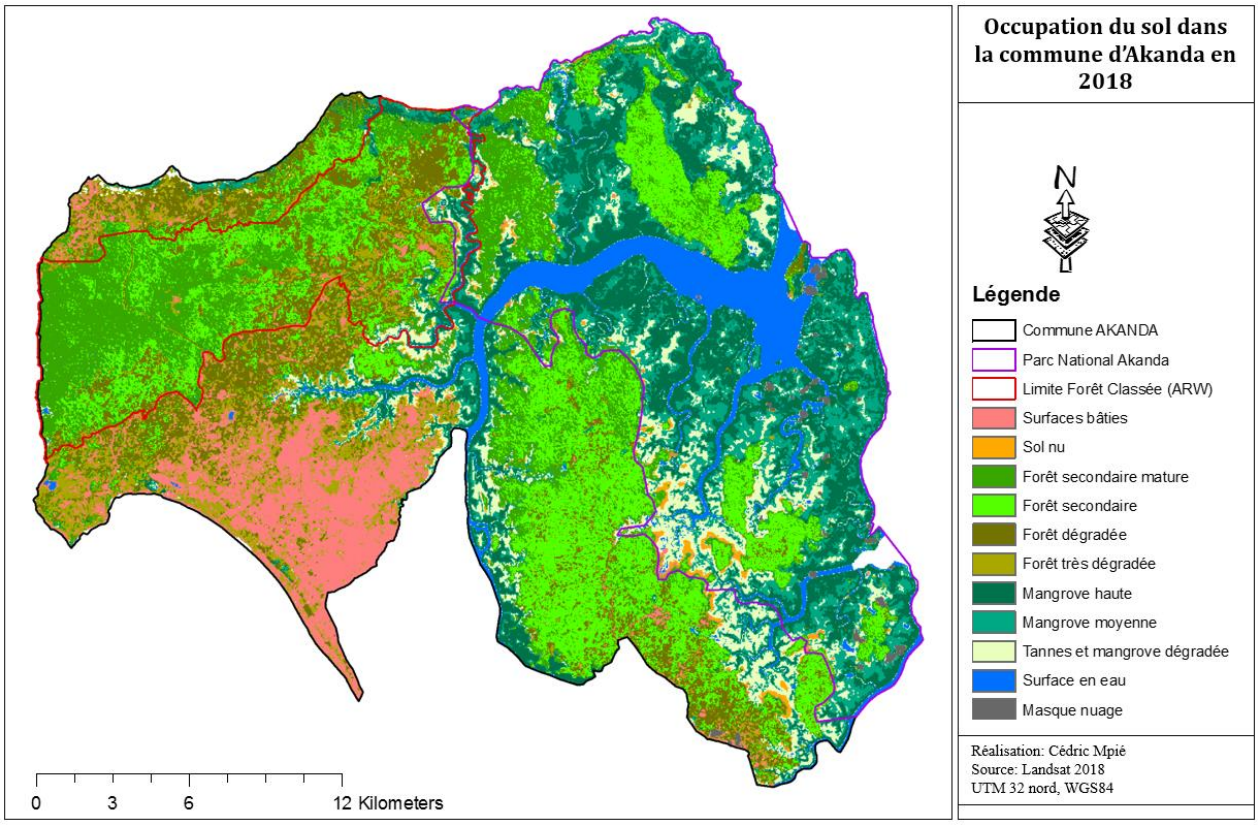


Figure 53 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2018

Les données précédentes montrent que le couvert forestier de la commune d'Akanda est très instable, avec un fort stress des surfaces de mangrove. Les statistiques qui en découlent nous permettent d'analyser les dynamiques du processus de dégradation des forêts à l'échelle locale pour les années 2000, 2014 et 2018. Cette analyse concerne aussi bien les forêts de terre ferme que les mangroves. Le but est d'étudier le comportement de ces écosystèmes et d'identifier les processus qui engendrent les perturbations.

La forêt secondaire mature évolue suivant une dynamique régressive. En 2000, elle se localise essentiellement dans la partie nord-ouest de l'arborétum RW (fig. 51). Ses surfaces se transforment en forêt secondaire et en forêt dégradée. Elle est passée de 73,39 à 70,51 km² entre 2000 et 2014 puis à 68,21 km² en 2018. La mutation des forêts secondaires est aussi importante (fg.52). Entre 2000 et 2014, elle a perdu plus de 45 km², passant de 131,77 à 86,38 km². Elles se localisent majoritairement en dehors des limites les aires protégées. La tendance reste la même pour la période 2014-2018. Ces surfaces finissent aussi par être transformées en surface de forêt dégradée et très dégradée (fig.53). En effet, si les surfaces de forêts secondaires se réduisent, cette réduction se fait au profit des forêts dégradées et très dégradées. La forêt dégradée est passée de 39,01 à 72,25 km² entre 2000 et 2014, avec une légère régression en 2018, passant de 72,25 à 54,47 km². Les forêts très dégradées sont aussi en perpétuelle évolution. Leur surface est passée de 18,65 à 35,41 entre 2000 et 2018. Ces forêts sont le dernier stade avant la mutation soit en sol nu soit en surface bâtie. Ces surfaces sont composées d'herbacées et d'arbustes d'une hauteur maximale

de 10 m (fig.54 et 55). Ces données indiquent que la dégradation des forêts un phénomène important et très dynamique dans la zone nord de Libreville. Cet état du couvert forestier renseigne sur le niveau de pressions en cours dans la zone d'Akanda. Si certaines activités ne peuvent être identifiées par télédétection, à cause de la résolution des images, ces activités provoquent néanmoins des stress dans la configuration spatiale et la qualité de la forêt. Ces activités engendrent une perte des hauteurs, de la densité des forêts et de la structure des forêts comme on peut le constater sur les figures 54 et 55 ci-dessous.



Figure 54 : Écosystème de forêt très dégradée par les activités anthropiques autour de l'ARW. Image prise par drone. Cliché Mpié Simba, 2018



Figure 55 : Écosystème de forêt dégradée par les activités agricoles de transition dans la zone nord de Libreville Image prise par drone. Cliché Mpié Simba, 2018

Les surfaces de mangroves, pourtant hostiles par leur condition physique, enregistrent aussi quelques perturbations. Les mangroves hautes et intactes sont au contact direct avec les cours d'eau. Elles ont une hauteur maximale de 30 mètres. Leur surface a légèrement régressé entre 2000 et 2018 au profit des mangroves de taille moyenne. La période 2000-2014 enregistre un bilan négatif soit -11,67 km², avec une légère hausse pour la période 2014-2018 soit 8,46 km². Les mangroves de taille moyenne sont celles qui amorcent leur dégradation. Elles enregistrent un stress lié à l'introduction des corps étrangers (plastiques, les eaux usées, les déchets électroménagers, les ordures ménagères) dans leur environnement (MDMLERD, 2019). En effet, ces mangroves retiennent l'essentiel des ordures ménagères jetées à l'eau par les populations et reçoivent les eaux usées. Ces déchets ont un impact sur l'état de santé des mangroves qui voient leur état de santé se dégrader au fil des années. Le niveau d'eau de ces mangroves varie en fonction des mouvements des marées et des saisons. Les surfaces de mangrove les plus dégradées sont celles qui sont au contact direct des terres émergées. Ses surfaces ne sont pas inondées en permanence comme dans les deux premières catégories. Ce sont ses terres que les populations en manque de terre constructible utilisent pour la construction de logement individuel. La mangrove de petite taille est celle qui présente les dégradations les plus importantes. Les figures ci-dessous présentent les différents types de mangroves photographiées au cours de nos sorties de terrain.



Figure 56 : États et types des mangroves à Akanda. ***A*** *: Mangrove haute de de 15 à 30 m, en bonne santé ;* ***B*** *: mangrove de taille moyenne, de 5 à 15 m ;* ***C*** *: mangrove dégradée de petite taille variant 0-5 m avec présence de bois morts ;* ***D*** *: dégradation anthropique de la mangrove avec la présence des déchets électroménagers, du béton, du plastique et des eaux usées. Clichés : Cédric Mpié Simba, 2019*

À partir de l'analyse des dynamiques de la dégradation forestière, nous avons élaboré un modèle graphique (fig.57) décrivant le cycle de dégradation des forêts de la presqu'île de Libreville. Ce cycle est élaboré en fonction des différents stades d'évolution du couvert forestier présentés précédemment. Linéairement, les écosystèmes forestiers passent par les étapes suivant : forêt secondaire mature (intacte), forêt secondaire, forêt secondaire dégradée, forêt secondaire très dégradée, le dernier stade étant la surface déforestée ou sol nu.

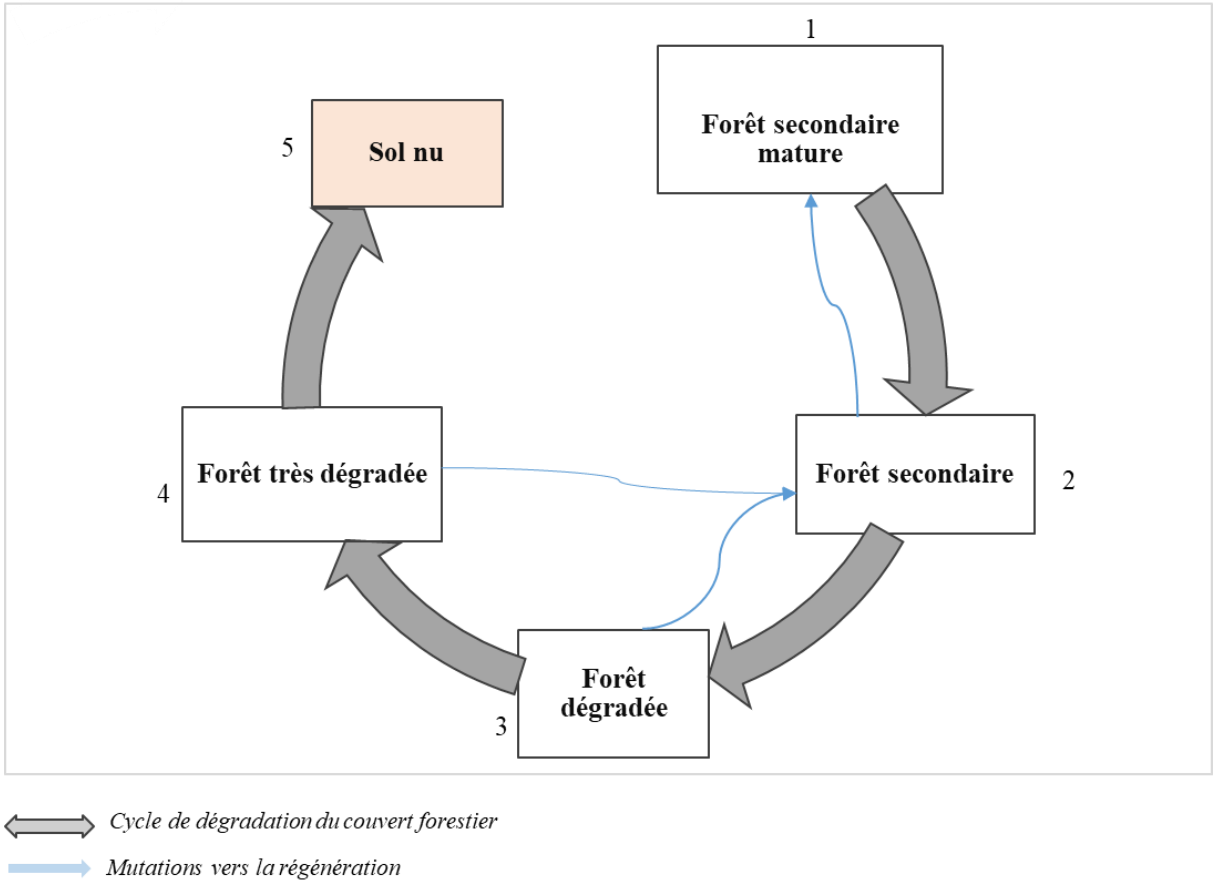


Figure 57 : Cycle de dégradation des écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville

Mais dans le détail, la dynamique n'est pas aussi linaire, car il existe pour toutes ces catégories des boucles de rétroactions ou des situations de rebondissement, caractérisées par des phases de restauration et de régénération forestière. L'analyse de ces deux processus permet d'étudier la capacité d'autorestauration des forêts. La restauration forestière est présentée ici comme le retour de la forêt vers un état antérieur. Ce processus est analysé à partir de la forêt secondaire et des forêts dégradées. Les forêts dégradées peuvent se restaurer jusqu'à revenir à leur état initial. La régénération forestière, quant à elle, consiste à étudier le processus d'auto-reforestation dans les espaces précédemment déforestés (comme les sols nus) ou ayant subi un changement d'occupation et d'utilisation du sol (surfaces artificielles). En d'autres termes, c'est l'analyse des gains de forêts sur des surfaces nues ou occupées par d'autres catégories. Ces deux processus sont donc différents l'un de l'autre. Les mutations de restauration les plus importantes sont le retour de la

forêt secondaire vers la forêt secondaire mature, suivi par le retour de la forêt dégradée vers la forêt secondaire. Ces changements sont perceptibles dans les limites des aires protégées pour les périodes 2000-2014 et 2014-2018. On peut donc attribuer la restauration forestière à un effet positif de la politique de préservation. En effet, les écosystèmes forestiers ont une bonne capacité d'autorestauration en l'absence des pressions anthropiques. Mais, à l'extérieur des périmètres protégés, ce processus est très faible ; car les forêts secondaires ont tendance à pour suivre le cycle de dégradation, à cause notamment d'une pression anthropique permanente. Par ailleurs, la capacité de restauration des forêts très dégradées demeure très faible. Elles peuvent donc être considérées comme une étape irréversible du processus de dégradation forestière aboutissant inéluctablement à l'étape de déforestation (sol nu) ou à un changement d'occupation du sol.

Par ailleurs, cette tendance met également en lumière les trajectoires socio-environnementales de ce territoire par la mise en perspective du rôle et des effets de la dégradation des forêts sur la vie des populations autochtones. En effet, les impacts environnementaux liés à la dégradation et à la déforestation peuvent engendrer la transformation et la reconversion des territoires des zones semi-forestières et forestières d'Akanda. Au regard de ce qui précède, on peut donc affirmer que la commune d'Akanda est un territoire en permanence sous pression, laquelle est liée aux multiples usages des terres.

Conclusion du chapitre 5

Le but de ce chapitre était de caractériser les trajectoires de changements des écosystèmes forestiers par l'analyse des phénomènes de fragmentation, d'artificialisation et dégradation forestière à l'échelle de la commune d'Akanda. Il a permis de rendre compte des processus des changements à l'œuvre et de renseigner sur les trajectoires environnementales des forêts par la caractérisation de leurs différents états. Il en ressort que la zone nord enregistre une évolution du processus de fragmentation par les activités pionnières qui, à leurs tours, participent l'artificialisation progressive des terres et à la dégradation forestière. Ces faits sont illustrés par une cartographie pluriannuelle détaillée, mettant en exergue les modifications de la structure du paysage forestier. Les cartes réalisées montrent aussi que ces écosystèmes connaissent de fortes perturbations caractérisées par une variation de taille et d'états et établissent une relation entre la hauteur du couvert forestier et leur état de santé. Cette analyse à montrer que les arbres les plus hauts étaient les moins dégradés et que les variations de taille sont le résultat des perturbations causées par les activités humaines comme l'agriculture traditionnelle.

L'analyse de ces différents états de la forêt permet de reconstituer leur cycle de dégradation des forêts, partant de la forêt secondaire mature (intact) à la forêt très dégradée ou le sol nu. Ce cycle permet donc d'appréhender la trajectoire d'évolution du couvert forestier d'Akanda. Il s'oriente principalement vers des stades de dégradation et de dislocation de ces habitats. Cette dernière montre surtout que les forêts de cette zone sont en danger du fait de leur régression quasi linéaire dans le temps. Les forêts secondaires matures par exemple ne cessent de se transformer en forêts dégradées et très dégradées, qui à leur tour sont progressivement converties en surface bâtie ou sol nu. Ce processus de changement correspond à une tendance lourde du fait de son enracinement dans le temps et de sa répétitivité, ou son occurrence. Les traitements réalisés avaient pour but de déceler d'éventuelles perturbations, des ruptures dans la distribution spatiale du couvert forestier.

Si les tendances globales et particulières des changements ont été définies, toutefois, il reste encore à identifier les facteurs ou les moteurs responsables de ces changements, afin d'établir des relations de cause à effet. C'est donc à cet exercice que nous nous livrons dans le chapitre ci-après.

CHAPITRE 6

DÉTERMINATION ET HIÉRARCHISATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS OBSERVÉS

CHAPITRE 6 : DÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENT OBSERVÉS

La partie précédente visait l'observation et le suivi spatiotemporel des changements d'occupation du sol, afin de mettre en évidence les dynamiques des changements ainsi que la caractérisation de leurs trajectoires d'évolution, aux échelles régionales (la presqu'île de Libreville) et locales (la commune d'Akanda). Un accent particulier est mis sur les dynamiques du couvert forestier, en étudiant les processus de dégradation forestière, de fragmentation et d'artificialisation des terres. Dans ce chapitre, il s'agit d'identifier les facteurs responsables de l'ensemble des changements, avec une profondeur historique, et de définir, par la suite, la part contributive de chaque facteur dans les changements observés.

Ce chapitre s'appuie principalement sur les données de terrain et tente d'établir une corrélation entre les facteurs identifiés et les dégradations observées. Ainsi, les données collectées sur le terrain vont être analysées afin de déterminer ce que les populations identifient comme facteur de changements. Les facteurs de changements d'occupation du sol sont composés à la fois d'un faisceau d'activités socioéconomiques et des actions ou politiques publiques. Les facteurs identifiés ici sont composés de l'ensemble des réponses apportées par les individus, sans que leur citation ne soit orientée ni même influencée. Ces réponses ont par la suite fait l'objet de traitement graphique et statistique et viennent à l'appui de l'analyse scientifique. Outre les données collectées auprès des populations, des observations *in situ* nous ont aussi permis d'identifier et d'expliquer un certain nombre de processus et de pratiques qui entrainent des changements d'occupation du sol.

Dans la littérature, les facteurs de changements d'occupation du sol sont multiples avec des causes et des conséquences aussi variées. Ces derniers ont été conceptualisés et synthétisés depuis 2005 par Ojima et Morane (2005) (voir fig. 58). Au centre de tout changement du système Terre se trouve l'utilisation du sol. L'homme, par ses multiples décisions, va contribuer, à travers les composants du sous-système anthropique, à la dégradation des écosystèmes et des services rendus par la nature. Ainsi, l'utilisation du sol engendre des conséquences au niveau du système Terre et leurs effets ne font que croitre dans le temps et dans l'espace. Précisons que les facteurs de changements sont constitués de plusieurs variables biophysiques et socioéconomiques. Dès lors, il semble difficile de prendre en compte dans une même étude, la totalité des facteurs responsables des changements dans l'occupation du sol. En fonction de l'objectif de la recherche, ou d'une thématique spécifique, le choix des facteurs les plus impactant est souvent privilégié.

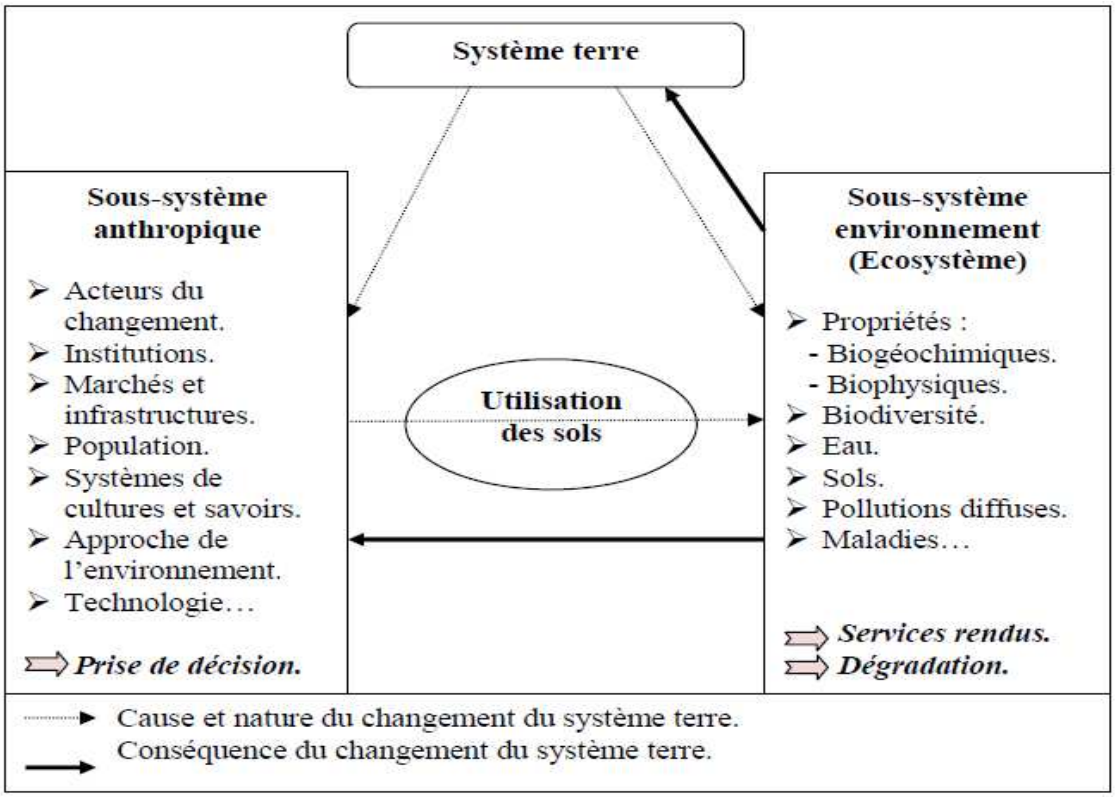


Figure 58 : Causes et conséquence des changements d'occupation et utilisation du sol (Ojima D et Morane E., 2005)

Dans le détail, les éléments analysés peuvent être regroupés en trois grandes catégories à savoir, *le facteur démographique* et ses corolaires, *le facteur institutionnel*, *le facteur culture*. Les facteurs de changements d'occupation du sol peuvent être globaux, ou locaux ou propres à un site. Dans le cadre de cette recherche, l'accent est mis sur les facteurs propres aux sites. Si l'on se réfère à la classification de Lambin et *al.,* (2001), ils correspondent aux « facteurs directs », c'est-à-dire l'ensemble des actions et activités anthropiques pratiquées à une échelle locale. Ils sont principalement issus de l'étude des changements d'occupation du sol et de l'opinion des populations recueillies lors de nos sorties de terrain. Cette démarche vise à nous mettre en phase avec notre question principale de recherche, centrée sur les pratiques des populations et leurs effets sur la modification de la structure spatiale du paysage, plus précisément, les écosystèmes forestiers. Les sections ci-dessous présentent les résultats des enquêtes menées auprès des populations et tentent de procéder à la construction scientifique des données collectées.

6.1. Détermination des facteurs de changement d'occupation du sol observés

Selon le MEA (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), un facteur de changement est un élément naturel ou d'origine anthropique qui entraine directement ou indirectement le changement d'un écosystème. Les facteurs de changements ont été identifiés et classés par les populations suivant deux temporalités à savoir les facteurs de changement passés et actuels. Notre enquête porte essentiellement sur

les facteurs d'origines anthropiques. Il s'agit d'un ensemble d'éléments qui opèrent de façon plus ou moins diffus et qui modifient les écosystèmes. Les facteurs identifiés ici sont constitués à la fois des pratiques (sociales) des populations et des politiques de gestion territoriale. Un lien est établi entre ces pratiques et ces politiques afin d'analyser comment ces dernières contribuent à exacerber les changements. En effet, certaines politiques peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur le développement des pratiques des populations, lesquelles influencent le territoire, et produisent des changements. Un facteur de changement est donc une pratique, ou une activité qui entraine des modifications de la structure spatiale du paysage. Concrètement, l'analyse des pratiques des populations consiste à l'identification des actions qui, potentiellement, dégradent les écosystèmes, tandis que l'analyse des politiques de gestion du territoire permet de faire un lien entre la pratique de ces activités et leurs effets sur le territoire. Certaines activités peuvent avoir une profondeur temporelle importante, c'est-à-dire qu'elles existaient auparavant et leurs effets évoluent dans le temps et en font une tendance lourde. Par contre, d'autres peuvent être des facteurs émergents ou récents.

6.1.1. Résultats des enquêtes sur l'identification des facteurs de changements

6.1.1.1. Les facteurs de changement passés et actuels identifiés par les populations enquêtées

L'identification des facteurs de changement passés repose essentiellement sur les données collectées sur le terrain auprès des populations et des acteurs locaux. Le questionnaire portait sur les dynamiques paysagères et environnementales dans la presqu'île de Libreville et cherchait à décrire et à caractériser le déroulement, dans le temps et dans l'espace, de l'ensemble des activités et des processus qui ont entrainé des changements paysagers. Ces éléments permettent par la suite de faire une synthèse de leur déroulement (les facteurs de changements), d'identifier les enjeux et les conséquences sur le plan environnemental et social, et de modéliser la traduction spatiale de ces processus dans le but de proposer un support d'analyse et de discussion pour la gestion du territoire et l'environnement. Ainsi, les populations ont identifié les principaux facteurs historiques de changement qui ont influencé le territoire au cours des trente (30) dernières années. Il s'agit de la croissance démographique, la centralisation des activités, l'étalement résidentiel, la gestion foncière, et la faible application des stratégies, des schémas et des plans (fig. 59). Ces réponses montrent que pour les personnes interrogées, les changements d'occupation du sol sont le résultat des effets combinés de plusieurs facteurs. La figure 59 ci-après présente ces résultats en fonction de leur occurrence.

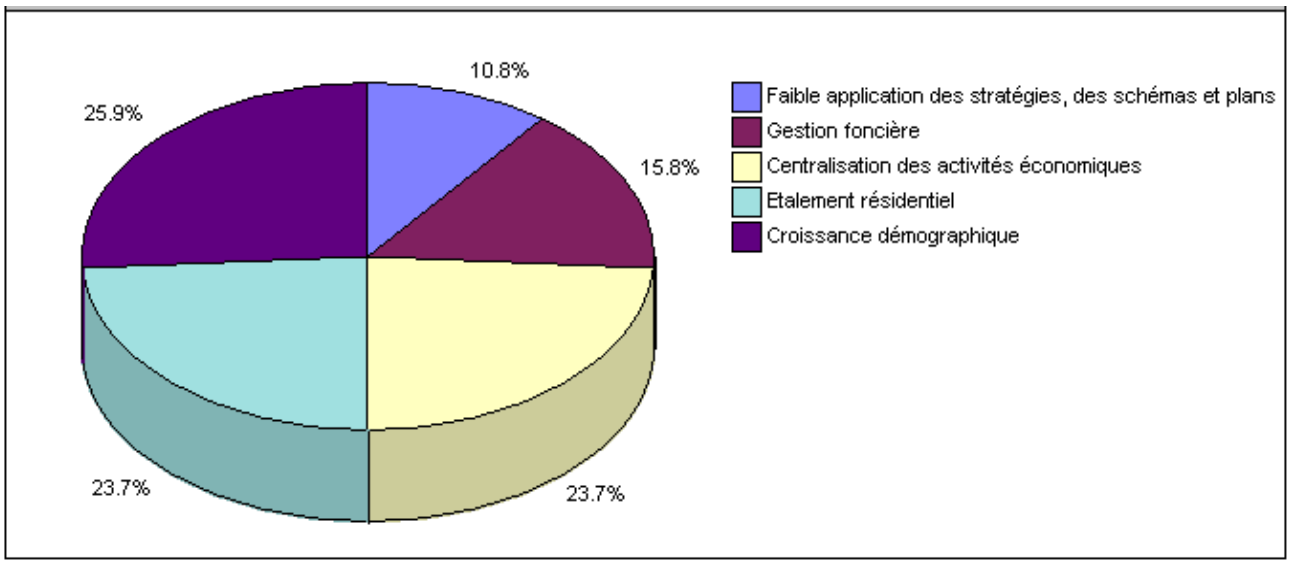


Figure 59 : Les principaux facteurs de changement passés qui ont influencé le territoire et son environnement Source : Données de terrain, Cédric Mpié Simba

La croissance démographique est un facteur unanime, cité par la majorité des personnes interrogées (25.9%). Elle est suivie de la centralisation des activités économiques (23.7%), de l'étalement du bâti (23.7%) et de la gestion foncière (15.8%). Ces effets semblent perceptibles par tous. Les populations justifient cette réponse par la croissance spatiale que connaissent les espaces périphériques de Libreville, les transformations et l'intégration des anciens villages en zone urbaine et même du poids économique de Libreville qui constituerait un facteur de gonflement démographique.

Le questionnaire tente aussi de faire identifier les facteurs de changement actuels. Le but est de mettre en évidence les facteurs historiques (les tendances lourdes), mais surtout les nouveaux facteurs ou ceux en émergence. Pour ce faire, l'accent a été mis sur les facteurs qui ont influencé le territoire au cours des dix (10) dernières années (fig.60). Dans l'ensemble, les facteurs de changements identifiés sont les mêmes, toutefois, on enregistre de nouveaux facteurs qui pourraient s'inscrire dans les facteurs émergents. Il s'agit des projets d'ex-urbanisation et de l'agriculture de transition. Ces facteurs sont principalement cités par les populations cibles chercheurs et acteurs administratifs. La création de la zone économique spéciale de Nkok et le projet de construction du nouvel aéroport international au sud de la presqu'île de Libreville constituent les principaux moteurs de l'ex-urbanisation. La construction de la zone économique, par exemple, s'est accompagnée de l'amélioration du réseau routier, l'installation d'administrations publiques (Douanes, AGEOS, etc.) et de la production/attribution d'un important parc immobilier. Aujourd'hui, la zone de Nkok fait partie des territoires les plus convoités de la presqu'île, tant par les populations que par les opérateurs économiques. Par ailleurs, la transformation des terres agricoles en espaces bâtis est un fait de plus en plus observé dans les zones périphériques forestières de Libreville.

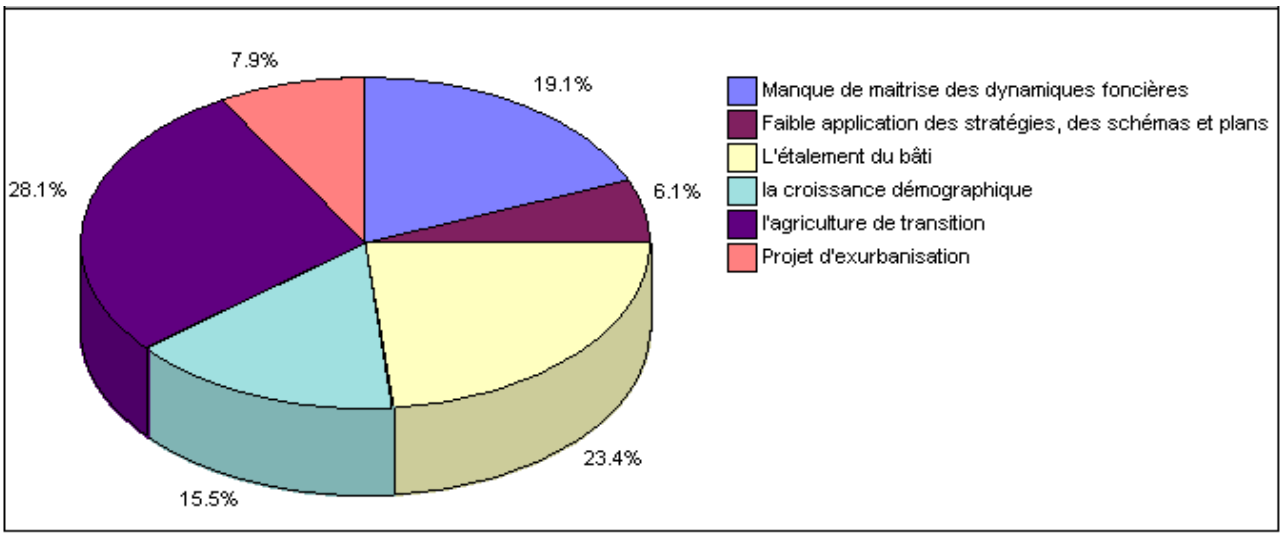


Figure 60 : Les principaux facteurs de changement actuels qui influencent le territoire et son environnement Source : Données de terrain, Cédric Mpié Simba

L'analyse de ces facteurs de changements nous permet de les classer en facteurs directs (agriculture de transition, étalement du bâti, l'ouverture des routes) et facteurs indirects (croissance démographique, faible application des stratégies et plans, manque de maitrise des dynamiques foncières). De ce graphique, il en ressort que l'étalement du bâti (23.4%) et ses coralliaires (agriculture de transition) constituent les facteurs les plus importants (28.1%). La gestion foncière (19.1%) joue aussi un rôle important dans la modification des écosystèmes, suivi de la croissance démographique (15.5%). La croissance démographique est reconnue comme un des éléments déclencheurs de pression sur les milieux. Dans les zones périphériques de la presqu'île de Libreville, les populations elles-mêmes ont fait ce constat au regard des dynamiques du cadre bâti, des activités (agricoles) et des changements qu'elles engendrent. Aussi, la modification de la structure spatiale des écosystèmes forestiers ou leur recul en lien avec l'agriculture traditionnelle (de transition) est un des faits remarquables.

Une analyse de l'ensemble des facteurs identifiés par les populations est entreprise. Cette analyse permet d'établir des relations de cause à effet et de retracer le déroulement de changements dans le temps. L'analyse des facteurs de changements passés et actuels met en évidence les facteurs récurent et historiques des changements. Ces deniers appartiennent majoritairement à la famille des facteurs institutionnels. Les effets induits de ces facteurs sont également présentés et analysés. Certains facteurs correspondent aux pratiques des populations alors que d'autres concernent les politiques de gestion du territoire. Tous ces facteurs identifiés sont étroitement liés et dépendent les uns des autres. Ils décrivent un processus de cause à effet. Une mise en relief avec les données sur les conditions historiques de développement de Libreville (chapitre 2) nous permet de relever, dans un ordre de cause à effet, les facteurs de changement des paysages de la presqu'île de Libreville au cours des trente dernières années. Ainsi, quatre principaux facteurs se distinguent : la centralisation des activités économiques, la croissance démographique, la gestion foncière et l'étalement résidentiel. Ces éléments, ainsi que leurs conséquences, sont présentés de manière

synthétique dans la figure 61 ci-après. Elle décrit le processus de transformation du paysage de la presqu'île de Libreville.

La *centralisation des activités économiques* apparait comme le premier élément d'attraction ayant entrainé l'exode rural et la migration des populations vers Libreville. Cette dernière s'est accompagnée d'une *croissance démographique*, laquelle a engendré une augmentation des besoins en terres pour diverses activités. Mais malheureusement, cette croissance s'est faite sur un territoire non contrôlé caractérisé par *une gestion foncière opaque*, qui à son tour a entrainé un *étalement urbain* non contrôlé qui dégrade les écosystèmes naturels. C'est donc cette relation de cause à effet que nous avons tenté de représenter dans la figure 61 ci-dessous.

Ces facteurs de changements correspondent à un ensemble d'éléments imbriqués les uns aux autres, évoluant dans un système dynamique. Ils permettent, d'une part, de comprendre le fonctionnement de ce territoire et, d'autre part, d'expliquer les changements d'occupation du sol. L'étalement résidentiel se positionne ici comme la conséquence des autres facteurs. Ainsi, chaque élément est analysé afin de monter comment il contribue à nourrir les pratiques liées aux modes d'occupation des espaces et à la dégradation des écosystèmes forestiers. Une analyse de chacun de ces facteurs est faite dans les sous-sections qui suivent.

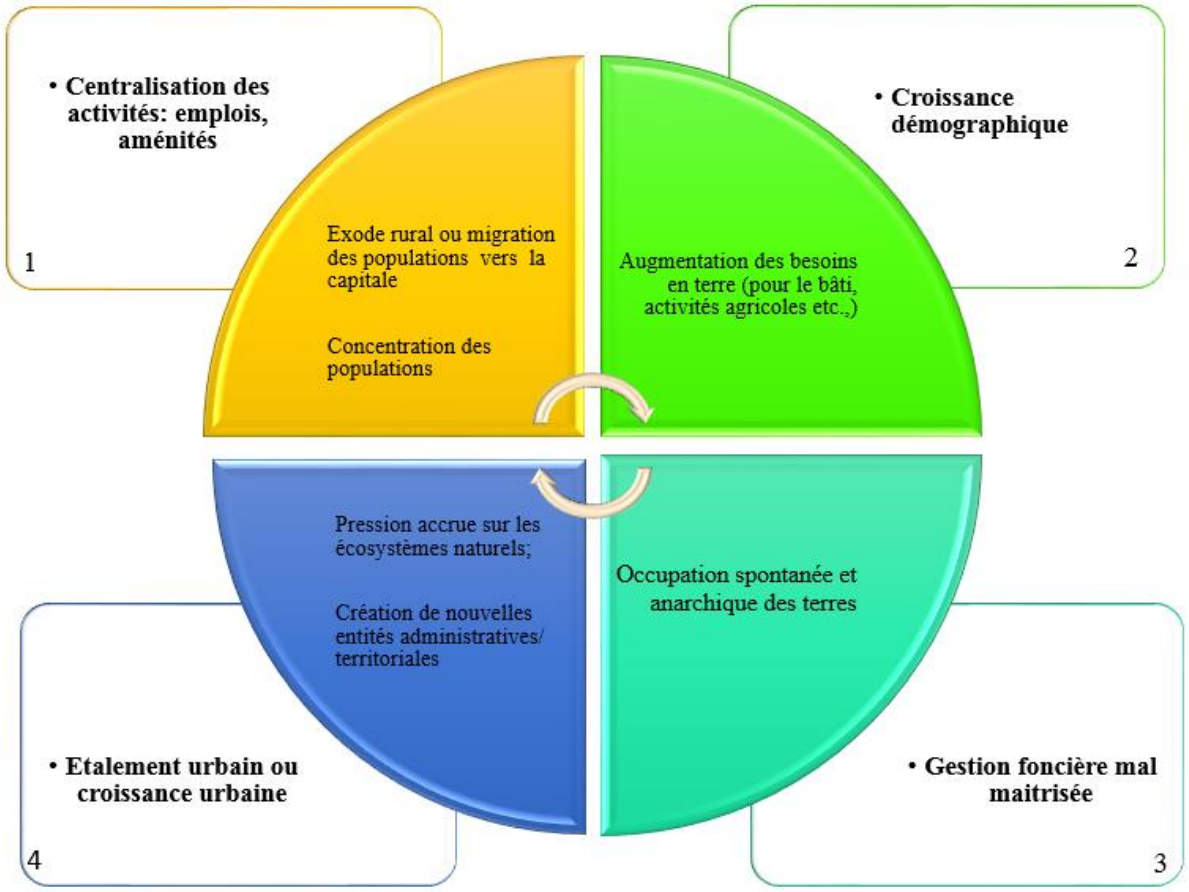


Figure 61 : Facteurs de changements de l'occupation du sol et leurs conséquences. Réalisation : Cédric Mpié Simba

- *La centralisation des activités économiques* ou la centralisation des fonctions dans une seule zone urbaine (Libreville) justifient son attractivité et son rayonnement au niveau national : emplois, infrastructures, sièges sociaux d'entreprises, Libreville détient les opportunités d'emplois que l'arrière-pays ne dispose pas et tout est quasiment concentré à Libreville (Essono Edoh, 2020). Ce poids économique fait de la capitale politique une plaque tournante. Libreville devient donc, une terre d'opportunité tant sur le plan national qu'international, symbole de réussite sociale pour les populations de l'arrière-pays. Par conséquent, la ville subit deux types d'immigration : une immigration nationale caractérisée par le déplacement des populations de l'intérieur du pays vers Libreville (Essono Edoh, 2020 ; Nguéma R, 2014 ; Allogho Nkoghe, 2013 ; Mabiala, 2010) et une immigration internationale ayant aussi largement contribué à l'accroissement démographique de Libreville. Ce mouvement a eu, comme conséquence, la concentration des populations dans la capitale et a fortement contribué à la croissance démographique de Libreville et ses environs. Une analyse de Pottier et *al.*, (2017), réalisée à l'aide des données du recensement de 1993 (DGSEE, 1993), montre que près de 145 000 habitants de Libreville étaient originaires d'une autre province, soit 35 % de sa population, auxquels devaient s'ajouter 20 % de résidents nés à l'étranger (fig.62). Ce facteur a donc largement contribué à la concentration de la population à Libreville et ses environs.

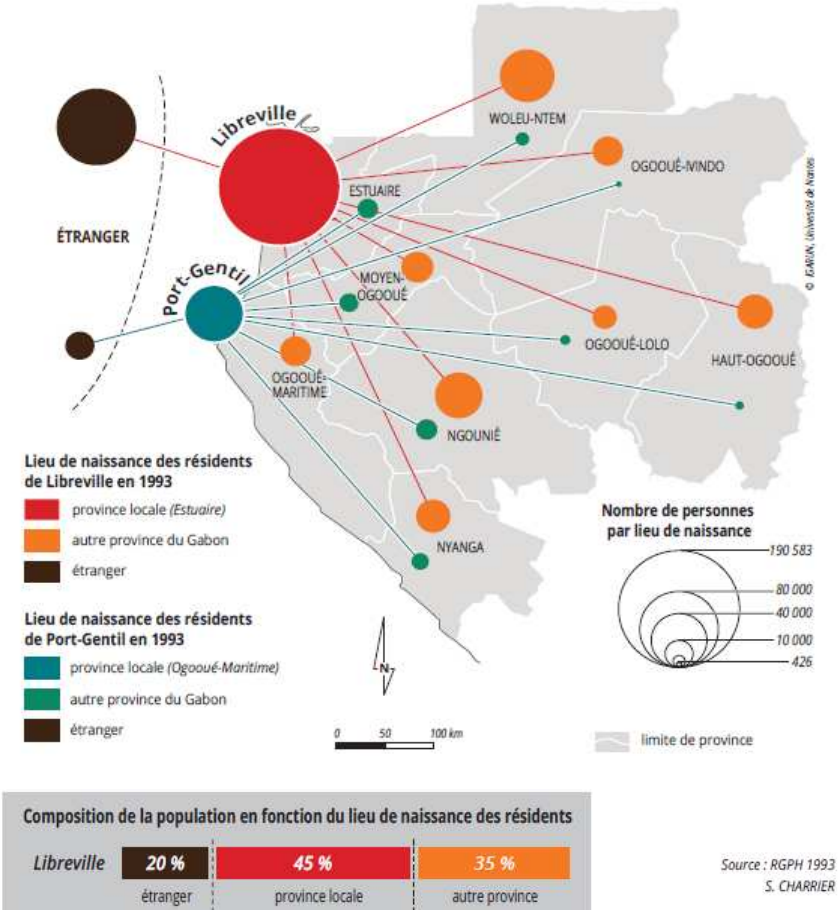


Figure 62 : Flux migratoires à destination de Libreville

- *La croissance démographique :* Précisons que cette dernière est liée non seulement à l'exode rural ou l'immigration, mais aussi à la croissance naturelle de la population. Rappelons que le Gabon dans son ensemble compte en 2013, un peu plus de 1 800 000 habitants (RGPL, 2013). La région de Libreville à elle seule abrite 40 % de la population soit plus de 800 000 habitants *(ibid.*) sur un territoire contraint et restreint, qui ne représente que 0,31 % du territoire national soit 859 km² pour 267 667 km². L'accroissement naturel, combiné à l'arrivée massive des populations, a très vite entrainé une saturation de l'espace urbain et un déficit de logement. Pour cause, les politiques en matière d'habitat et de logement n'avaient pas pris en compte le phénomène de croissance démographique et d'immigration. La saturation du centre urbain traditionnel combiné au coût très élevé de la parcelle au centre vont emmener les populations à se tourner vers les espaces périphériques. Au cours de nos enquêtes, la croissance démographique a été identifiée par les populations comme étant un des facteurs que les pouvoirs publics n'avaient pas bien anticipé et qui, par conséquent, représente un facteur de changement de l'occupation du sol, car elle entraine une augmentation des besoins en terre et une pression accrue sur les écosystèmes naturels. Ici, l'étalement résidentiel causé par la croissance démographique est donc lié à deux éléments fondamentaux. D'une part, l'attractivité (évoquée précédemment) qu'exerce Libreville sur le reste du territoire national par ses opportunités d'emploi et, d'autre part, l'insuffisance de l'offre de logement planifié, adossée à une gestion foncière opaque. Selon le rapport du Plan Stratégique Gabon Émergent, (PSGE, 2009) et, plus récemment, Essono Edoh (2020), le déficit est d'environ 100 000 logements à Libreville. Par conséquent, cette attractivité s'est peu à peu transformée en un handicap tant sur le plan social qu'environnemental et met à mal la préservation de la biodiversité en milieu périurbain. Aussi, la croissance démographique va naturellement s'accompagner d'une augmentation des besoins en terre pour les activités et surtout pour le logement. Mais la croissance démographique ne saurait être un handicap si elle avait été accompagnée par une politique de gestion foncière efficace.

- *La gestion foncière :* En effet, un des facteurs responsables des changements d'occupation du sol identifiés s'avère être *la gestion foncière* (mal maitrisée). Les aménagements fonciers n'ont pas suivi ou n'ont pas pris en compte la croissance démographique. Face au déficit criant de logement (soit 100 000 logements) évoqué précédemment, ainsi qu'au non mise à disposition des parcelles viabilisées, les populations se sont installées de manière illégale dans les espaces périphériques et vacants (Ndong Mba, 2021). Ces occupations massives, spontanées et anarchiques, vont être encouragées par le laxisme des pouvoirs publics. Malgré les dispositions règlementaires qui désignent l'État comme propriétaire exclusif des terres au Gabon, les premières phases d'acquisition des parcelles passent toujours par les populations locales. Ce contexte qui dure depuis des décennies a, sans nul doute, favorisé l'évolution

spatiale et incontrôlée du cadre bâti et même des activités. L'opacité dans la gestion foncière (évoqué depuis des décennies par Djeki, 2003 ; Nguéma, 2005 ou Allogho, 2011), va avoir des effets néfastes sur la structure spatiale des écosystèmes forestiers qui vont être modifiés et dévastés.

Selon Djeki (2003), une des causes du dysfonctionnement dans la gestion foncière relève du fait que la couverture cadastrale n'a pas suivi l'extension de la ville, et l'État n'a pas prévu de réserves foncières pour les populations. Par conséquent, l'évolution des espaces périphériques ainsi que leurs trajectoires sont définies par les populations. C'est elles qui, au gré de leurs installations, créent de nouvelles entités territoriales et définissent la trame de la ville dans les espaces périphériques. Dans les zones où l'État ne développe aucun projet immobilier, ce sont les populations qui souvent prévoient les chemins d'accès (les routes), donnent les noms aux quartiers, créent des marchés ou zones de commerce (fig.63).

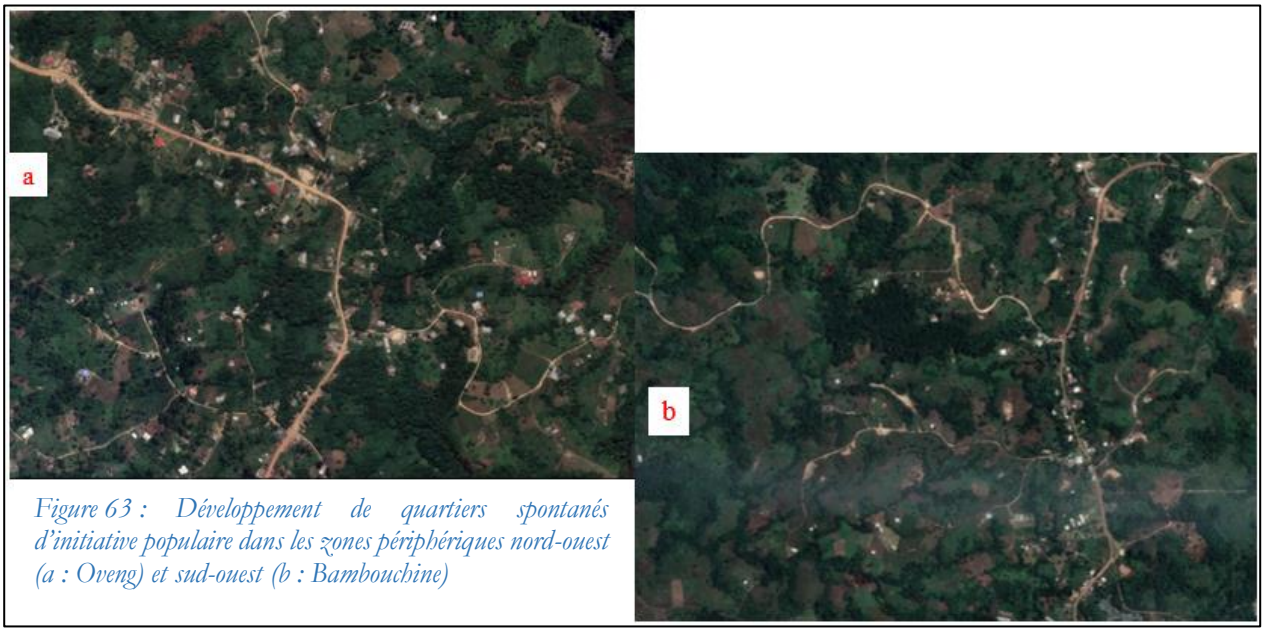


Figure 63 : Développement de quartiers spontanés d'initiative populaire dans les zones périphériques nord-ouest (a : Oveng) et sud-ouest (b : Bambouchine)

Les secteurs sont dépourvus d'un plan cadastral. Le bâti se développe de manière spontanée le long des axes routiers. Ces routes et pistes sont créées par les populations et ne font l'objet d'aucune programmation par l'État. Ces routes servent avant tout à l'acheminement des matériaux de construction et d'accès aux parcelles (habitations).

Ici, on comprend aisément qu'en matière d'occupation foncière, les populations précèdent souvent les pouvoirs publics. Elles n'hésitent plus à occuper des territoires très éloignés, car elles sont conscientes de l'extension rapide des zones périphériques. Ces installations massives des populations vont voir pour résultat l'étalement de l'habitat spontané dans les espaces périphériques de Libreville suivi d'une dégradation du couvert forestier (fig.63).

- *La faible application des schémas, plans et stratégies :* Ce facteur justifie la situation de gestion foncière que nous venons de présenter. Il trouve aussi son explication dans la configuration spatiale de la ville. Ce facteur part du constat selon lequel, en matière de gouvernance et de gestion de l'environnement, le pays dispose d'un ensemble de textes et de lois qui encadrent ces domaines. Mais la difficulté résiderait

dans le manque de moyen financier. Les outils d'aide tels que les schémas directeurs d'aménagement du territoire, les schémas directeurs d'aménagement urbain, les plans d'occupation du sol, pourtant commandités par les pouvoirs publics, n'ont jamais été exécutés. Par conséquent, la ville se développe sans plan et de manière anarchique. Aussi, le cadre juridique accompagnant certaines politiques de gestion territoriale, telles que la protection de l'environnement ou la gestion foncière, n'est que faiblement appliqué. Le territoire reste donc gouverné par les logiques individuelles, la loi du laisser-faire et du laisser-aller (Nguéma, 2005 ; Djéki, 2003). Dans ces conditions, les objectifs assignés aux dispositifs d'aménagement restent un idéal qui n'est jamais atteint. Cette faible application des dispositifs règlementaires a pour conséquence l'occupation et l'exploitation illégale et anarchique des terres.

- *L'étalement résidentiel :* une des conséquences du laisser-aller dans le foncier s'avère être l'étalement du cadre résidentiel. En effet, les pressions sur les ressources foncières causées par la croissance démographique se sont accompagnées de la densification de l'habitat dans les pourtours immédiats de la ville avec une multiplicité des fronts d'urbanisation (au nord, au sud, au centre ouest et au sud-ouest). Cette évolution du cadre bâti a abouti à la création de nouvelles entités territoriales autour de Libreville, d'abord au sud avec la commune d'Owendo, puis au nord avec la commune d'Akanda, ou encore au sud-est avec Bikélé dans la commune de Ntoum. Malgré la création de ces entités, Libreville concentre toujours l'essentiel des activités économiques et des emplois. L'extension des surfaces périphériques est donc liée à la volonté des populations à se rapprocher au maximum de la zone d'intérêt qu'est Libreville. Les autres communes, à l'exception d'Owendo, jouent le rôle principal de communes résidentielles malgré la présence de quelques activités ou infrastructures publiques (mairies, écoles).

Si l'étalement résidentiel est cité à juste titre par les populations comme un des facteurs de changements (déforestation, dégradation forestière), celle-ci est cependant liée à l'évolution démographique de la presqu'île qui, elle-même, a été exacerbée par une gestion foncière opaque. Vu sous cet angle, l'étalement résidentiel est un facteur qui agit de façon directe sur les changements de l'occupation du sol. Il est responsable de la déforestation, de la dégradation forestière, de la destruction des surfaces de mangrove et même de la fragmentation des forêts. Ses effets ont été mis en évidence lors de l'analyse rétrospective des changements de l'occupation du sol. Les résultats ont montré que l'ensemble des écosystèmes forestiers recule majoritairement au profit du cadre bâti. Les effets de l'étalement urbain ou de l'étalement du bâti sur la biodiversité (Aguejdad, 2009) et la couverture végétale (Bamba, 2012) ont fait l'objet de plusieurs recherches. Ces études mettent en exergue les facteurs, les impacts et les enjeux de ce phénomène. En effet, l'étalement urbain engendre des changements d'occupation et d'usage des terres. Elle est source de dégradation et de fragmentation forestière et bouleverse les processus écologiques des écosystèmes

naturels. Toutefois, il semble indispensable de distinguer l'étalement urbain de l'étalement du résidentiel. Précisons que dans notre cas, nous mettons l'accent sur l'étalement du bâti, qui est une composante de l'étalement urbain.

L'étalement urbain est un phénomène beaucoup plus vaste et complexe. Il peut être défini comme un processus d'expansion de la ville vers les zones périphériques. Son ampleur varie d'une ville à une autre et dépend des facteurs démographiques, géographiques, sociaux et économiques. C'est donc le glissement de l'urbanité du centre urbain vers les espaces périphériques ou ruraux. Il a cependant une connotation négative, car il engendre une utilisation gourmande et inefficace des espaces (Peiser, 2001). En effet, l'étalement urbain induit une augmentation des surfaces artificielles, une augmentation de la température (notamment les îlots de chaleur urbaine) et une réduction de la capacité de séquestration du carbone (Pellissier, 2006). Elle est donc le résultat d'une compétition entre plusieurs usages et la combinaison de plusieurs facteurs. Elle est soutenue par la croissance urbaine (une économie urbaine). Les espaces qui subissent l'étalement urbain ont des services sociaux de base et les aménités nécessaires (administrations publiques, services publics, loisir, emploi, etc.).

L'étalement résidentiel, quant à lui, représente uniquement l'expansion du bâti (le logement individuel ou collectif) vers les espaces périphériques. Il est aussi à différencier de l'étalement du bâti, qui lui prend en compte à la fois les lieux d'habitation (logements), les administrations publiques et privées, les voiries et réseaux de transport, les lieux d'activités (commerces, industries, services, etc.) et places publiques (parcs, place des fêtes, etc.), etc. Cette distinction entre l'étalement urbain et l'étalement résidentiel n'est pas anodine, notamment au regard de la spécificité de notre zone d'étude. En effet, il semble très difficile localement de différencier ce qui est urbain de ce qui ne l'est pas, car, en réalité, certaines zones d'expansion présentées comme des zones urbaines à Libreville ne le sont pas. Ces zones sont dépourvues de toutes commodités nécessaires à l'urbanité : pas de services sociaux de base, insuffisance des infrastructures routières, routes non bitumées et en mauvais état, pas d'école, pas d'hôpitaux, pas d'administration publique, pas d'économie urbaine, etc. De plus, leur dynamique ne fait l'objet d'aucun plan et ne figure dans aucune projection. Ces zones se développent au gré des initiatives des populations et sont aujourd'hui « hors de contrôle des pouvoirs publics ». Le sol est principalement utilisé pour la construction de logement individuel ou pour les activités connexes (activité agricole de transition). Bien que les matériaux utilisés pour la construction soient modernes, ces quartiers ou anciens villages considérés comme urbains sur le plan local ne sont en réalité que des zones *fortement habitées*. Ceci justifie le fait que nous nous intéressions uniquement au développement du cadre bâti, simple à mettre en évidence dans notre cas, et non à l'étalement urbain (qui nécessite d'étudier la croissance urbaine de la ville et la complexité des éléments à mobiliser). Il semble donc nécessaire que nous nous intéressions aux facteurs de l'étalement résidentiel dans la presqu'île de Libreville.

6.1.1.2. Le rôle du réseau routier

Dans cette conquête de terrain constructible, un facteur semble exacerber l'étalement résidentiel : c'est l'ouverture des routes (fig.64). Tout comme, Burgess, Harris et Hoyt dans les années 1950, Galster et *al.,* (2001), dans leur article intitulé *« Wrestling sprawl to the ground : defining and measuring an elusive concept. »,* identifient cinq formes de l'étalement urbain à savoir : (1) le développement compact (2) le développement discontinu, éparpillé ou diffus (3) l'étalement linéaire ou par bande linéaire, généralement le long des axes (4) l'étalement par bond ou en saute-mouton (5) le développement polynucléaire sous forme de pôles compacts. Au regard de l'ensemble de ces éléments, on constate que l'étalement du bâti dans les espaces périphériques de la presqu'île est bimodal. Parmi les cinq formes citées, deux semble correspondre au cas particulier des espaces périphériques de Libreville. La forme la plus répandue est l'étalement résidentiel le long des axes. La route est un élément catalyseur du cadre bâti. Dans les espaces périphériques où le couvert forestier est très important et les activités inexistantes, l'ouverture d'une route va permettre l'accessibilité dans cet écosystème qui, désormais, est à la portée des populations. Progressivement, les populations en manque d'espaces vont s'installer le long des axes.

Le développement diffus est la seconde forme de l'étalement résidentiel observable dans la presqu'île. Le développement diffus du bâti est favorisé par les activités pionnières dans les surfaces de forêts éloignées. Ces zones se transforment par la suite en campement ou en petit village et finissent par attirer de nouveaux occupants. Dans les zones périphériques de Libreville, la densité du cadre bâti décroit au fur et à mesure que l'on s'éloigne du réseau routier principal. Pour se déplacer, pour rallier les zones d'activités, les populations utilisent les axes de circulation, notamment les routes, mais aussi les pistes. Les pistes sont des facteurs très importants et non négligeables des changements du milieu. Ce sont des précurseurs de tout changement environnemental d'origine anthropique, car ils conditionnent l'accessibilité et façonnent le paysage (Bamba I, 2010).

Si le réseau routier principal est très lâche, les pistes au contraire sont très nombreuses. Ces dernières forment un réseau complexe qui fragmente les paysages forestiers de la zone d'étude. Leur identification par les outils de la télédétection reste très difficile à cause de leur taille. Les pistes sont de très petites voies, généralement pédestres ne mesurant pas plus d'un mètre de large. La figure 64 ci-dessous illustre les deux modes de l'étalement résidentiel diffus (a) le long des axes (b).



Figure 64 : Les pistes et les routes comme facteurs de propagation du cadre bâti. (a) bâti diffus suivant un réseau de pistes sans route principale à Essassa (Ntoum) ; (b) une voie principale avec des ramifications le long desquelles s'aligne le bâti (b) au premier campement (Akanda). Source : Google Earth, 2018.

6.1.1.3. L'ex-urbanisation, un facteur émergent

L'ex-urbanisation est un phénomène récent dans la presqu'île de Libreville. Elle date des années 2010, et est caractérisée par le transfert des activités vers les espaces périphériques. Ce phénomène est particulièrement caractérisé par la construction d'une zone économique spéciale au sud (Nkok) et la construction d'un stade de football au nord (Agondjé). La construction de la zone économique s'est accompagnée de l'amélioration du réseau routier. Ce qui a donc contribué à augmenter les installations des populations et les acquisitions foncières au sud. Les cartes d'occupation du sol de 2014 et 2018 montrent une augmentation de la tache urbaine dans la zone de Nkok, autour de la zone économique. Aujourd'hui, ce secteur est l'un des plus dynamiques du territoire en termes d'occupation du sol et d'accessions foncières. À ce sujet, un responsable de l'agence de l'urbanisme et du cadastre nous a confié ce qui suit :

« … mais petit à petit et sous nos yeux, la ville est en train d'évoluer vers le sud à cause de la construction de la zone économique de Nkok et du projet de construction du nouvel aéroport de Libreville. L'aéroport n'est encore qu'un projet que déjà, les populations se ruent vers cette zone et on constate que les prix des terrains ont même flambés. […], la zone qui va du pk 12 à Essassa est celle qui enregistre le plus de demandes de parcelle après Akanda ».

Ce constat est aussi le même pour la zone nord. Le transfert de l'activité sportive par la construction du stade de football s'est accompagné de la construction des routes et l'amélioration du réseau routier, de l'adduction d'eau et d'électricité, favorisant ainsi l'attractivité de la zone et l'installation massive des

populations. Aujourd'hui, la commune d'Akanda est le territoire le plus convoité et subit de fortes pressions en termes d'occupation foncière.

En dehors des facteurs cités par les populations, nous avons également fait des observations sur le terrain qui nous ont permis d'identifier d'autres processus qui contribuent fortement à la modification des milieux forestiers. Il s'agit d'un ensemble de pratiques que l'on observe particulièrement dans les territoires à caractères ruraux et où les forêts sont encore importantes. La spécificité de ces pratiques est qu'elles nourrissent les dynamiques du bâti. Elles sont abordées dans la sous-section qui suit.

6.1.2. Analyse des processus de changements et d'appropriation des espaces par le bâti

Rappelons que l'expansion du cadre bâti se fait au détriment des surfaces forestières. Il est source de dégradation et de déforestation, y compris à l'intérieur des surfaces protégées. Dans la presqu'île de Libreville, l'étalement résidentiel est marqué par plusieurs processus qui expliquent son développement rapide dans l'espace. Le premier facteur est une tendance lourde liée au mode *d'habitation*. En effet, la maison individuelle plein pied est le premier choix des populations au Gabon. L'évolution horizontale du cadre bâti est privilégiée à l'évolution verticale. Chaque ménage possède sa propre parcelle et y construit sans aucune contrainte la maison de son choix. La notion de copropriété est complètement absente et ne figure dans aucune disposition règlementaire. Or, ce mode *d'habiter* par son caractère diffus, est gourmand en surface et, par conséquent, exacerbe l'étalement du bâti. Dans les espaces périphériques, l'étalement résidentiel est caractérisé par une faible densité du bâti, mais dispersé dans de vastes zones. La taille de la population en périphérie est naturellement moins importante par rapport au centre, mais les dégradations sont importantes.

Ce n'est donc pas nécessairement le poids démographique qui constitue la source des dégradations, mais plutôt la dispersion du bâti dans l'espace. Dans ce processus, les populations jouent un rôle important. Mais les pouvoirs publics y contribuent énormément. Dans la zone nord par exemple, les pouvoirs publics développent, depuis plusieurs années, des projets de construction de logements et souhaitent faire de cette zone un modèle de développement urbain. Ces constructions ont métamorphosé le paysage de la commune d'Akanda (Agondjé) autrefois délaissé, car trop loin de centre de Libreville. Cette métamorphose a favorisé l'installation de certaines catégories de la population citadine qui souhaite de façon délibérée se loger loin du centre urbain traditionnel. Cette catégorie, facilitée par leur condition financière, acquiert des parcelles et s'installe en périphérie.

À l'instar des autres communes de la presqu'île, celle d'Akanda au nord est aussi caractérisée par une grande mixité résidentielle. On retrouve autant les maisons en planches que des maisons cossues. Mais la classe moyenne (maison de moyen standing) reste plus évidente comparativement aux autres communes, créant une ségrégation sociospatiale évidente. À la volonté de l'éloignement s'est associé la nécessité ou le désir

d'habiter les mêmes espaces que les ménages ou familles appartenant à la même catégorie sociale. Ces quartiers sont de plus en plus prisés par une classe moyenne en émergence, composée majoritairement de jeunes cadres de la fonction publique. Les résultats de notre enquête montrent que le revenu moyen de cette catégorie varie entre 900 000 et 3 000 000 de FCFA. La ségrégation sociospatiale est aussi exacerbée par les coûts très élevés des parcelles qui restent inaccessibles aux populations très pauvres. Ces conditions créent un sentiment d'exclusion et développent chez les populations démunies des comportements inappropriés comme l'occupation des zones *non aedificandi*, des mangroves. Mais le processus d'appropriation des terres reste marqué par deux faits nouveaux, d'une part, une pratique liée l'occupation anticipée des terres, d'autre part, l'agriculture de transition.

6.1.2.1. Les marqueurs spatiaux d'appropriation des terres

Conscient de l'évolution très rapide de l'étalement résidentiel, les Librevillois n'hésitent plus à acquérir par anticipation des parcelles dans les zones forestières très éloignées, malgré l'absence des services sociaux de base. Cette conscience de l'évolution rapide des nouvelles zones habitées constitue un facteur aggravant des dégradations en périphérie. Pour toute la population (notamment les personnes interrogées), le raisonnement est le même :

« *Occupons, car tôt ou tard, la ville arrivera ici* » comme nous l'a révélé un des habitants de cap caravane : *je suis parmi les premières personnes, avec le papa qui est à la sortie, lui je l'ai trouvé ici avec sa femme. L'a où j'occupe, c'était son terrain, il avait un jardin ici […] il n'y avait pas l'eau et le courant. On n'a d'abord fait nos plantations ici, et au bout de presque trois ans, on a commencé à construire. … au début on avait juste fait la barrière et après on a construit la maison que vous voyez -là […….] c'est quand on a vu que d'autres personnes commençaient aussi à construire, qu'on a aussi décidé de commencer nos travaux.*

Ce discours résume parfaitement les pratiques et la vision des populations en matière d'occupation des terres. Il est aussi révélateur du degré de liberté et de l'absence de contrainte (laisser-faire) dans l'utilisation du sol. Ces dires constituent, en outre, un parfait condensé des résultats ou réponses apportées par les populations autochtones sur la question des modes d'appropriation de terres. En effet, les populations ont développé des pratiques qui peuvent être considérées comme des marqueurs spatiaux ou les signes d'appropriation des terres, perceptibles dans les zones périphériques à dominantes forestières. Dans la majorité des cas, les populations occupent les terres par anticipation. Ces occupations sont perceptibles à travers un certain nombre de signes :

- *La « secondarisation » de la forêt* est l'un des marqueurs (signes) d'appropriation le plus simple. C'est une pratique qui consiste à remplacer le couvert forestier originel par des arbres fruitiers tels que *le manguier, l'atangatier*, les palmiers ou Cocotiers, etc. (fig.65). Les parcelles sont transformées en vergé, entretenues, mises en valeur avant la construction du bâti. La figure 65 ci-après illustre cette pratique.

La majeure partie de la parcelle est composée de manguiers et d'atangatiers (le long de la route), des palmiers à huile, des avocatiers et quelques petits citronniers dans le sous-bois. La présence de ces arbres fruitiers est un signe qui indique qu'une parcelle est occupée par un tiers et limite de possibles conflits d'occupation. Ces arbres servent aussi à la délimitation des parcelles entre différents occupants, car ces dernières, occupées de manière spontanée, ne sont pas cadastrées. Ce fait justifie les nombreux conflits liés à la délimitation des parcelles.



Figure 65 : Les arbres fruitiers comme mode ou marqueur d'appropriation des parcelles des zones semi-forestières de la presqu'île de Libreville. On peut y voir des palmiers à huile et des cocotiers au sud-ouest, des manguiers et atangatier au nord-est et d'autres arbres non fruitiers et arbres. Source : image drone, 2018

- *L'agriculture de transition* est le marqueur spatial d'appropriation des terres le plus répandue. Cette méthode consiste à la pratique de l'activité agricole sur une parcelle qui par la suite utilisé pour la construction d'un logement. Dans les zones semi-forestières et forestières de la presqu'île, l'agriculture sur brûlis est une des activités pionnières pratiquées par les populations. Mais depuis peu, on constate que sur ce territoire, les plantations se multiplient au gré des acquisitions foncières de la part de populations urbaines qui achètent des parcelles auprès de paysans ou d'autochtones qui les occupent depuis des décennies. Ces plantations vont par la suite se transformer en surfaces constructibles. Précisions que la particularité de cette activité agricole est qu'elle est majoritairement pratiquée par les citadins, fonctionnaires ou non, résidents à Libreville et ses environs. Ces derniers sont d'abord motivés par la quête foncière. En effet, pour les citadins qui achètent des parcelles en milieu forestier,

l'agriculture est une activité transitoire. Elle constitue, avant tout, un signe d'appropriation des terres. Elle est utilisée comme un marqueur spatial, un signe d'occupation et d'utilisation de l'espace. C'est cette activité que nous qualifions *d'agriculture de transition (vers le bâti)*. Elle est perçue et conçue par les populations comme une action de mise en valeur temporaire de leurs parcelles. Dans le détail, ce processus peut être décomposé en plusieurs étapes.

La première étape est l'acquisition de la parcelle auprès d'un tiers (car l'État ne met pas encore à la disposition des populations des parcelles viabilisées). Le demandeur de terrain l'acquiert premièrement chez les « pseudo propriétaires terriens » que sont les anciens, les chefs de villages ou de tribu, qui sont les premiers occupants ou des héritiers des terres dites ancestrales. Les démarches officielles de demande d'attribution se font généralement après l'achat de la parcelle à un tiers. Elles constituent, dans la plupart des cas, des opérations de régulation foncière.

Après l'acquisition, les populations procèdent au défrichement de la parcelle. La forêt est abattue, la parcelle est dégagée des grands obstacles. Les bulldozers sont remplacés par des machettes, des haches et des tronçonneuses, et les arbres coupés sont par la suite brûlés. Le terrain ainsi préparé est transformé en surface d'agriculture sur brûlis où seront plantés des produits vivriers. Ceci constitue, pour les populations, un mécanisme moins onéreux pour se débarrasser de la forêt, notamment, des grands arbres. S'ensuit l'étape de la récolte. Elle est progressive et peut durer plusieurs mois et même plus d'une année en fonction des cultures.

Après la récolte vient soit l'étape de la mise en jachère, soit la construction d'un logement. La mise en jachère peut aboutir à une reprise de l'activité agricole. Après quelques années, le cycle recommence : c'est le cycle de répétitivité de l'activité (figure 66). Les parcelles peuvent aussi, après la récolte, être directement utilisées pour la construction d'un logement et voir l'installation définitive des propriétaires. Les observations et enquêtes réalisées sur le terrain permettent de construire un modèle pour formaliser ce processus d'appropriation des terres par l'agriculture de transition, véritable marqueur spatial dans ces zones de développement de fronts pionniers.

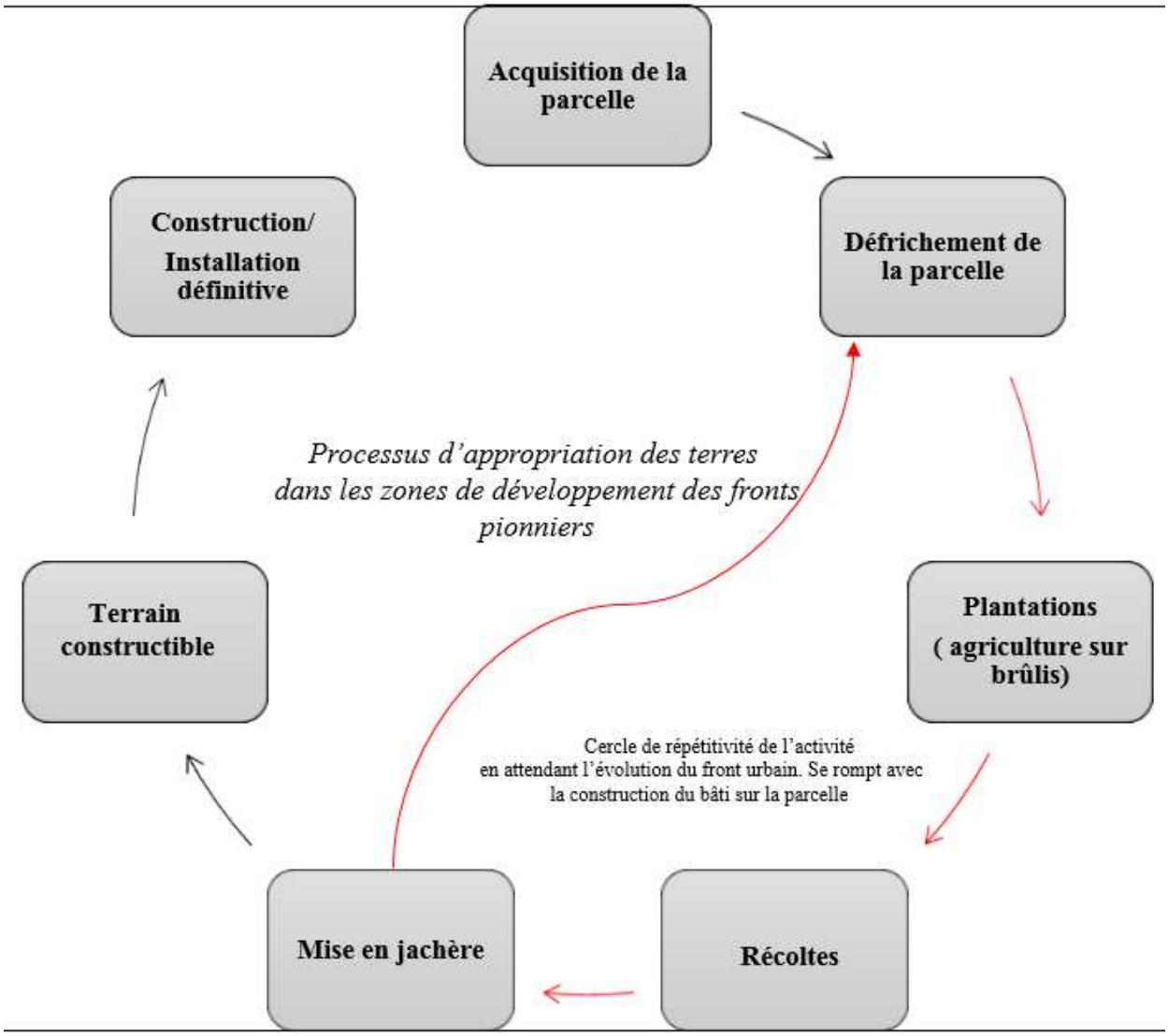


Figure 66 : Processus d'appropriation des terres dans les zones de développement de front pionnier. Réalisation : Cédric Mpié Simba

Lorsque les parcelles acquises sont très éloignées des zones urbaines, les populations ont tendance à retarder les constructions. L'activité agricole est, par conséquent, souvent reprise. La répétition de l'activité a deux principaux objectifs. D'une part, l'entretien de la parcelle évite son occupation ou utilisation par des personnes à la recherche des terrains à bâtir, d'autre part, c'est un moyen qui permet d'attendre l'évolution du front urbain vers la zone d'intérêt. Dans certains cas, les parcelles acquises sont mises en location pour une exploitation temporaire auprès des agriculteurs qui y cultivent quelques produits agricoles d'appoint (destinés au marché local). Ce cycle se rompt après quelques années par la construction du bâti et l'installation définitive du ménage sur la parcelle. Ainsi, l'agriculture sur brûlis constitue un facteur de glissement de l'urbanité ou du bâti dans les zones à caractères rurales (fig.67). Ce système de production agricole participe à la transformation des aires périurbaines sous la contrainte de changements socioéconomiques (croissance démographique, migration interurbaine et exode rural). Cette pratique peut être considérée comme une tendance lourde, car elle s'inscrit dans le temps.



Figure 67 : Agriculture de transition vers le bâti pratiqué sur les parcelles acquises par les populations. Ici, certaines parcelles sont dans les premières phases : acquisition, défrichage et plantation, avec une amorce de l'activité de construction du bâti. Les deux dernières images représentent la phase finale. Elles illustrent les parcelles qui abritent à la fois le bâti et l'activité agricole. Source : Cédric Mpié Simba, image drone, 2018

Cette activité joue donc un rôle important dans le processus de dégradation des écosystèmes forestiers de la presqu'île. Cette pratique peut être considérée comme une tendance lourde et s'inscrit dans le temps. Elle justifie les dégradations des écosystèmes en périphérie. Autour du centre urbain traditionnel, s'étendent de manière rapide de nouvelles constructions aux dépens des espaces ruraux et forestiers. Cet étalement prononcé est dû en particulier au type d'habitation préféré et souhaité, plus consommateur d'espace : la maison unifamiliale plein pied. À Libreville, les logements collectifs à étages, déjà très peu présents en cœur de ville, sont souvent absents des zones périphériques. De plus, depuis une dizaine d'années, les grands terrains sont plus prisés que les petits, donnant naissance à de très grands domaines immobiliers. Ainsi, les espaces voués principalement à l'agriculture traditionnelle et vivrière, les campements et les anciens villages, autrefois éloignés du centre-ville, sont rattrapés par le cadre bâti. Cette progression se fait dans toutes les directions : zones nord (Akanda), sud (Owendo) et Est (Bambouchine, Bikélé, Ntoum). Ces trajectoires d'évolution de la ville reflètent les stratégies des populations urbaines. En effet, l'occupation des terres étant dominée par les pratiques individuelles et par l'occupation anarchique, ce sont elles qui déterminent souvent les espaces d'extension de la ville, amplifiant de la sorte le processus de périurbanisation.

Toutefois, en-dehors de l'agriculture de transition vers le bâti pratiqué majoritairement par les citadins acquéreurs de parcelles, il existe une activité agricole permanente pratiquée dans les espaces périphériques,

les anciens villages. Cette activité est principalement aux mains des populations rurales dont le mode vie dépend principalement de la nature. Il s'agit principalement de l'agriculture itinérante sur brûlis. Mais avec le recul de couvert forestier et les mesures de protection forestière, les terres disponibles pour la pratique de cette activité vitale pour les populations villageoises sont très peu nombreuses. C'est principalement une agriculture vivrière, destinée à l'autoconsommation. Elle se pratique sur des surfaces de très petites tailles comme illustrée sur la figure 68 ci-dessus.



Figure 68 : Illustration du caractère itinérant des parcelles agricoles de l'agriculture traditionnelle. Source : Cédric Mpié Simba, image drone, 2018

L'agriculture devient donc, aux yeux de tous, une activité de transition vers la propriété, particulièrement dans les périphéries qui gardent encore leur caractère rural. La végétation naturelle est remplacée par les arbres fruitiers, les légumes, le manioc, la banane, l'arachide, etc. Ainsi, si en milieu purement urbain, cette mise en valeur se traduit par la construction de bâtiments, en milieu rural, elle passe par le débroussaillage et la plantation de cultures. Cette attitude anticipatrice, que l'on pourrait qualifier de prospective, trouve son explication dans les expériences et observations passées de certains anciens villages (Malibé 1 et Avorbam au nord, Bikélé et Bambouchine à l'est, Awoungou et Alénakiri au sud). L'étalement du cadre bâti y a été si fort que ces derniers sont aujourd'hui des quartiers intégrés au tissu urbain de Libreville, Akanda, Ntoum et Owendo. Mais dans le détail, ces anciens villages abritaient non seulement les plantations des populations autochtones, mais aussi celles de librevillois qui y avaient acquis des parcelles. Ces diverses plantations ont été remplacées par le cadre bâti par le processus d'étalement urbain.

6.1.2.2. Analyse du lien entre les marqueurs spatiaux et degré de constructibilité dans les zones d'enquête

Au regard de ce qui précède, on constate qu'il y a, dans la majorité des cas, un écart entre *l'année d'acquisition* d'une parcelle et *l'année d'installation définitive*. Ces deux éléments, présentés de manière sous-jacente dans le modèle d'appropriation des terres, ont été analysés à partir des données collectées sur le terrain. Ils permettent d'appuyer le caractère transitoire de l'agriculture sur brûlis par la mise en évidence d'un cycle de vie. La durée d'occupation correspond au temps mis entre l'année d'acquisition d'une parcelle et la construction du bâti. Elle correspond au cycle de répétitivité ou d'entretien de la parcelle présenté dans le modèle du processus d'appropriation des terres (fig.66). En d'autres termes, la durée d'occupation renvoie à l'arrivée sur site. La durée d'installation, quant à elle, renvoie au nombre d'années d'implantation définitive par le ménage depuis la construction du logement. Les données sur ces deux variables (occupation et installation) ont été recueillies auprès des populations dans les 10 secteurs d'analyse. Puis nous avons calculé pour chaque secteur, la moyenne du nombre d'années d'occupation et d'installation. Seules les populations qui se sont installées au cours des 30 dernières années ont été retenues, ceci afin d'avoir une idée des dynamiques représentative de notre borne temporelle (1990-2018). Les populations installées depuis plus de 50 ans n'ont pas été retenues dans l'analyse. Nous avons fait le choix de nous appesantir que sur les installations récentes afin d'assurer la cohérence avec les données d'occupation du sol.

Les deux résultats ont été comparés et sont présentés dans la figure 69. Il en ressort que certains secteurs ont une durée moyenne d'occupation supérieure à d'autres, notamment, d'anciens villages comme le Cap Estérias, Owendo, Essassa, premier campement, alors que d'autres n'ont été occupés que récemment à l'exemple de Bolokoboué, Cap Caravane, Bikélé. Par ailleurs, certains secteurs enregistrent une évolution du cadre bâti donc une installation définitive à des rythmes supérieurs à d'autres. C'est par exemple du cas du Cap Caravane, Bikélé, Nkok, premier et deuxième campement, Owendo. Ces résultats sont très importants, car, ils renseignent sur les secteurs qui sont actuellement sous pression. La connaissance de ces deux variables et de leur temporalité permet de mettre en exergue deux éléments fondamentaux :

- Premièrement, si l'on considère la durée d'occupation comme une période qui permet d'attendre l'avancée du front urbain, la résolution temporelle entre cette dernière et l'installation définitive est un élément qui peut permettre d'estimer la vitesse de l'étalement résidentiel dans les zones d'intérêts. On déduit que, lorsque le nombre d'années entre l'occupation et l'installation définitive est important, cela signifie que les pressions liées à l'installation des populations sont faibles, c'est-à-dire que le degré de *constructibilité* est relativement faible. Par ailleurs, lorsque cet écart est faible, cela signifie que le degré de constructibilité est fort.
- Deuxièmement, les informations relatives aux effectifs d'installation définitive (fig.70) permettent d'identifier les secteurs qui font l'objet d'une forte conquête spatiale. Ces données confrontées au

résultat des dynamiques de l'occupation permettent de consolider cette analyse, car les secteurs ayant les effectifs d'installation les plus importants correspondent aux zones qui ont enregistré une dynamique de changement très significative.

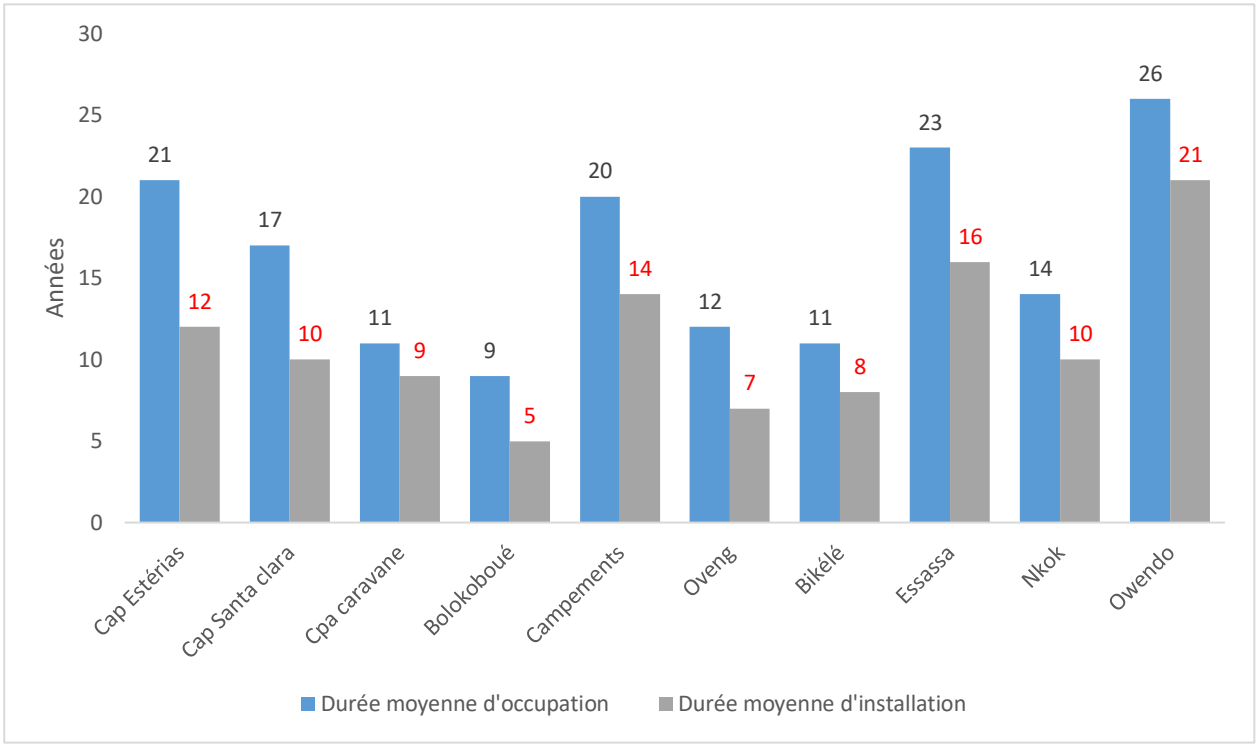


Figure 69 : Nombre moyen d'années d'occupation et d'installation par secteur

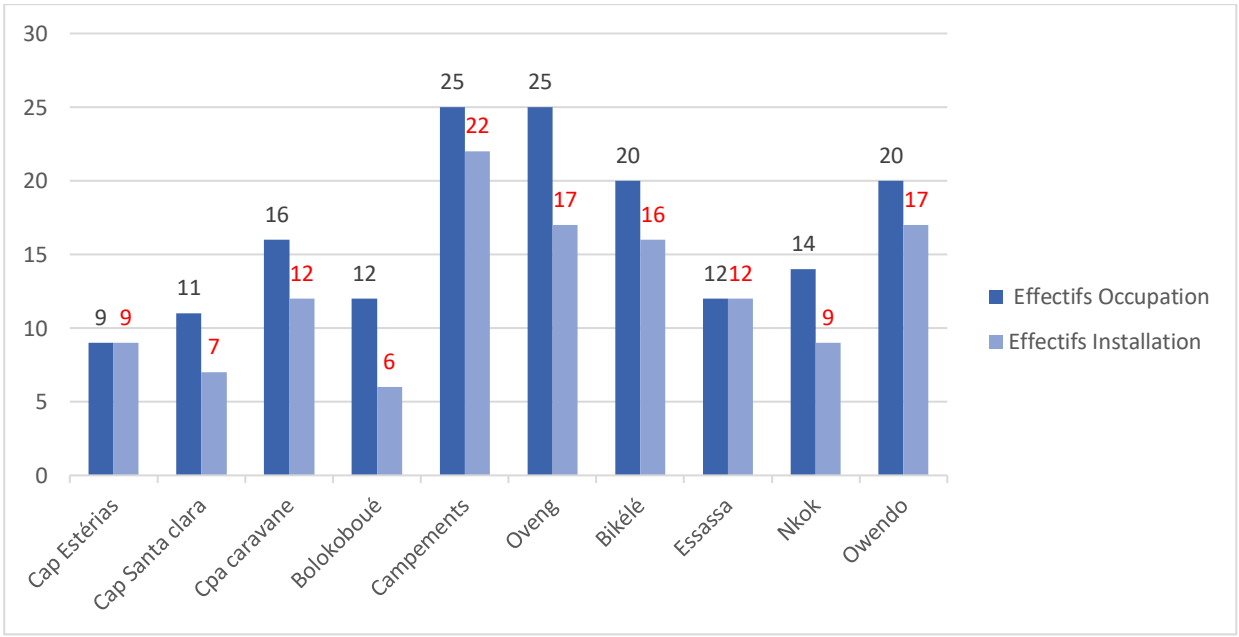


Figure 70 : Effectifs d'occupation et d'installation définitive par secteur par rapport aux occupations.

Les effectifs d'occupation correspondent au nombre d'individus ou ménages enquêtés dans chaque secteur et qui possèdent une parcelle. Les effectifs d'installation correspondent aux ménages ou individus qui, possédant une parcelle, se sont installés définitivement (après la construction du logement).

Précisons que l'analyse sur les variables *occupation et installation* avait été abordée dans la cadre du diagnostic territorial du grand Libreville réalisé par l'agence Nationale des Parcs Nationaux en 2015 (ANPN) dans le cadre du projet Arc d'Émeraude[9]. Toutefois, leur approche ne se limitait qu'à l'identification des anciens secteurs d'habitation, c'est-à-dire ceux qui sont habités de manière permanente depuis des décennies et les sites d'installation récente. Nous avons donc approfondi cette démarche en définissant un cadre opératoire qui nous a permis d'analyser les écarts et de préciser leurs causes. Nous avons aussi ajouté de nouveaux secteurs et un nouveau paramètre, notamment les effectifs des populations interrogées.

L'enquête réalisée dans les zones périphériques semi-forestières et forestières nous a permis d'identifier plusieurs autres activités pratiquées par les populations locales (fig. 71). Les résultats de ces enquêtes confirment le statut particulier de l'agriculture, ainsi que son rôle dans l'extension des surfaces bâties. Il en ressort que l'agriculture sur brûlis est l'activité la plus pratiquée par les populations locales, soit 20 % des personnes interrogées. C'est l'activité principale et caractéristique des zones semi-forestières à caractère rural. La pratique de l'agriculture est la première idée/action des acquéreurs fonciers dans ces zones. Sa prédominance, rappelons-le, vient du fait qu'elle est à la fois pratiquée par les populations à caractère rural qu'urbain.

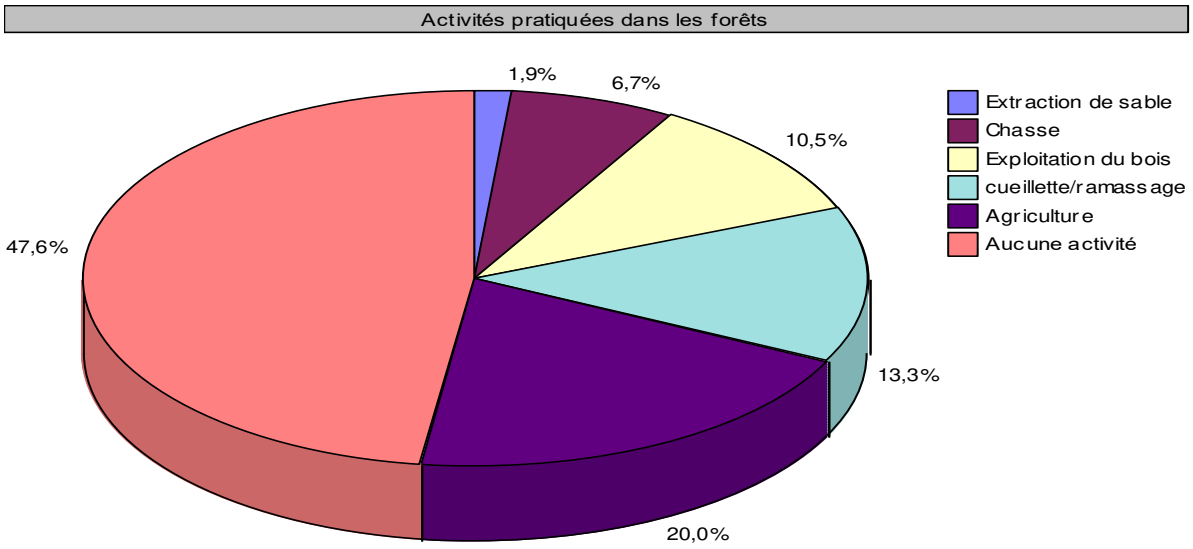


Figure 71 : Les principales activités pratiquées par les populations dans les zones forestières de la presqu'île de Libreville. Source : Cédric Mpié Simba, donnée de terrain 2019

Par ailleurs, les résultats montrent, de manière sous-jacente, le caractère transitoire de l'agriculture sur brûlis. En effet, les données révèlent que 47 % des personnes interrogées déclarent ne pratiquer aucune activité dans les forêts. Ceci est lié au changement du mode de vie de ces derniers et au profil des acquéreurs

[9] Projet de création d'une ceinture verte autour du grand Libreville et de développement du tourisme vert, porté par l'Agence Nationale des Parcs Nationaux en 2014.

(les urbains qui s'approvisionnent principalement en ville). Dans les faits, cette catégorie est majoritairement composée des personnes qui sont installées de manière définitive et dont les parcelles ont déjà subi la transition de « *agriculture vers la surface bâtie* ». Cette catégorie regroupe également les personnes qui pratiquaient une activité agricole, mais dont les parcelles sont en jachère. Elle est majoritairement composée des citadins, dont le mode d'approvisionnement est tourné vers les centres urbains et non le milieu naturel. Ce résultat révèle également la place et le rôle de l'activité agricole dans la vie des populations urbaines.

6.2. Indices de pressions anthropiques et hiérarchisation des facteurs de changements

Plusieurs facteurs de changement d'occupation du sol ont été mis en évidence soit dans le cadre de l'analyse des trajectoires de l'occupation du sol (par télédétection) et par les populations locales lors des enquêtes. Dès lors, le but de cette section, est d'analyser les facteurs les plus impactant, afin d'assurer une classification par ordre d'importance. Cette hiérarchisation permet d'affiner le choix des facteurs explicatifs qui seront par exemple utilisés pour la modélisation et simulation de l'occupation du sol. Tout comme dans les parties précédentes, la hiérarchisation des facteurs de changement se fera, d'une part, sur les données des facteurs spatialisables et quantifiables et, d'autre part, sur les données issues des enquêtes auprès des populations (qui sont par défaut non spatialisables).
Précisons que cette hiérarchisation des facteurs de changement a pour principal objectif d'analyser leur part contributive dans le processus de déforestation ou dégradation forestière en lien avec les activités anthropiques. Ainsi, le niveau d'implication des facteurs de changements spatialisables et quantifiables sera analysé à travers la construction d'un certain nombre d'*indicateurs de pression anthropiques* sur les ressources foncières d'une part et sur les écosystèmes forestiers d'autre part.

6.2.1. Indices de pression anthropique

Ces facteurs concernent principalement les catégories d'occupation du sol d'origine anthropique. Il s'agit de la classe bâtie et des surfaces des sols nus. Rappelons que l'étalement du cadre bâti a aussi été désigné par les populations comme un facteur important dans le changement des écosystèmes forestiers. Cette évolution sans frein du bâti est le résultat d'une gestion foncière mal maitrisé. Par conséquent, la connaissance des pressions sur les ressources foncières est un élément clé qui permet d'appréhender les dynamiques du cadre bâti et sa part contributive dans les changements. Pour ce faire, nous tentons de calculer un indice qui permet d'estimer les pressions sur la ressource foncière.

6.2.1.1. Indices de pressions anthropiques sur les ressources foncières

Le domaine foncier est l'un des plus confidentiels au Gabon. L'accès aux données officielles s'avère être un vrai parcours de combattant, voire impossible. Seuls les textes régissant le foncier et les entretiens avec les agents ou responsables de cette administration nous ont été accordés. Certaines données que nous cherchions étaient inexistantes. Ainsi, pour déterminer les pressions sur le foncier, nous avons développé une approche simple, basé sur l'exploitation des images. Cette approche propose de discriminer les terres adaptées au bâti et celles qui ne le sont pas. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps procédé à la réalisation d'une carte des terres dites *attractives* et *répulsives* au bâti. Les surfaces dites « attractives » sont composées des terres émergées, réunissant les conditions physiques naturelles favorables au cadre bâti. Les surfaces « répulsives » sont donc définies par opposition aux surfaces attractives. Elles sont composées des terres hostiles au cadre bâti par leur condition physique. Il s'agit principalement des terres humides, inondées en permanence et de très faible altitude. Précisons qu'à Libreville intra-muros, au-delà d'une certaine densité, la notion de zone répulsive n'existe plus, car n'ayant plus le choix des terrains et surtout peu de moyens financiers, les populations construisent et vivent dans les zones inondables à chaque saison. La discrimination de ces deux types fonciers (répulsif et attractif) est une première étape qui nous permet de définir les terres « constructibles » et « non constructibles ». Les terres dites constructibles sont essentiellement composées des zones *aedificandi*, tandis que les terres non constructibles sont composées des surfaces *non aedificandi*.

Cette carte est élaborée à partir de deux types de données : le modèle numérique de terrain, les cartes d'occupation du sol. Dans un premier temps, le modèle numérique de terrain nous a permis de discriminer les altitudes des surfaces inondées et inondables. Ces surfaces abritent généralement les espaces de mangrove et zones marécageuses et autres forêts inondées. Leurs altitudes ont été mises en évidence lors du projet *Modélisation de la Dynamique des Mangroves de Libreville et ses environs et Risque de Dégradation* (MDMLERD) conduit par le LAGRAC dans le cadre de l'appel à projets OSFACO, 2018. Dans ce projet, il a été démontré que l'altitude constitue une barrière au développement des espèces de mangroves, car à Libreville et ses environs, ces écosystèmes ne se développent pas sur des surfaces qui dépassent 10 mètres d'altitude. Or, la mangrove est une espèce aquatique, donc des terres sont naturellement hostiles au bâti. Cela sous-entend que jusqu'au 10 mètres d'altitude, les terres sont essentiellement dominées par les surfaces inondées et marécageuses et par conséquent ne sont pas adaptées au cadre bâti.

Ces surfaces présentent un fort risque d'inondation. Ainsi, les surfaces correspondant aux zones de mangrove et les surfaces marécageuses déterminées par télédétection couplée aux surfaces d'altitudes inférieures ou égales à 10 mètres ont été considérées comme des terres *répulsives*. Au-delà de 10 mètres d'altitude, les terres sont systématiquement considérées comme étant *attractives* donc adaptées pour le bâti ou la construction. Précisons que les expressions *attractive* ou *répulsive*, ne sont employées ici que pour

désigner les terres qui sont potentiellement adaptées ou non au cadre bâti, en fonction de leur condition physique. Par conséquent, cette catégorisation ne prend pas en compte la dimension technologique ou de géo-ingénierie globale. Dans un premier temps, cette attractivité ne tient pas compte des conditions règlementaires ou du statut particulier de certaines surfaces comme les parcs ou les forêts classées. Elle est élaborée suivant une logique binaire (on-of). Le résultat de ce premier niveau d'analyse est présenté par la figure 72 ci-dessous.

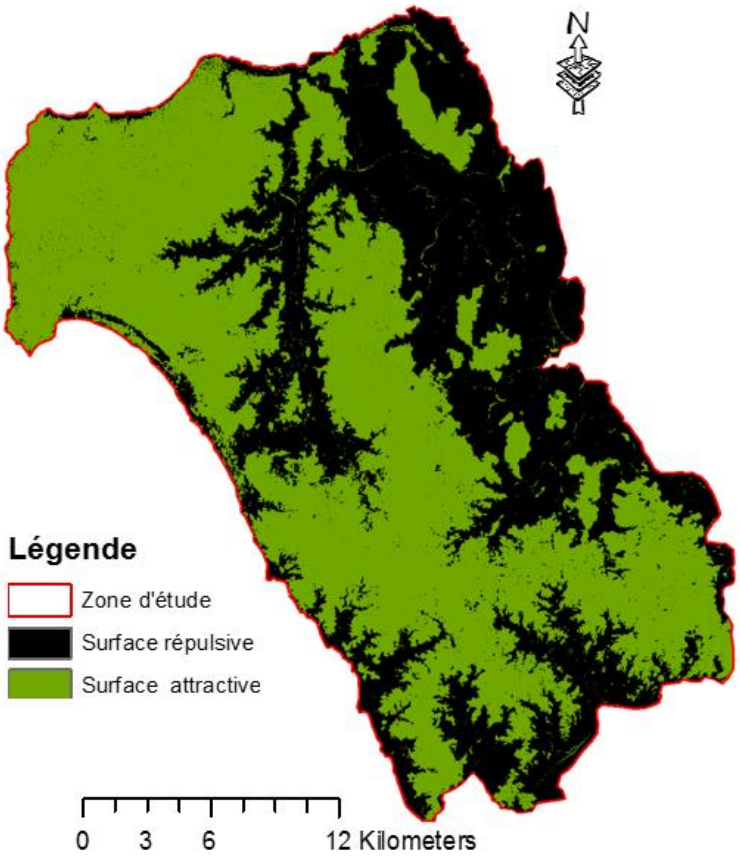


Figure 72 : Carte des surfaces attractives et répulsives au cadre bâti (niveau 1)

Le second niveau d'analyse permet d'approfondir ou de préciser le résultat en identifiant les des surfaces « constructibles » ou « non constructibles ». Sur la base de la première carte, les surfaces constructibles sont analysées pour en faire une seconde discrimination. Celle-ci consiste d'une part, à appliquer le statut règlementaire de certaines surfaces comme les forêts classées, les parcs, les îlots forestiers urbains protégés et d'autre part, à discriminer les surfaces constructibles dont la probabilité d'abriter un bâti nous parait très faible. Ces terres sont totalement isolées et n'ont aucune connectivité avec le reste du territoire. Ils s'agissent essentiellement des îlots forestiers des terres émergées constructibles, qui se développent à l'intérieur des surfaces de mangrove et que nous qualifions de « *surfaces constructibles déconnectées* ». En effet, ces zones n'ont aucun lien avec le territoire si ce n'est par voie navigable. Certaines de ces terres, qui forment des îles au milieu des mangroves, sont protégées (du fait de leur appartenance à un parc) tandis

que d'autres ne le sont pas. Ainsi, à la fin de ce processus, nous obtenons une carte plus ou moins détaillée qui prend en compte certaines spécificités du territoire et intègre les statuts règlementaires des terres connues. Le résultat de cette analyse est présenté dans la figure 73 ci-dessous.

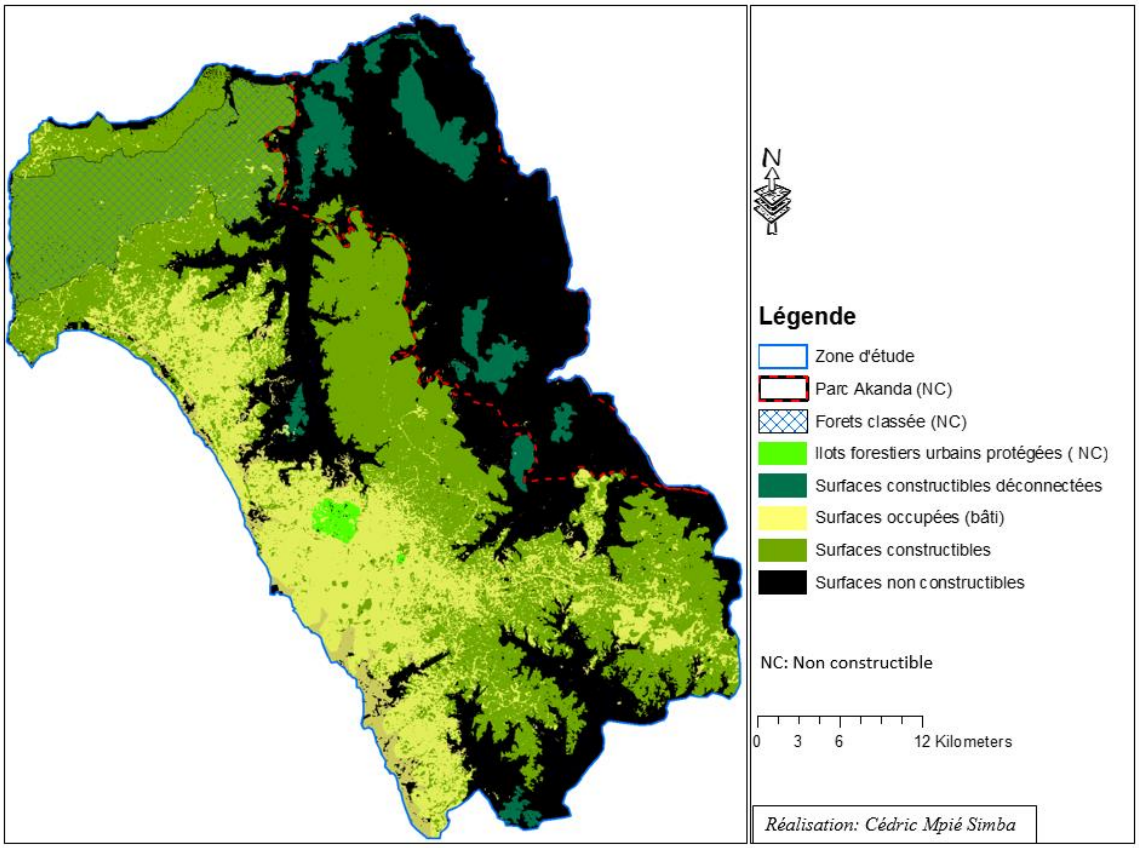


Figure 73 : Cartographie des terres constructibles (aedificandi) et non constructibles (non aedificandi)

La détermination des pressions anthropique sur les ressources foncières nécessite de disposer des données statistiques sur le foncier. Pour ce faire, les résultats statistiques de chaque catégorie ont été extraits. Ces derniers indiquent que sur les **859** km² de la superficie totale de la zone d'étude :

- 462,5 km² correspondent à la catégorie des surfaces constructibles ou attractives ;
- 396,5 km² sont composés des surfaces répulsives.

Sur les 462,5 km² correspondant aux surfaces constructibles,

- 174,34 km² sont déjà construits (occupés par le cadre bâti notamment celui de 2018) ;
- 85 km² correspondent à la surface de la forêt classée (ARW) ;
- 35 km² est classé dans le parc national Akanda, et enfin
- 4 km² sont constitués des îlots forestiers urbains protégés.

Au final, sur les 462,5 km² correspondant aux surfaces constructibles, seuls ***164,16*** km² restent non construits (surfaces attractives non bâties). Cette première étape nous a permis d'estimer la part des ressources foncières disponibles. Ils ne sont toutefois pas à confondre avec réserves foncières, car il n'en

existe plus dans la presqu'île de Libreville. Toutes les terres sont occupées, mais pas nécessairement utilisées. En effet, les surfaces mêmes non construites sont tout de même occupées par des individus, qui soit y exercent une activité, soit les occupent par les mécanismes d'appropriation des terres présentés dans le chapitre précédent. Ces données statistiques sont essentielles, car elles nous permettent de constituer les unités spatiales de références des ressources « foncières non bâties » de la presqu'île de Libreville. Ces derniers sont utilisés pour le calcul de l'indice de pression anthropique sur les ressources foncières à partir de l'équation ci-dessous :

$$\mathbf{IPF = UT/TD}$$

IPF = Indice de Pression sur le Foncier
UT = l'usage des terres
SD = Surface totale disponible

Pour permettre une lecture facile, les valeurs de cet indice varieront de 0 à 1. Lorsque l'indice est égal à 1, toutes les surfaces disponibles sont utilisées ; il y a donc une pression foncière extrême. Par ailleurs, lorsque l'indice est égal à 0, cela signifie que toutes les terres sont libres d'utilisation et qu'il n'existe aucune pression foncière. Par conséquent, une valeur proche de 1 signifie que les pressions sont fortes et une valeur proche de 0 signifie que les pressions sont faibles. Les détails de cet indice sont représentés dans le tableau (24) ci-dessous.

valeur indice	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0.5 à 1
Niveau de pression	Nul	Très faible	Faible	fort	Très fort	Critique

Tableau 24 : Classification des valeurs des indices de pressions anthropiques.

Comme l'étalement du bâti structure fortement le paysage dans l'ensemble des communes de la zone d'étude, l'indice mesure donc essentiellement la pression liée au cadre bâti sur le foncier. Les données utilisées ainsi que les résultats de l'estimation de la pression sur le foncier sont présentés dans le tableau 25.

	Unités spatiales de référence (USR)	
	Surface attractive (km²)	*Surface répulsive (km²)*
Terres disponibles	*462,5*	*326*
Terres utilisées (Usage)	*298,34*	*8,97*
IPF	***0,64***	***0,02***
BI (Bilan)	*164,16*	*317,03*

Tableau 25 : Indice de pression sur les ressources foncières par catégorie

Le résultat de cette analyse montre que les surfaces attractives ont perdu plus de la moitié de leur superficie. Le résultat de l'équation indique que l'indice de pression sur les ressources foncières est de **0,64.** Cette valeur traduit que la pression exercée sur les terres est très forte. Ainsi, le rapport entre la disponibilité des

terres et son usage tant vers une situation de saturation au fil des années. En outre, le développement du bâti dans les terres dites répulsives reste très faible, car son indice de pression est estimé à *0,02*. Seuls 8,97 km² ont été utilisés dans cette catégorie foncière.

Par ailleurs, les pressions sur les ressources foncières peuvent être appréciées d'une autre manière. En effet, pour conforter ce premier résultat, nous calculons un autre indice. Celui-ci est basé sur le calcul du coefficient d'occupation du sol dans la presqu'île Libreville. Il correspond à la surface moyenne occupée par un ménage ou la taille moyenne d'une parcelle. Cette surface est calculée à partir des données du registre foncier urbain (RUF) de la zone de Libreville, Owendo, Akanda. Il prend en compte le poids démographique, les surfaces constructibles disponibles et le coefficient d'occupation du sol. C'est donc le rapport de la somme totale de la surface moyenne occupée par un ménage et la surface constructible disponible. Ainsi, le coefficient d'occupation du sol dans la, presqu'île de Libreville est de **628, 68** m². Cette valeur est par la suite multipliée par le nombre de ménages pour estimer la surface totale moyenne qui correspond. Ainsi, le calcul de l'indice de pression sur le foncier est le rapport entre la surface totale moyenne (estimée) et la surface totale disponible. Il est calculé par l'équation ci-dessous :

$$\mathbf{IPF = (COS \times N)/SD}$$

IPF = Indice de Pression sur le Foncier
COS = Coefficient d'occupation du sol
N = Nombre de ménage
SD = Surface totale disponible

Ainsi, l'indice de pression sur le foncier calculé à partir de la surface totale moyenne du COS est estimé à **0,73**. Cette valeur indique que le niveau de pression foncière dans la presqu'île est critique, car le degré d'utilisation des terres est très fort. Si toutefois il existe un écart assez conséquent entre les deux résultats, néanmoins, les trajectoires restent les mêmes. Ce résultat confirme que la gestion foncière est un facteur de changement d'occupation du sol et que le bâti constitue le principal facteur de changement.

6.2.1.2. Indices de pressions anthropiques sur les écosystèmes forestiers

Si l'indice de pression sur le foncier mesure les pressions exercées par le bâti sur les terres constructibles, l'indice de pressions anthropiques sur les écosystèmes forestiers quant à lui, mesure les pressions exercées par les activités anthropiques sur l'ensemble du couvert végétal. Ici, l'accent est mis sur les surfaces artificielles, principalement le bâti et les sols nus. Ces deux catégories sont les seuls éléments quantifiables et spatialisables de l'anthropisation des terres qui ont été possibles de représenter sur nos cartes d'occupation du sol. La résolution des images ne permettant pas l'identification très fine des entités spatiales, l'artificialisation liée par exemple à l'activité agricole n'a pas été prise en compte. Aussi, compte tenu de la confusion des pixels entre les sols nus, le bâti, on estime qu'une bonne partie des surfaces

agricoles existante, ont été réparties dans ces deux classes. Ceci justifie, la délimitation de l'artificialisation à ces deux catégories. Ainsi, l'indice d'anthropisation des écosystèmes forestiers déterminera, pour cette unité spatiale, l'ampleur ou le niveau des dégradations qu'elle subit sous l'effet du facteur de changement « *artificialisation* ». En fonction donc de la valeur de l'indice, on déterminera si les pressions sont très faibles, faibles, fortes ou critiques, etc. Ceci permet donc d'évaluer l'impact de l'action anthropique sur les écosystèmes naturels. Le calcul de cet indice se fera avec la même formule utilisée pour IPF. En d'autres termes, c'est le rapport entre les pertes (déforestation nette) de forêts liées à l'action anthropique et la surface forestière totale disponible (l'unité de spatiale référence). Il se calcule par la formule suivante :

$$\mathbf{IPA = D/FD}$$

IPA = Indice de Pression Anthropique
D = Déforestation nette
SFD= Surface de Forêt Disponible

L'unité spatiale de référence (ou le compte numérique d'occupation du sol) de la catégorie couvert forestier retenue est celle de l'année 2000. Elle correspond à la ressource (surface totale) disponible, tandis que le prélèvement (déforestation) concerne l'évolutivité de la classe bâtie et sol nu notamment les états de 2018. L'indice est tout d'abord calculé pour l'ensemble du couvert forestier c'est-à-dire les forêts de type denses et claires. Sa valeur est estimée à **0,41** et signifie que les pressions anthropiques sur le couvert forestier sont fortes (cf. tableau 24). En effet, *le bilan ressource-usage* indique que cette unité spatiale de référence a perdu à peu près la moitié de sa surface en 2018 au profit des surfaces artificielles, passant de 422,36 à 243,45 km². Ce résultat montre l'anthropisation est la principale cause de régression des écosystèmes forestiers et, a de ce fait contribuer à environs 41 % à la déforestation. Par ailleurs, comme il y a plusieurs types forestiers, nous avons également analysé quelle catégorie subissait le plus de perte par l'action anthropique. Pour ce faire, les indices de pression ont été calculés pour chaque catégorie forestière.

Les données utilisées sont celles produites par la matrice de transition de l'occupation du sol entre 2000 et 2018. Cette matrice fournit avec précision l'évolution ou la consommation des forêts par le bâti et les sols nus dans chaque type de forêt. Les résultats de l'ensemble de cette analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous. Globalement, on constate que le niveau de pression varie en fonction du type de forêt.

	Unités Spatiales de référence (USR)			
	Forêt dense	**Forêt claire**	**Forêt de terre ferme (forêt dense et claire)**	**Mangrove**
Forêt disponible	*248,15*	*174,21*	*422,36*	*272,23*
Forêt Utilisée	*16,58*	*69,24*	*178,92*	*7,62*
IPA	*0,06*	*0,39*	*0,45*	*0,02*
BI (bilan)	*231,62*	*104,97*	*243,45*	*266,30*

Tableau 26 : Synthèse de l'indice de pression par catégorie et bilan ressource-usage

L'analyse de l'indice de pression anthropique par catégorie, montre que la déforestation nette reste très faible pour la forêt dense, avec un indice de pression proche de 0 soit ***0,06***. Ici, la ressource totale disponible reste majoritairement supérieure à l'usage, et le bilan ressource-usage reste très positif dans cette catégorie. L'impact de l'action anthropique sur la forêt dense est dans ce cas est très faible. Il en est de même pour les forêts de mangrove qui enregistrent une pression anthropique très faible, soit ***0,02***. Bien que la mangrove soit un milieu hostile, on note cependant une dégradation par le bâti (bien que très faible). En outre, les forêts claires sont celles qui sont le plus impacter par les actions anthropiques dans la presqu'île de Libreville, avec un indice de pression **fort** soit 0,39. Cela signifie que le bâti et les sols nus ont contribué à la dégradation d'environ 39 % de la surface des forêts claires entre 2000 et 2018.

L'ensemble de ces calcules permet de conforter le résultat selon lequel, l'artificialisation constitue le fait majeur de la déforestation nette et que l'étalement du bâti en est le principal moteur. La difficile distinction ou discrimination du poids de chaque activité anthropique nous a conduits à les regrouper sous un seul facteur c'est-à-dire « l'artificialisation ». Ceci est lié à la méconnaissance du poids de chaque activité qui reste non suivi par les pouvoirs publics et dont les impacts sur les écosystèmes naturels restent peu connus. L'artificialisation constitue donc un bon compromis, car c'est un facteur englobant qui est à la fois quantifiable et localisable. Il constitue de ce fait le principal facteur explicatif des changements d'occupation du sol et sera utilisé pour la modélisation des changements futurs.

Une autre analyse prenant en compte le point de vue des populations et permettant d'apprécier les facteurs les plus impactant est entreprise. Elle tente de faire une classification (hiérarchisation) des activités ou pratiques qui potentiellement dégradent les écosystèmes.

6.2.2. Hiérarchisation du niveau d'impacts des activités anthropiques par les populations locales

Cette section analyse les données recueillies auprès des populations enquêtées. Elles sont essentiellement constituées d'activités pratiquées dans les secteurs d'échantillonnages. Ici, l'objectif est que les populations identifient ce qui constitue, pour eux, les actives les plus impactant, et par la suite les classer par ordre d'importance. Pour ce faire, une grille permettant une évaluation graduelle de chaque activité anthropique citée a été élaborée (voir annexe 6).

Cette grille est élaborée en fonction des activités que les populations elles-mêmes ont identifiées. Ainsi, quatre principales activités ont été identifiées comme dégradant potentiellement les écosystèmes forestiers. Chaque activité a été évaluée par les populations suivant une gradation allant de « *insignifiant, faible, fort, très fort à critique »* (voir en annexe 6). Le résultat de cette évaluation est présenté dans la figure 74 ci-après.

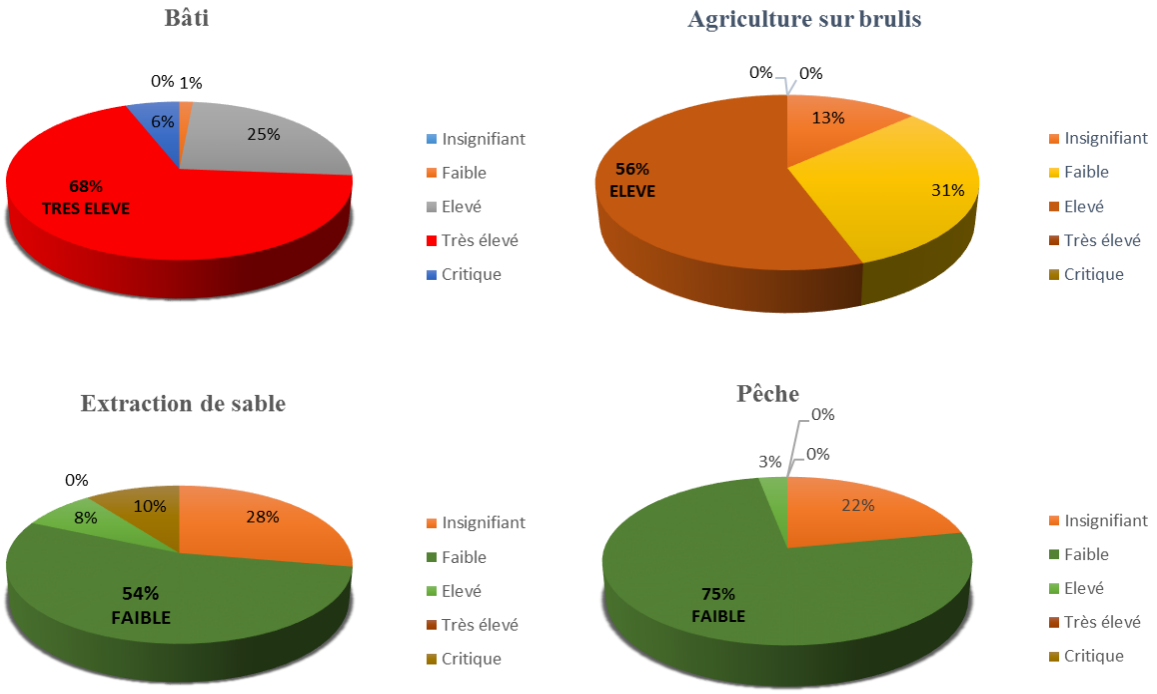


Figure 74 : Représentation hiérarchisée des activités dégradant potentiellement les écosystèmes forestiers par les populations locales

Parmi ces activités, la construction du bâti est le facteur le plus impactant identifié par les populations. C'est la seule activité dont les effets sont très forts, voir critiques. En effet, sur les 137 personnes, 93 pensent que les pressions exercées par l'évolution du cadre bâti sont très élevées, 34 personnes pensent qu'elles sont élevées tandis que 8 considère que les dégradations liées au bâti sont critiques. Dans le détail, l'évaluation de cette activité montre que ces effets varient de *Fort à critique*. Ce qui confère à ce facteur un poids énorme. Cette conclusion est en phase avec les résultats de l'analyse précédente, obtenue par calcul d'indicateur. Elle identifie l'étalement du bâti comme le premier facteur responsable de la dégradation ou de la déforestation. Ce choix est surtout le fruit de l'expérience des populations qui voient depuis des décennies leur cadre de vie, qui jadis était rural, être transformé progressivement en milieu urbain. Les anciennes limites de ces zones sont sans repousser à cause d'un étalement du bâti très rapide. Ce choix se justifie également par le caractère irréversible lié à cette activité. Les surfaces qui abritent le bâti changent durablement voire définitivement l'occupation du sol, de telle sorte que la capacité d'auto-reconstitution des forêts est quasiment impossible.

La seconde activité la plus impactant pour les populations est *l'agriculture sur brûlis*. Sur les 137 personnes interrogées, 76 estiment que les effets de cette activité sur le couvert sont forts. 43 personnes pensent que la contribution de l'agriculture sur brûlis à la dégradation est faible tandis que 18 jugent ses effets insuffisants. À l'analyse de ces résultats, on s'aperçoit que les réponses des populations semblent être mitigées. La graduation des effets de l'agriculture varie de « insuffisant » à « fort ». Les personnes qui

estiment que ces effets sont soit insuffisants soit faibles sont de 61 soit quasiment la moitié contre 76 personnes pour « fort ». Ces réponses reflètent la divergence des idées et la contradiction qui existent sur les effets de l'agriculture sur brûlis sur le couvert forestier. En effet, nombreux sont ceux qui pensent que cette activité, par ses modes et ses logiques, participe fortement à dégrader les écosystèmes forestiers. Le défrichement, l'abatage des arbres, le brûlis et surtout l'itinérance des plantations sont fortement évoqués pour justifier le caractère dégradant de cette activité.

S'il est vrai que par ses logiques, l'agriculture sur brûlis constitue un facteur de dégradation pour les forêts, cependant, ses effets sont moins perceptibles dans la presqu'île de Libreville pour deux principales raisons. La première est liée au faible poids de cette activité, lui-même conditionné par le faible nombre d'agriculteurs. L'agriculture est de moins en moins pratiquée par les populations. Cette activité est principalement pratiquée par les populations autochtones dans les secteurs qui ont encre un caractère rural. Elle est principalement vivrière et est destinée à l'autoconsommation. Mais la transformation des espaces ruraux en zone urbaine s'accompagne d'une part de l'occupation des terres destinées à l'agriculture par le bâti et du changement de mode de vie des populations villageoises d'autre part. La deuxième raison est liée au fait qu'aujourd'hui, l'agriculture dans la presqu'île de Libreville est une activité de transition vers le bâti. Par conséquent, elle ne peut être directement perçue comme un facteur de dégradation. Par ailleurs, certaines personnes interrogées, notamment les agriculteurs autochtones, estiment que les effets de leur activité sur les forêts sont momentanés ou passagers. Les forêts exploitées finissent par retrouver leur état. Pour eux, la période mise en jachère est une période de repos qui favorise l'auto-reconstitution de la forêt. Les données collectées auprès des populations autochtones montrent que les périodes de mise en jachère des plantations varient entre 3 et 7 ans. Au regard des conditions climatiques favorables, cet intervalle permet à la forêt de recoloniser les parcelles exploitées. Ces éléments expliquent, quelque peu, le caractère mitigé des réponses recueillies auprès des populations.

Enfin, pour la majorité de la population interrogée, les pressions liées à la pêche (103 personnes) et à l'extraction du sable (74 personnes) ont un impact faible sur l'environnement. La pêche en elle-même ne constitue pas un facteur de dégradation direct. Elle agit de manière indirecte, car rappelons-le, les populations (principalement les pêcheurs) utilisent le bois de mangrove pour le fumage des poissons. Par ailleurs, seules populations habitant les zones qui abrite des carrières d'exploitation de sables, ont indiqué qu'elle dégradait considérable l'environnement. 14 personnes interrogées dans deux zones, notamment Bikélé et Akanda, estiment que ces effets sur l'environnement sont critiques, alors que 11 personnes pensent que ses pressions sont fortes. Une fois les dynamiques d'occupation du sol étudier, les trajectoires reconstituées, les facteurs de changement identifier, la prochaine étape consiste à déterminer les probabilités d'évolutions de changements observés dans l'avenir et d'analyser les impacts environnementaux voir sociaux liés aux changements de la structure de paysage. Ces éléments seront essentiellement abordés dans la troisième partie de ce manuscrit.

Conclusion du chapitre 6

En somme, l'analyse des changements d'occupation du sol, la compréhension des dynamiques d'évolution, ainsi que leurs trajectoires, implique la connaissance ou la mise en évidence des facteurs (anthropiques) qui causent ces processus. Pour ce faire, les relations entre l'organisation sociale et l'environnement ont été analysées afin d'illustrer les dynamiques ainsi que leurs influences sur les trajectoires du géosystème étudié. Dans ce sens, l'analyse des relations entre les pratiques (sociales) des populations et la gestion territoriale a mis en évidence des dysfonctionnements dans le mode de gestion des ressources ou d'encadrement du territoire. Ce dysfonctionnement concerne les contraintes liées à la gestion foncière et les modalités de son appropriation par les populations locales. Ce mode d'occupation des terres explique l'ampleur et la pérennité des transformations observées sur les écosystèmes forestiers de la presqu'île depuis 30 ans. Ici, on déduit dans le raisonnement que l'ensemble des dégradations anthropiques observées sont liées à une mauvaise gestion foncière. Les pressions sur les ressources foncières, combinées à leur mauvaise gestion, ont encouragé une occupation anarchique, illégale et diffuse du bâti, dont la conséquence est la transformation profonde de la structure spatiale du paysage du grand Libreville.

La hiérarchisation des facteurs de changement d'occupation du sol a été une étape fondamentale et très utile pour la sélection des principaux facteurs explicatifs et des impacts qu'ils peuvent engendrer. *In fine*, cette étape a permis de mettre en lumière les effets de chaque facteur sur l'environnement. Pour avoir une idée exhaustive, la hiérarchisation s'est faite sur une sélection de facteurs dits spatialisables et quantifiables, mais aussi par un certain nombre d'activités identifiées par les populations locales comme dégradant les écosystèmes forestiers. Cette étape est principalement orientée vers la classification des éléments qui influencent de manière significative la santé des écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville. Ainsi, pour chaque facteur retenu, nous avons estimé sa part contributive dans le processus de dégradation et de déforestation.

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE

Cette partie avait pour objectif de répondre à notre premier et deuxième objectif. Elle visait l'identification et la caractérisation des trajectoires de changements d'occupation du sol passés et actuels ainsi que la détermination des facteurs de changement. Dans un premier temps, cette analyse a permis de caractériser les changements issus de dynamiques anthropiques. Elles montrent que le territoire est très instable. L'étude de l'instabilité des structures paysagères apporte des connaissances sur la nature, l'ampleur et l'intensité des changements observés. Cela a été possible par un état des lieux de l'occupation du sol, c'est-à-dire une cartographie évolutive de 1990 à 2018. Ainsi, les grandes tendances de changements et leurs trajectoires ont été caractérisées à deux échelles (régionale et locale). Une attention particulière est portée sur les dynamiques des écosystèmes forestiers afin d'étudier les processus de déforestation et de dégradation forestière. Les traitements réalisés nous ont permis de déceler les perturbations dans la distribution spatiale des forêts et d'identifier plusieurs états.

L'ensemble de ces éléments nous a permis de poser un diagnostic des dynamiques territoriales passées et en cours dans la presqu'île de Libreville. Ce diagnostic constitue une base de connaissance utile pour la modélisation des changements futurs.

La seconde étape consistait à identifier les facteurs de changements d'occupation du sol ainsi que leur hiérarchisation. Cette analyse a été pour l'essentielle basée sur l'interprétation des données de terrain collectées auprès des populations. Ces données ont mis en évidence deux grands types de facteurs. D'une part, les facteurs historiques qui peuvent s'apparenter à des tendances lourdes (croissance démographique, gestion foncière, concentration des activités, etc.) et, d'autre part, les activités ou les pratiques identifiées par les populations elles-mêmes comme dégradantes des écosystèmes forestiers (agriculture de transition, extractions de sable, etc.). En somme, il en ressort que les pratiques liées à l'utilisation du sol contribuent à nourrir l'étalement du cadre bâti. Le territoire subit par conséquent une forte pression anthropique. Ces faits ont été confirmés par l'indice de pression sur les ressources foncières (IPF) et l'indice de pression anthropique sur les écosystèmes forestiers. Ces indices confirment que le bâti est le principal facteur de pression. Dans l'ensemble, on assiste au double phénomène de déforestation et de dégradation forestière dans les zones périphériques forestières et semi-forestières de la presqu'île de Libreville. Les changements du couvert forestier proviennent donc principalement de l'influence du milieu urbain. La croissance démographique que connait Libreville, les dysfonctionnements liés à la gestion foncière, le déficit en logement et les besoins en foncier à bâtir sont des éléments qui ont contribués a exacerbé les pressions sur les zones périphériques. Aujourd'hui, ces pressions ont des effets néfastes sur l'intégrité des zones protégées. La surface forestière de la forêt classée diminue et se dégrade progressivement.

Vu du ciel, ce territoire est constitué de plusieurs entités paysagères. Il s'agit des grands ensembles ayant la même nature, marquée par une continuité spatiale dont les limites marquent la rupture pour faire place

à un autre type paysager. C'est le cas des écosystèmes de forêts de terre ferme, des surfaces de mangroves, des surfaces aquatiques ou des surfaces urbaines. Antérieurement, l'ensemble de ces entités paysagères étaient marquées par une homogénéité spatiale (forêts, mangroves). Aujourd'hui ces paysages qui autrefois étaient des blocs compacts se disloquent peu à peu et sont désormais marqués par une hétérogénéité apparente. Cette dislocation des entités du paysage forestier est le corolaire d'une fragmentation causée par les activités pionnières telles que l'agriculture, le cadre bâti, etc. Ces éléments ont été mis en évidence dans l'analyse de la dégradation du couvert forestier à l'échelle locale. Les taches créées par les activités anthropiques dans le paysage forestier évoluent jusqu'à assurer la connexité avec d'autres taches. Ce qui contribue à exacerber les processus de déforestation et de dégradation forestière. Ces derniers sont si forts que même les forêts des zones protégées et sensibles sont affectées. Aujourd'hui, les actions anthropiques modifient profondément la structure spatiale du paysage de la presqu'île de Libreville. La connaissance de ces dynamiques est nécessaire pour prédire le futur et de proposer aux autorités compétentes des outils d'aide à la décision.

PARTIE III

MODÉLISATION PROSPECTIVE DES CHANGEMENTS D'OCCUPATIONS DU SOL ET ÉVALUATION DE LEURS IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX

PARTIE III : MODÉLISATION PROSPECTIVE DES CHANGEMENTS D'OCCUPATIONS DU SOL ET ÉVALUATION DE LEURS IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX

La première et la deuxième partie de ce travail sont largement suffisantes pour expliquer les dégradations environnementales ainsi que les facteurs qui les engendrent dans la presqu'île de Libreville. Elles nous permettent de répondre à notre question de recherche et même à certains objectifs et hypothèses. Toutefois, nous avons voulu dépasser le simple cadre du diagnostic territorial qui, lui, se limite aux temporalités passées et présentes. Nous avons intégré une nouvelle dimension temporelle non encore explorée dans le cadre de l'analyse des dynamiques territoriales et environnementales au Gabon, à savoir le futur. L'ensemble des travaux existant en ce jour, se limitent à une mise en récit des risques éventuels. L'anticipation des changements spatiaux est souvent absente. La plupart des projets d'aménagement s'inscrivent clairement dans le domaine du provisoire. Cette carence justifie l'intérêt de l'intégration de la modélisation prospective spatialisée dans ce travail de recherche.

La maitrise des dynamiques d'utilisation du sol est une clé pour la gestion territoriale. Elle permet de maitriser l'implantation des activités et conditionne le développement durable du territoire. Les phénomènes tels que l'étalement urbain en périphérie des grandes villes à des effets négatifs importants sur la préservation de la biodiversité, le maintien des espaces naturels, les espaces agricoles (Braud et *al.,* 2011). La détermination de ces impacts passe par l'établissement des liens de causalité entre la société et environnement. Les interactions entre les différentes catégories d'occupation du sol sont très complexes. Cette complexité est liée à la multiplicité des échanges et des facteurs qui interviennent dans les changements. La connaissance de ces facteurs, leurs dynamiques, leur rythme et leur ampleur est une étape préalable et indispensable pour toute opération de modélisation et simulation du changement. C'est ce que Houet et *al.* (2008) appellent « la construction de la base ».

Le but de cette partie est modéliser et simuler les changements futurs possibles d'occupation du sol ainsi que l'évaluation de leurs effets sur l'environnement et la société. Le chapitre 7 est dédié à l'anticipation des changements possibles d'occupation du sol par approche prospective. Il tente d'identifier les mutations spatiales susceptibles de bouleverser le territoire en simulant les transformations majeures à travers des scénarios. Les résultats sont des cartes qui constituent des outils d'aide à la décision. Le chapitre 8 est consacré à l'évaluation des effets des changements d'occupation et d'usage des terres sur l'environnement et la vie des populations autochtones. Il s'intéresse particulièrement aux dégradations dans les aires protégées et sensibles ainsi qu'aux effets de l'artificialisation et dégradation des terres.

CHAPITRE 7 : CHANGEMENTS FUTURS D'OCCUPATION DU SOL SELON LES SCÉNARIOS À L'ÉCHELLE LOCALE

Les changements environnementaux et paysagers sont aujourd'hui au centre des préoccupations sociétales. Ils justifient l'intérêt porté à la prospective et la question de l'anticipation des changements spatiaux. Si les dégradations liées aux changements d'occupation et d'usage des terres ne font aucun doute, toutefois, leurs effets et conséquences ne sont pas souvent perceptibles dans l'immédiat. Les facteurs entrainant les changements environnementaux et paysagers sont dans la plupart des cas des tendances lourdes, enracinées dans le temps long ou moyen. En effet, selon Valette et Corozza (2019), « l'éclairage par l'épaisseur de l'histoire et par l'inscription de ces phénomènes dans l'espace s'avère néanmoins indispensable pour appréhender dans leur complexité, les trajectoires d'évolution des systèmes environnementaux et paysagers, appréhendés comme des socioécosystèmes ».

Dans le cadre de l'analyse d'un système territorial à fort dynamique comme la presqu'île de Libreville, la planification des évènements prend tout son sens et devient incontournable. Cette dernière n'est efficace que si elle est fondée sur un faisceau d'hypothèses et de scénarios plausibles. Ces hypothèses analysent, d'une part, les possibilités d'évolutions d'un phénomène et, d'autre part, leurs impacts possibles. Les démarches de prospectives territoriales apparaissent comme une solution à la nécessité d'anticiper le devenir d'un territoire. On assiste depuis peu et de plus en plus à leur application au domaine de l'aménagement et de l'environnement (Houet, 2005).

Dans ce chapitre, la simulation a une dimension fortement expérimentale vu qu'elle n'a jamais été appliquée sur ce territoire. Le cas particulier de la presqu'île de Libreville nécessite que l'on s'intéresse à une dimension prospective dans la gestion du territoire, particulièrement pour l'analyse des changements d'occupation du sol. Dans un territoire où la quasi-totalité des dynamiques observées est l'apanage des logiques spontanées, la prise en compte de la dimension prospective devient un impératif. Au regard de ce qui précède, la modélisation et la simulation des changements de l'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville deviennent un enjeu très important, au regard des incertitudes liées à son évolution. Ainsi, le choix du type de modélisation ou des scénarios dépend du contexte particulier de ce territoire. La modélisation est donc orientée vers l'analyse de l'évolution probable de la structure spatiale du paysage, en fonction des données d'apprentissage.

7.1. Modélisation des changements de l'occupation du sol réellement observés

La connaissance des dynamiques passée, leur ampleur ou leur rythme de changements sont des éléments fondamentaux pour une gestion durable de l'environnement et des territoires. Les parties précédentes de cette thèse étaient entièrement dédiées à la production des données spatialisables et des connaissances utiles pour la modélisation prospective spatialisée des changements d'occupation du sol à une échelle locale. La démarche préconisée se nourrit de la méthode des scénarios en prospective et comprend trois principales étapes. La première étape est (i) la reconstitution des dynamiques passées. Elle consiste à élaborer un modèle et des sous-modèles de changements passés par l'analyse des interactions entre les différentes catégories d'occupation. L'analyse de ces interactions permet de mettre en évidence les règles de fonctionnement ou de l'organisation du système étudié. Une fois le fonctionnement du système décrit, c'est-à-dire que les différents niveaux d'organisation du système (et sous-système) sont mis en évidence, il est désormais possible d'utiliser ces connaissances pour produire de nouvelles (la simulation). La deuxième étape correspond à (ii) l'élaboration des scénarios et leur spatialisation tandis que la troisième est dédiée à (iii) la validation des résultats.

Appliquée à la presqu'île de Libreville, la modélisation prospective spatialisée a pour objectif d'évaluer les impacts de l'évolution future de l'artificialisation (cadre bâti) sur les écosystèmes forestiers à court et moyen terme. Elle s'intéresse par conséquent au processus de déforestation, dégradation et fragmentation forestière. Les scénarios ou les projections réalisées ont pour but d'identifier et d'analyser les zones à risque particulièrement les surfaces protégées et sensibles. Les zones à risques identifiés sur l'ensemble du territoire permettent d'éclairer les actions présentes des décideurs ou des acteurs de développement durable.

Rappelons que cette étape s'inscrit dans le champ de la modélisation de la complexité en environnement, que Thomas Houet positionne entre le paradigme de la prospective et l'objet de recherche de la géographie. En effet, l'analyse de la complexité repose sur les scénarios prospectifs qui prennent en compte plusieurs facteurs socioéconomiques et leurs interactions spatiotemporelles. Or, l'analyse des interactions entre l'homme et son environnement est aussi un objet de la géographie par le prisme de l'analyse spatiale et l'approche systémique. Ces éléments mettent donc en évidence une convergence explicite entre la géographie et la modélisation prospective spatialisée. Ici, on constate que la dimension spatiale est centrale. Il existe plusieurs approches qui permettent de réaliser la modélisation spatiotemporelle de la complexité à savoir, la représentation spatiale des états successifs, l'approche systémique et la modélisation dynamique (Houet et al, 2006). Dans le cadre de cette thèse, nous mobilisons cette dernière approche pour des simulations de l'évolution de l'occupation du sol de manière spatialement explicite c'est-à-dire que le modèle est distribué et spatialement intelligent (Le Ber et Benoit, 1998).

La modélisation dynamique permet un couplage entre le récit et la quantification des objets ou variables ainsi que la localisation des changements à un horizon temporel défini. Il existe une panoplie d'études portant sur la modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Dans la majorité de cas, ces études portent sur des territoires très vastes de telle sorte que les études portant sur la prospective des changements d'occupation du sol à une échelle fine sont très peu nombreuses. Ainsi, notre recherche s'inscrit dans le cadre de ces études qui tentent de réaliser des scénarios prospectifs spatialisés de l'évolution de l'occupation du sol à une échelle fine.

La modélisation réalisée dans le cadre de notre travail a pour objectif principal de répondre à quatre questions fondamentales : quoi ? (qu'est ce qui va changer, l'entité spatiale) ; par qui ? (le facteur de changement), où ? (où se localiseront les changements) et quand ? (à quelles périodes ou années les changements auront lieu). L'analyse des dynamiques du territoire sera basée sur des hypothèses du modèle de diffusion spatiale (Thériault M et al, 201 ; Hägerstrand, 1952) et leurs effets seront mesurés par l'approche systémique (Forester, 1968).

7.1.1. Construction de la base de connaissance des dynamiques d'occupation du sol

Cette étape permet de reconstituer les mécanismes de transition ou des changements des classes d'occupation du sol entre deux dates passées. Cela consiste à étudier dans le détail, l'ensemble de toutes les transitions qui se sont réellement opérées entre l'ensemble des catégories d'occupation du sol. Le but ici est de construire un modèle et des sous-modèles qui mettent en exergue les mutations des différentes entités spatiales. Ces modèles sont des éléments de bases sur lesquels s'appuiera la simulation des changements possibles.

Ici, un modèle de transition est une représentation graphique ou schématique, quantifiable dans notre cas, qui présente l'ensemble des transitions ou mutations qui ont permis d'aboutir à une situation connue de l'état global de l'occupation du sol. Celui-ci prend, en compte, l'ensemble des mécanismes de mutations des classes entre deux dates connut. Par ailleurs, un sous-modèle est une représentation graphique ou schématique, quantifiable, qui permet de présenter une dynamique particulière ou un aspect du système ou modèle global. Celui-ci dépend d'un nombre limité de transitions. C'est donc la sous-partie d'un modèle. Il représente à la fois la dynamique et l'état d'une catégorie du système (exemple, le sous-modèle de déforestation ou dégradation forestière, le sous-modèle de l'étalement du bâti). Précisons que le mot modèle utilisé renvoie à deux éléments différents. D'une part, l'expression modèle est utilisée pour désigner l'organisation d'un système, une représentation graphique. D'autre part, cette expression est aussi utilisée pour désigner les plateformes ou logiciels de modélisation et simulation.

7.1.1.1. Le modèle général de transition des classes d'occupation du sol

Le modèle de transition des classes d'occupation du sol du nord de Libreville décrit un système complexe d'interactions entre les différentes catégories. Cette complexité est liée aux interactions et rétro-interactions entre les différentes classes d'occupation du sol. Les matrices de transition réalisées précédemment permettent de mettre en évidence cette complexité d'échanges entre les classes. Les modèles de transitions de changements réellement observées sur le territoire sont réalisés sur trois périodes à savoir 2000-2014 ; 2014-2018 et 2000-2018. Ces modèles ont pour bases les cartes de transitions de l'occupation du sol élaborées pour chacune de ces périodes. L'ensemble des transitions a été cartographié et quantifié. Ils permettent de déterminer les tendances de changements entre classes, leurs trajectoires d'évolution, les interactions les plus importantes ou les surfaces inchangées, etc.

Les cartes d'occupation du sol sont composées de 5 catégories. Chacune des catégories subies des échanges avec les autres classes soit un total de 25 interactions réparties en trois types de dynamiques à savoir la stagnation, la régression et la progression. La figure 75 présente les transitions qui se sont opérées entre 2000 et 2018.

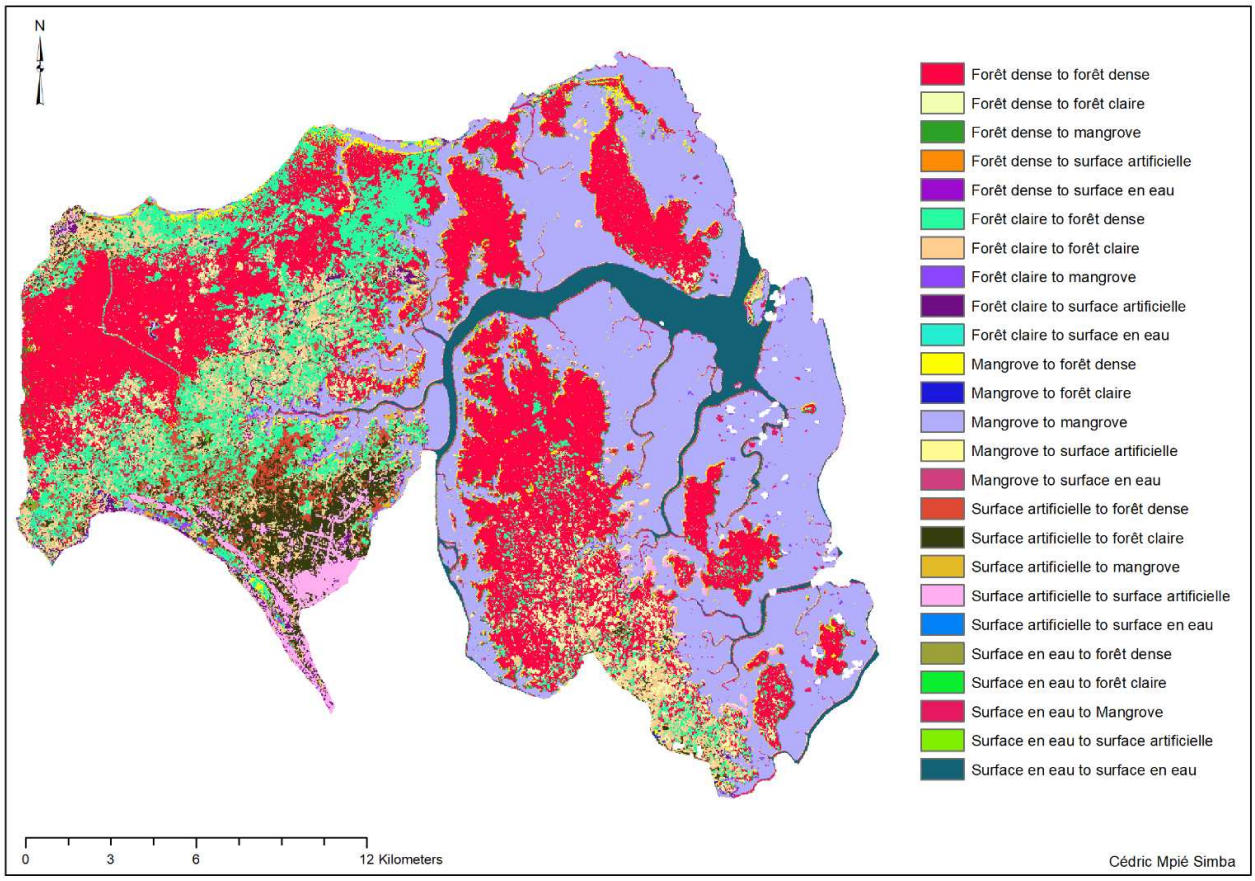


Figure 75 : Transitions entre toutes les classes d'occupation du sol de 2000 à 2018

Au total, le modèle de changements est donc constitué de 25 interactions qui peuvent être réparties en plusieurs sous-systèmes. La figure 76 représente l'ensemble de transition ou mutation qui se sont opérées entre les classes d'occupation du sol en deux dates.

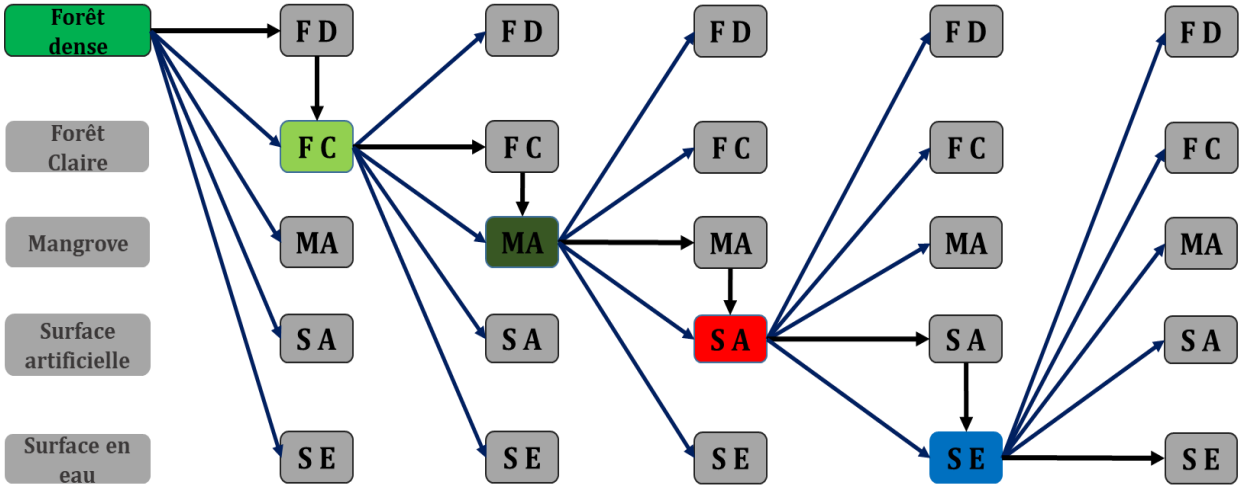


Figure 76 : Représentation graphique du modèle de transition des entités d'occupation du sol entre T1 à T2.

Ces données ont permis la constitution d'une base de connaissance de la dynamique spatiotemporelle des catégories de l'occupation du sol par télédétection et SIG. Le modèle spatial de transition d'occupation du sol construit ici met en évidence toutes les mutations. Les transitions des écosystèmes forestiers (la forêt dense, la forêt claire et la mangrove) vers les espaces artificialisés (bâti, sols nus) ont un très fort taux de changement. Cette tendance reste la même pour les périodes 2000-2014 et 2014-2018. Ces transitions constituent donc des tendances lourdes. Les espaces périurbains, forestiers et semi-forestiers ont tendance à être systématiquement transformés en zone bâtie. La compréhension globale des dynamiques de ce système territorial passe par l'analyse et la caractérisation des trajectoires de chaque entité spatiale. Cette dernière analyse nous a permis de mettre en évidence des sous-systèmes et d'en construire des sous-modèles. En effet, après la cartographie et quantification des transitions passées, nous procédons à la qualification des changements. Pour ce faire, chacune des transitions a été caractérisée. Cette caractérisation consiste à identifier et décrire les différents types de mutations spatiales des classes d'occupation du sol. L'ensemble de ces mutations sont présentées de manière schématique dans la figure 77.

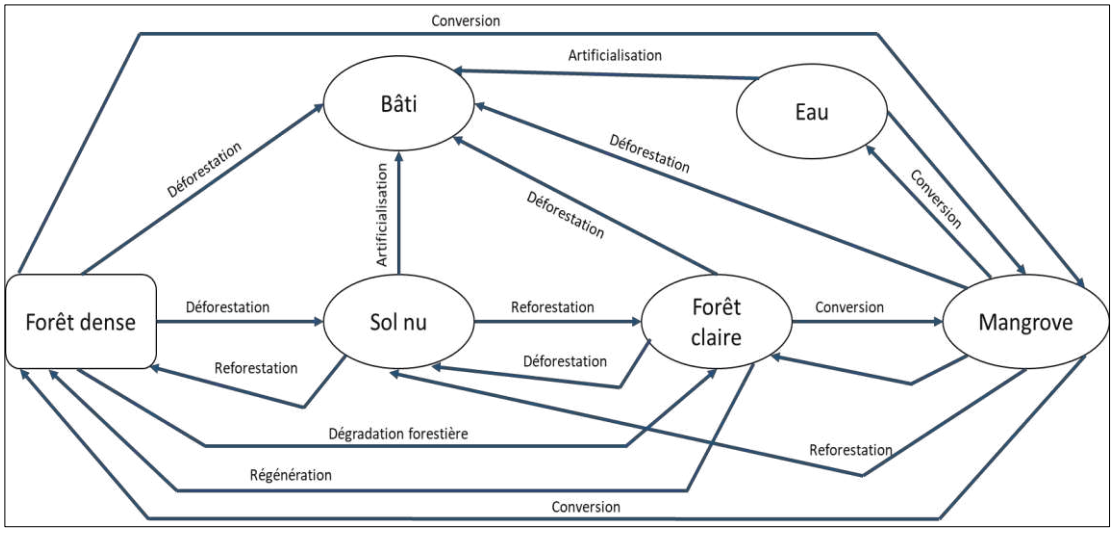


Figure 77 : Représentation graphique du modèle de transition des classes d'occupation du sol de la presqu'île de Libreville.

Le schéma des transitions met en exergue plusieurs phénomènes, dont la déforestation, la dégradation forestière, l'artificialisation des terres (caractérisée par l'étalement du bâti et les sols nus), la régénération ou la densification forestière, la reforestation et la conversion. Chaque changement d'état, correspond au passage d'une classe vers une autre. À titre d'exemple, lorsque le mode d'occupation du sol est la forêt dense ou forêt claire ou mangrove, et qu'il se transforme en bâti, ou en sol nu c'est un processus d'artificialisation dont la conséquence est la déforestation. Le phénomène de déforestation représente à lui seul un peu plus de 27 km² entre 2000 et 2018. La dégradation forestière, quant à elle, est caractérisée par le passage des forêts denses vers les forêts claires. Entre 2000 et 2018, cette mutation est d'environ 54 km². Dans le détail, cette transition marque aussi le début du processus d'artificialisation. Par ailleurs, le phénomène de régénération forestière est marqué par la transition forêt claire vers forêt dense : C'est la densification forestière. Les espaces de forêt dense, anciennement dégradée, retrouvent leur état initial. Entre 2000 et 2018, cette transition est d'environ 14 km². En outre, le modèle laisse aussi apparaitre les processus de reforestation. Celle-ci concerne le passage des surfaces artificielles vers les surfaces forestières, c'est-à-dire que les forêts recolonisent les espaces artificiels.

Précisons tout de même que cette dynamique de reforestation ne concerne que les sols nus et non le cadre bâti stricto sensu. En effet, rappelons que les surfaces artificielles ici sont composées du bâti et des sols nus. Seuls les sols nus ont observé une régression de leur surface au profit de la mangrove (2,72 km²), de la forêt dense (0,70 km²) et la forêt claire (4,08 km²). En somme, le processus de reforestation est estimé à environ 8, 14 km² entre 2000 et 2014. Enfin, des transitions non négligeables s'opèrent notamment entre les surfaces de mangrove, les cours d'eau et des forêts. Dans notre contexte, il s'agit des conversions. C'est le remplacement d'une catégorie naturelle par une autre. Ici, la conversion ou la colonisation est matérialisée par les mutations entre la mangrove, les cours d'eau et les forêts. Les surfaces ayant subi cette dynamique sont estimées à environ 13,99 km² entre 2000 et 2018.

L'analyse des transitions réellement observées sur ce territoire montre qu'il est très dynamique avec une forte instabilité des écosystèmes forestiers. Les données issues des phénomènes de régénération forestière et de reforestation permettent de déterminer la capacité d'autorestauration des écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville. La capacité d'autorestauration est une information importante notamment dans le cadre de l'analyse des dynamiques environnementales et de la protection des forêts. Elle renseigne entre autres sur la résilience du couvert forestier dans un contexte de fortes pressions anthropiques. Les écosystèmes forestiers, protégés ou non, résistent mal aux pressions anthropiques. Le bilan gain-perte des surfaces forestières reste très négatif notamment pour les forêts de terre ferme (forêt dense et forêt claire). Les forêts de terres inondées quant à elles résistent aux pressions anthropiques à cause des conditions physiques hostiles au cadre bâti. Leur probabilité de conversion et de changement reste très faible.

7.1.1.2. Les sous-modèles de transition de l'occupation du sol

Ils représentent et décrivent une problématique particulière du système global et déterminent les règles de transition qui expliquent les changements ou leurs évolutions. En fonction de nos objectifs, trois sous-modèles ont été construits. Ces derniers permettent de représenter les processus d'artificialisation des terres, de régénération ou restauration forestière et les conversions.

- Le sous-modèle artificialisation

Le sous-modèle artificialisation retranscrit et représente l'ensemble des transitions qui aboutissent à ce processus. Ce modèle correspond au passage des catégories naturelles vers les surfaces bâties et sols nus. Il permet de suivre la dynamique de l'étalement du cadre bâti, la déforestation et la dégradation forestière (fig. 78).

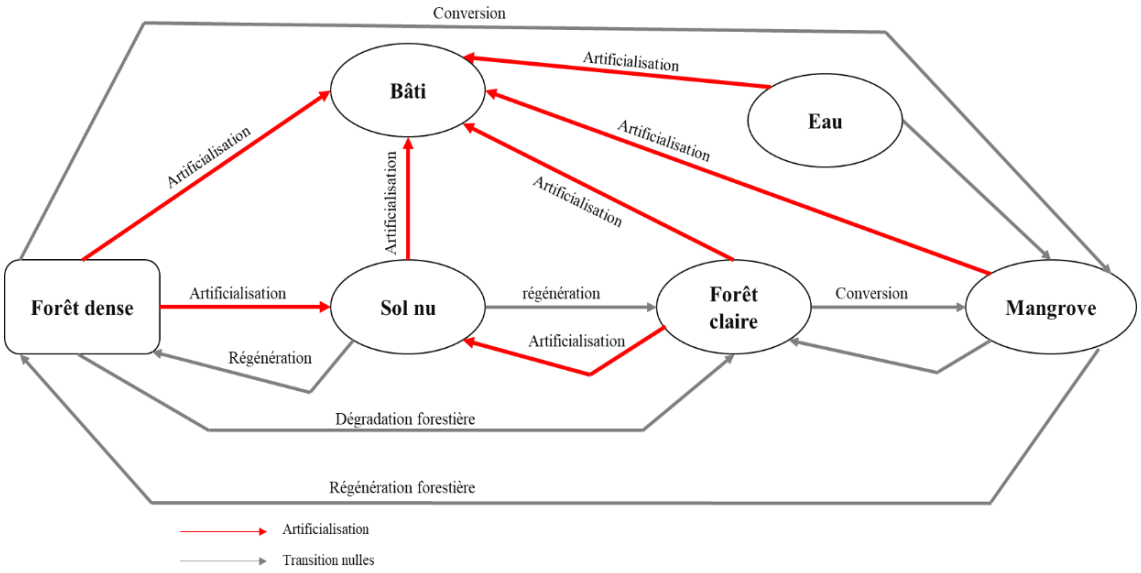


Figure 78 : Représentation graphique du sous-modèle Artificialisation

Chaque mutation a été caractérisée et quantifiée. Au regard des résultats statistiques obtenus entre 2000 et 2018, on constate que toutes les catégories ont tendance à se transformer en surface artificielle. Toutefois, le taux de convertibilité varie d'une catégorie à une autre, car certaines classes d'occupation du sol sont plus exposées à l'étalement du bâti que d'autres. C'est le cas des surfaces de forêts claires qui ont perdu 12,20 km² au profit du cadre bâti, entre 2000 et 2014. La forêt dense est deuxième catégorie la plus exposée avec une perte de 6,31 km² entre les deux dates. La mangrove, quant à elle, a perdu 5,35 km². Pour la période 2000-2018, les trajectoires d'évolution de classes gardent les mêmes tendances, pour la forêt claire, la forêt dense et la mangrove avec respectivement 15,37 km², 10,5 km² et 2,03 km². L'ensemble des transitions vers l'artificialisation a pour conséquence la déforestation et la dégradation forestière.

- Le sous-modèle reforestation et restauration forestière

Les dynamiques d'occupation du sol sont aussi rythmées par les processus de reforestation et de régénération forestière. Les forêts qui se dégradent et les espaces totalement déforestés peuvent dans certaines conditions retrouver leur état initial en absence de pression anthropique. Les processus de reforestation et de génération c'est-à-dire l'ensemble des transitions qui aboutissent à ces phénomènes sont représentés dans la figure 76. Sur ce territoire, nous faisons une distinction entre la reforestation et la régénération forestière. Les transitions de reforestation concernent le retour (passage) des surfaces artificielles, les sols nus en surface forestière. Il s'agit du retour des surfaces bâties vers les forêts claires et les forêts denses ou des surfaces des sols nus en forêt claire ou dense. Entre 2000 et 2018, la reconquête des forêts denses sur les surfaces artificielles est d'environ 0,70 km² tandis que le la transition des surfaces artificielles vers les forêts claires est de 4,08 km².

La régénération forestière, quant à elle, étudie le processus qui permet d'analyser le comportement des forêts dégradées (fig. 79). Il s'agit donc d'analyser la capacité d'autorégénération des forêts dégradée. Cette mutation concerne principalement le retour des forêts claires vers les forêts denses. Entre 2000 et 2014, ces transitions sont de 15,64 km² alors qu'elles sont de 13,65 km² entre 2000 et 2018, soit une diminution globale de la densification forestière de 1,99 km au cours de la période 2014-2018.

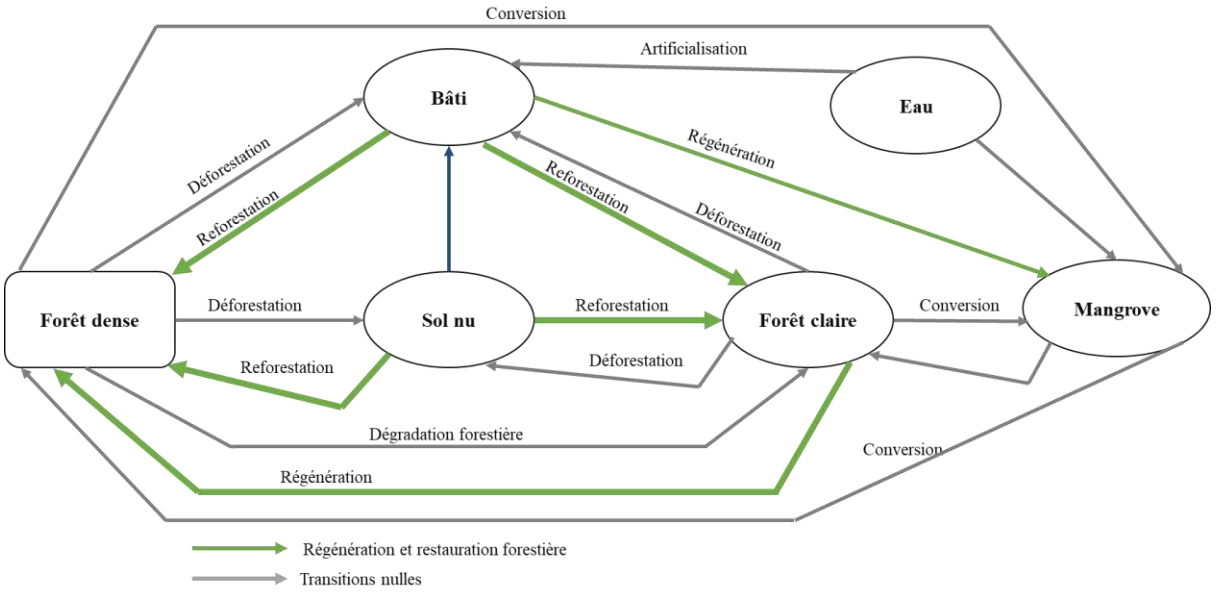


Figure 79 : Représentation graphique du sous-modèle régénération et restauration forestière

7.1.2. Processus de traitement des données dans Land Change Modeler

Une fois la base des connaissances élaborée, les modèles et sous-modèles de changements définis, la prochaine étape consiste à utiliser ces données pour simuler les changements possibles. La procédure des traitements et les différentes étapes de la simulation sont présentées et décrites dans la sous-section qui suit.

7.1.2.1. Cheminement des traitements dans Land Change Modeler

Land Change Modeler est composé de 5 modules à savoir ***Change analys ; Transition potentials ; Change Prediction ; Planing*** *et REED Project*. Chacun de ces modules est subdivisé en plusieurs tâches. Les différentes étapes du fonctionnement ou traitements de données dans LCM sont décrits et présentés dans la figure 80. Chaque étape sera précédée d'une illustration tirée des traitements réalisés sur la presqu'île de Libreville.

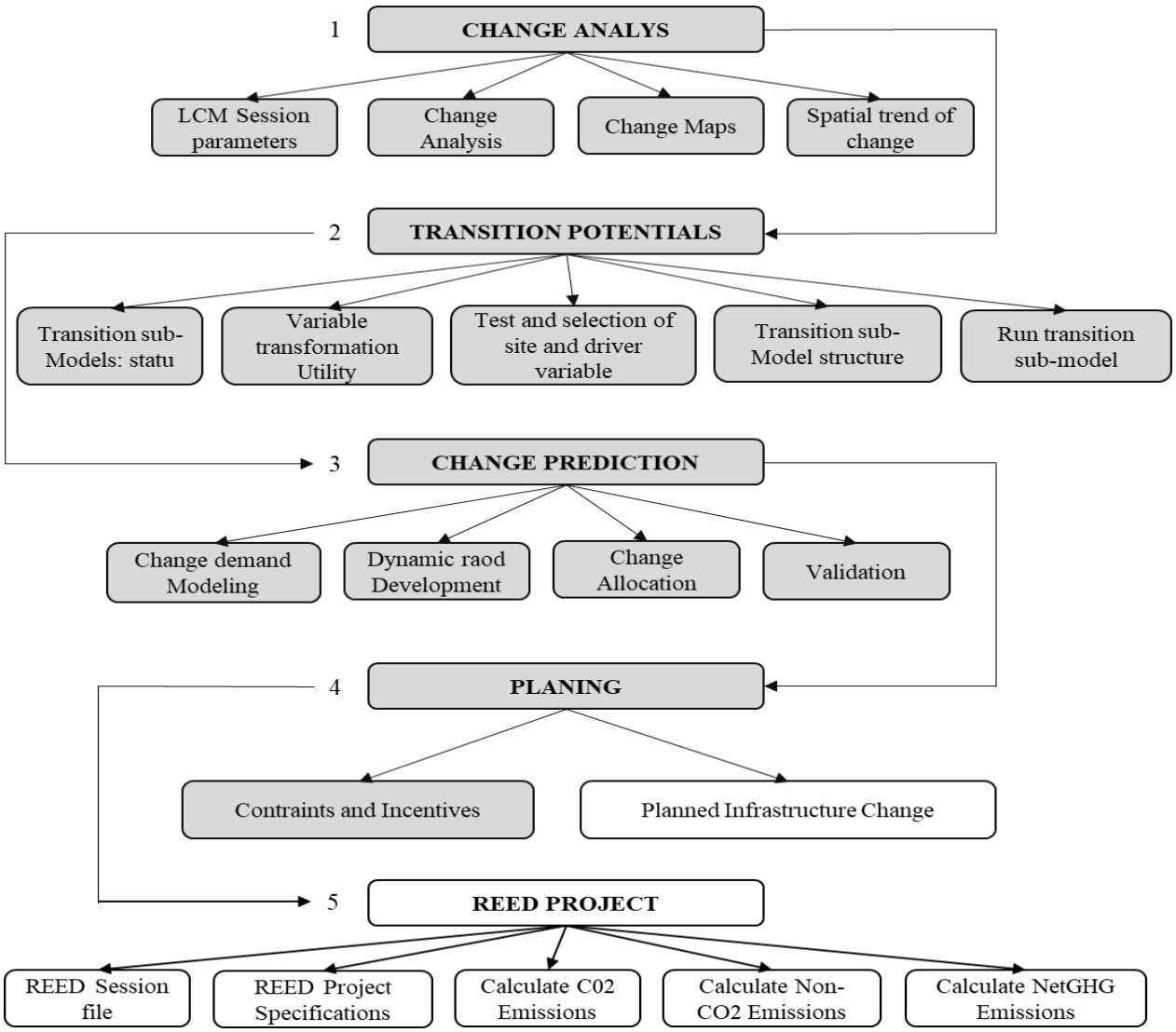
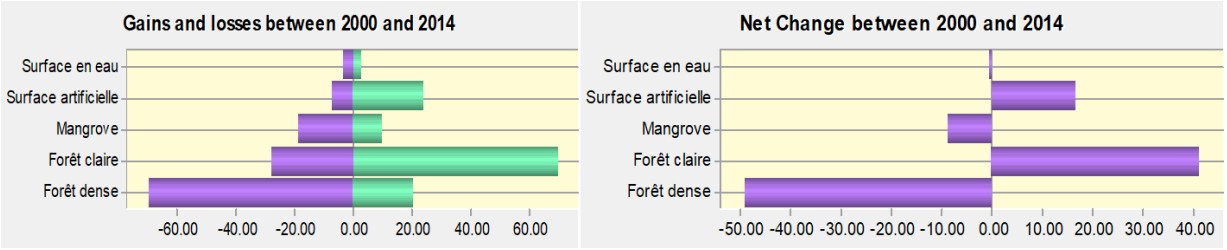


Figure 80 : Organigramme méthodologique pour la prédiction des changements d'occupation du sol avec LCM. Réalisation : Cédric Mpié Simba

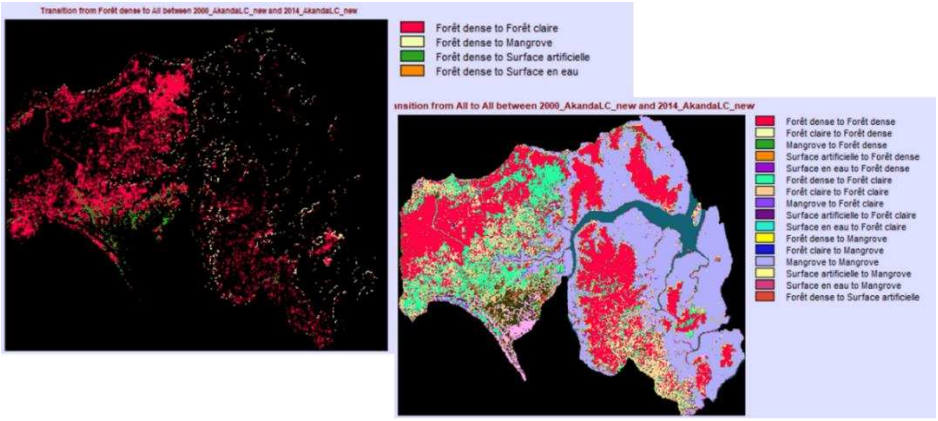
Le module 1, ***Change Analysis,*** est composé de quatre tâches (figure 80) :

1— LCM Session Parameters, a permis de spécifier les données en entrée du modèle pour l'analyse des changements d'occupation du sol. LCM nécessite au minimum deux cartes d'occupation du sol pour estimer la nature des changements à modéliser. Outre les images, d'autres couches optionnelles comme le réseau routier, l'altitude peuvent être ajoutées à la session créée. Les données en entrée du modèle doivent être parfaitement calibrées et superposables pour être pris en charge. Une fois la session créée et les données spécifiées, nous pouvons commencer l'analyse des changements.

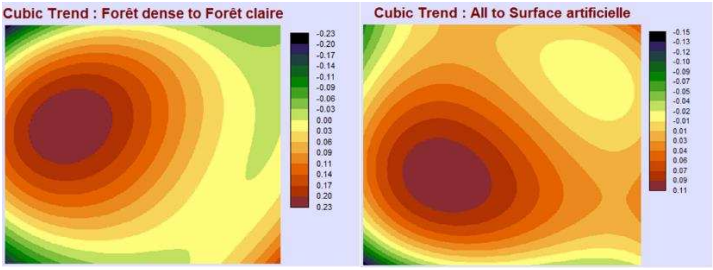
2— Change Analysis : ce panneau permet de procéder à l'analyse des changements en fonction des données d'entrées spécifiées dans la session de paramétrage. Ainsi les données sur la dynamique des changements tels que les gains de surfaces, les pertes, les changements nets par catégories, etc. peuvent être fournies sous forme de tableaux statistiques ou de graphiques (voir illustration ci-dessous).



3— Change Mpas. Ce panneau offre la possibilité de créer une variété de cartes de changements. Ainsi, les surfaces ayant subi des gains ou des pertes peuvent être représentées cartographiquement y compris les cartes de transition entre toutes les catégories d'occupation du sol entre deux dates (voir illustration ci-dessous).



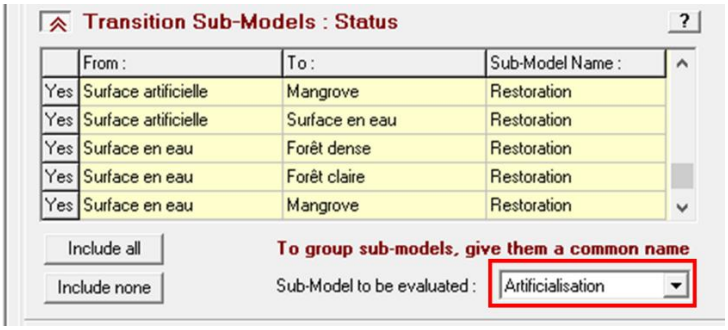
4— Spatial trend of Change : ce panneau permet de générer les cartes qui dégagent les tendances spatiales de changements en fonction des dynamiques passées. Les surfaces sont créées en codant les zones de changements par 1 et les zones sans changement par 0 (voir illustration ci-dessous).



Le deuxième module, ***Transition Potentials (2)*** est composée de cinq tâches :

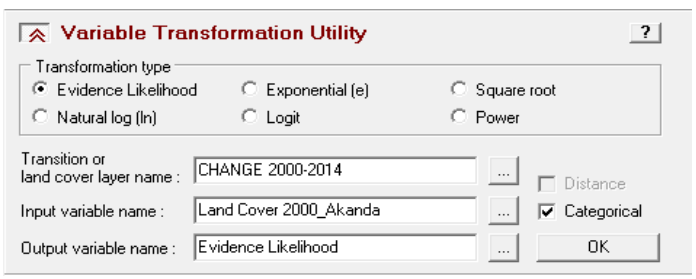
1 — la première tâche de ce module, *transition submodel : statue,* permets de reconstituer les dynamiques de changements par l'élaboration des sous-modèles de transitions. L'ensemble des transitions existantes entre deux cartes d'occupation du sol est répertorié dans un tableau. Ce tableau permet à l'utilisateur de spécifier les transitions à utiliser pour calculer le potentiel de transition de chaque catégorie ou d'une catégorie vers une autre. Il existe autant de sous-modèles que de transitions. Plusieurs transitions peuvent être regroupées pour former un sous-modèle. Pour être optimal, chaque sous-modèle doit être nommé. L'ensemble des

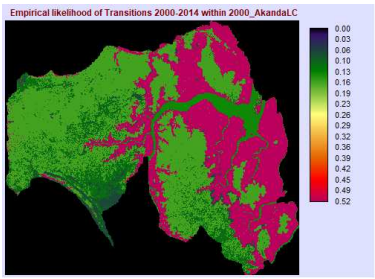
transitions regroupées en sous-modèle suppose qu'elles ont les mêmes facteurs de changements (voir illustration ci-dessous).



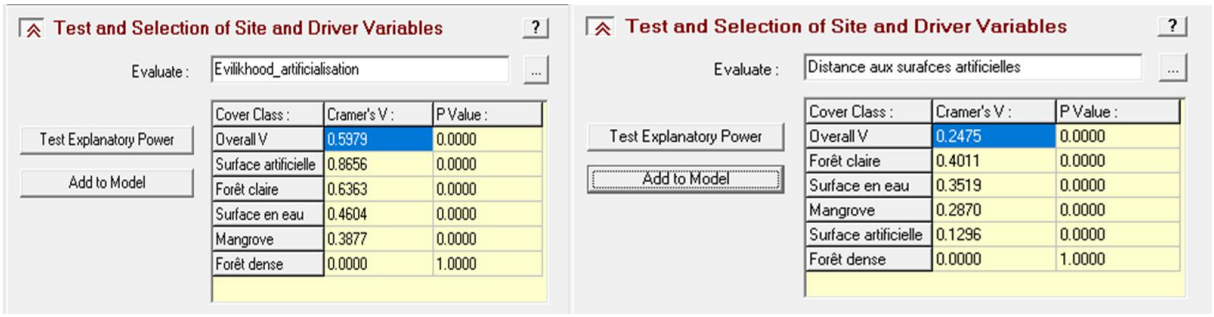
2— *Variable transformation utility*, est un utilitaire de transformation des variables thématiques en données numériques (quantifiables) pour la modélisation du potentiel de transition entre les catégories. Les modèles de transformation couramment utilisés sont : *Natural log* (ln), *Exponential* (e), *Logit* et *Evidence Likelihood.* Chaque type de transitions détient sa spécificité. Si l'option de la modélisation par régression logique est choisie, elle nécessite que les variables soient liées linéairement au potentiel de transition. Par contre, les options Multi-Layer Perceptron (MLP) et SimWeight ne nécessitent pas que les variables soient liées linéairement, mais la transformation peut parfois faciliter la tâche à résoudre dans le cas de fortes non-linéarités, offrant ainsi une plus grande précision. Deux transformations nécessitent une mention spéciale :

- La transformation logarithmique naturelle (*Natural log)* est généralement efficace pour linéariser les variables de décroissances de distance comme la proximité aux bâtis, la proximité au réseau routier, etc.
- La transformation par maximum de vraisemblance des preuves *(Evidence Likelihood),* est utilisée pour incorporer les variables catégorielles dans l'analyse. Les variables catégorielles doivent être converties en un ensemble de variables booléennes (fictives), soit transformer à l'aide de l'option de transformation *Evidence Likelihood,* fortement recommandée. La procédure examine la fréquence relative des pixels appartenant aux différentes catégories de cette variable dans les zones de changements. En effet, pour chaque variable, la procédure tente de calculer la probabilité de changement de chaque catégorie dans les zones qui connaitront de possibles changements (voir illustration ci-dessous).

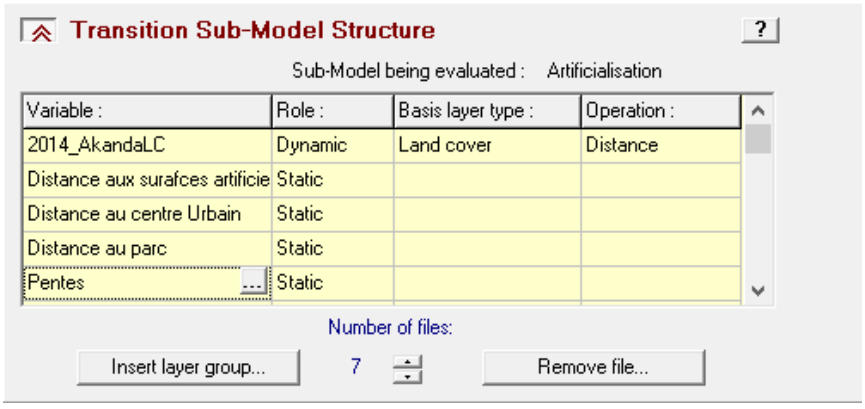




3— *Test and Selection of Site and Driver variables* est un panneau optionnel qui fournit un test rapide du pouvoir explicatif probable d'une variable. Il s'agit d'un test très approximatif et ne reconnait pas les effets d'interaction. La modélisation par l'outil Multi-Layer Perceptron est une procédure d'évaluation beaucoup plus solide qui intègre les processus d'interactions. Outre les variables quantitatives, les variables qualitatives peuvent aussi être testées. Pour ce faire, elles doivent être transformées en un ensemble de couches booléennes distinctes avec l'outil Evidence Likelihood. Notons que la procédure de test des variables est basée sur une analyse du tableau de contingence. Pour les variables qualitatives, l'outil utilise les catégories natives de la variable pour tester sa correspondance avec les catégories d'occupation du sol dans les cartes antérieures (voir illustration ci-dessous).

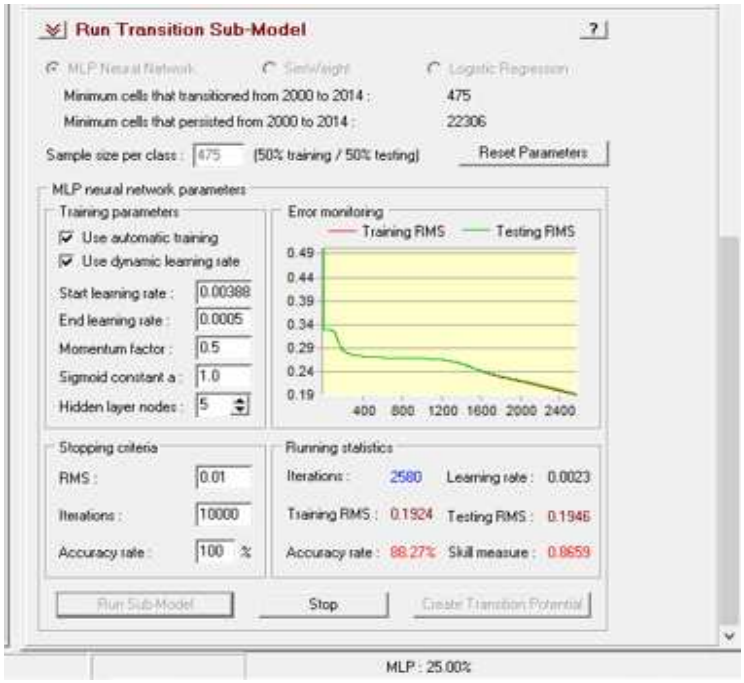


4— *Transition Sub-Model structure* est un panneau de structuration des sous-modèles de transition. Il fournit un tableau qui permet de spécifier et décrire les variables explicatives de changements pour un sous-modèle spécifique (voir illustration ci-dessous). Ainsi, à chaque sous-modèle, correspondent donc des variables spécifiques nécessaires pour créer les cartes de potentielle transition pour chaque sous-modèle. Les variables peuvent être ajoutées au modèle en tant que composants statiques ou dynamiques. Les variables statiques restent inchangées dans le temps, tandis que les variables dynamiques sont des facteurs dépendant du temps. Après la sélection des variables, chaque transition est modélisée dans le panneau d'exécution des sous-modèles de transition (voir illustration ci-dessous).



5— *Run Transition Sub-Model* est le panneau d'exécution des sous-modèles de transition. Il procède à la modélisation des changements réels des sous-modèles de transition implémentée. En d'autres termes, ce

panneau exécute le sous-modèle de transition spécifié dans le panneau précédent. Trois approches sont disponibles pour la modélisation des transitions à savoir, *MLP Neural Network*, *SimWeight* et *Logic Regression* (voir illustration ci-dessous). Les procédures Multi-Layer Perceptron (MLP) et SimWeight fonctionnent le mieux dans la modélisation des transitions et sont fortement recommandés par les concepteurs de LMC. Toutefois, l'option MLP est très efficace, car elle peut exécuter plusieurs transitions à la fois (jusqu'à 9) dans un sous-modèle, tandis que *SimWeight* et la *Régression logique* ne peuvent exécuter qu'une seule transition par sous-modèle. Pour des fins de validation, le MLP nécessite des exemples de pixels qui sont passés par chacune des transitions modélisées entre les deux dates des cartes d'occupation du sol. Il a également besoin d'exemples de toutes les données sur les surfaces inchangées. Il détermine aussi les pixels susceptibles de passer par l'une des transitions modélisées, mais qui ne l'ont pas fait.



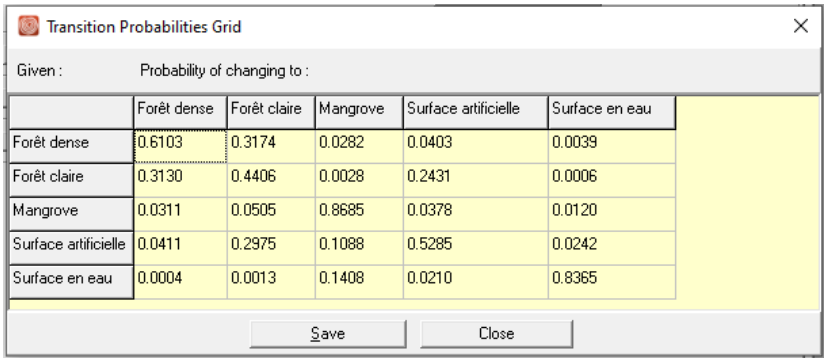
Le troisième module de LCM, ***Change Prediction (3)*** est composé de quatre (4) tâches.

1— *Change Demand Modeling,* est un panneau qui permet d'estimer la quantité de changement qui se produira à un moment donné dans le futur à l'aide des processus de prédiction comme les chaînes de Markov ou un autre modèle spécifié par l'utilisateur (voir illustration ci-dessous).



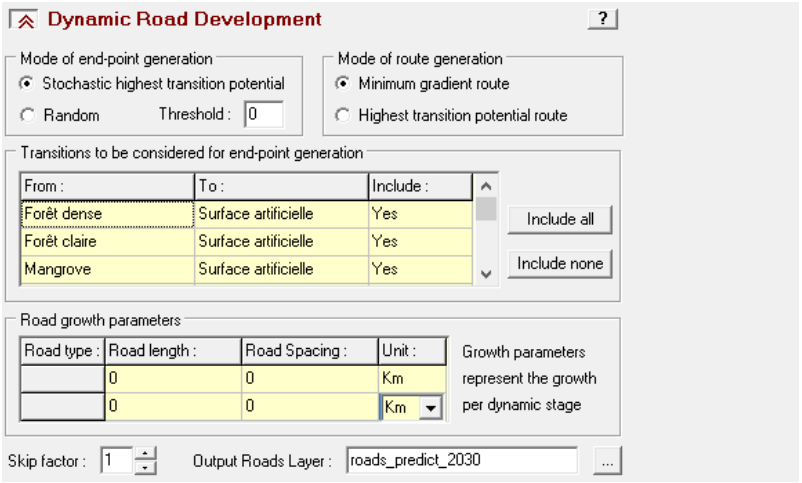
À l'aide de deux cartes avant et après d'occupation du sol, la chaîne de Markov permet et détermine la quantité de changement possible à une date future spécifiée. Sur la base des projections des probabilités

de transition dans le futur, la procédure détermine exactement les surfaces qui devraient changer à la date de prédiction. Un fichier de probabilité de transition entre chaque catégorie est systématiquement créé lors de la spécification de l'année de prédiction (voir illustration ci-dessous).



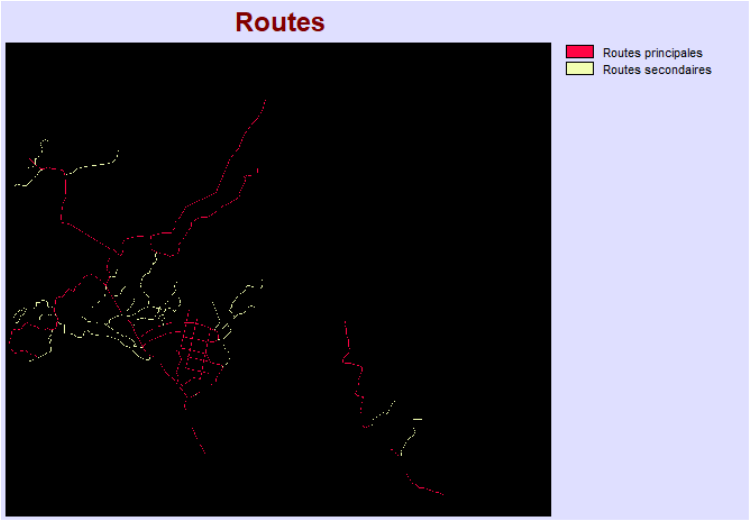
Notons que le processus markovien n'est pas une simple extrapolation linéaire puisque les probabilités de transition évoluent avec le temps et que les différentes transitions atteignent un état d'équilibre. Pour pouvoir effectuer la prédiction des changements, il faut au préalable terminer la modélisation des potentiels de changement pour toutes les transitions définies dans le module *Transition Potential*. Le format du fichier des probabilités de transition peut être un fichier texte ASCII, avec une extension *« .txt »* ou une matrice carrée où le nombre de lignes et de colonnes est égal au nombre de classes d'occupation du sol associé aux cartes. Les lignes représentent les catégories du sol en année précédente tandis que les colonnes représentent les catégories du sol de l'année antérieure. Précisons que la somme des lignes doit être égale à 1.

2— *Dynamic Road Development* est un panneau expérimental qui permet de prendre en compte les effets de l'évolution du réseau routier sur le changement des catégories d'occupation du sol. Ce module tente de prédire comment les routes se développeront à l'avenir et quel est leur niveau d'influence sur les modifications paysagères (voir illustration ci-dessous).

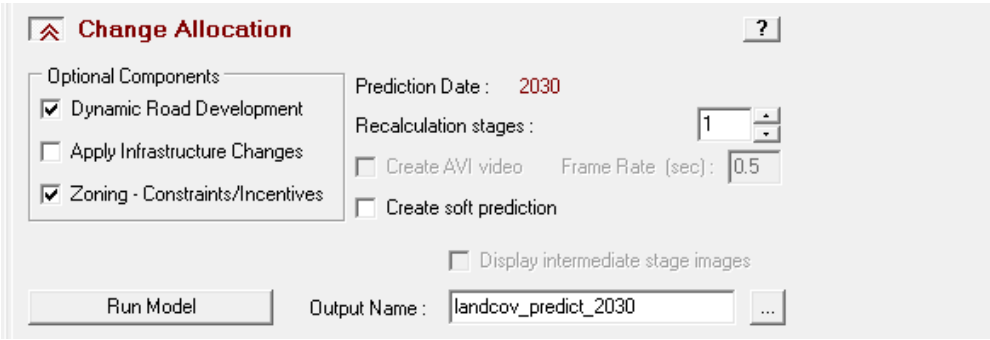


Pour ce faire, le réseau routier doit être classé en trois catégories codé avec les valeurs 1 pour les routes principales, 2 pour les routes secondaires et 3 pour les routes tertiaires. Dans notre cas, la route a été

définie comme un facteur de changement et nécessite par conséquent d'être pris en compte dans le processus de prédiction de changement. Il a été classé en deux catégories (voir illustration ci-dessous).



3— *Change Allocation* est un panneau dédié à la prédiction des changements futurs. Son paramétrage offre la possibilité d'intégrer le développement du réseau routier, les dynamiques du développement des infrastructures, les zones de contraintes ou d'incitations (voir illustration ci-dessous).



En fonction du sous-modèle ou du scénario prédéfini, LCM produit une carte d'occupation du sol avec les mêmes catégories qu'en entrées. Ce module produit deux types prédiction dits « *hard* » et « *soft* ». Le modèle *hard prédiction* ou prédiction dure est basé sur une approche d'allocation de changement compétitif, similaire au processus de décision multiobjectif. Il examine toutes les transitions et crée deux listes de classes. Une liste de classe d'hôtes, c'est-à-dire les classes susceptibles de perdre leurs surfaces, et une liste de classes demandeuses c'est-à-dire les classes qui enregistreront un gain de leur surface. Les quantités sont calculées à partir de de l'exécution de la procédure markovienne. Le modèle *soft prédiction* ou prédiction douce est une cartographie du potentiel de transition pour chacune des catégories pendant le processus de prédiction. Elle permet de produire des cartes de vulnérabilité au changement pour l'ensemble des transitions sélectionnées. Toutefois, elle ne dit pas ce qui va changer, mais plutôt représente les zones qui détiennent une forte susceptibilité au changement.

4— *Validation,* est un panneau qui vous permet d'évaluer la qualité ou la précision des cartes d'occupation du sol prédites. Cette évaluation se fait par comparaison à une carte de la situation réelle. Pour ce faire, ce

panneau exécute un croisement entre trois tableaux de données de trois cartes d'occupation du sol à savoir, une carte d'occupation du sol à une date passée, la carte d'occupation du sol simulée et une carte de la situation réelle. Le résultat est une image qui illustre la précision des résultats de la simulation, où :

À | B | B = Hits (vert) — le modèle a prédit le changement et il a changé
À | À | B = Misses (rouge) — le modèle a prédit la persistance, mais cela a changé
À | B | A = False Alarms (jaune) – le modèle a prédit le changement, mais il y a eu persistance

Le quatrième module de LCM, ***Planning***, est composé de deux tâches.

1— *Contraints and Incentives* est un panneau qui permet d'intégrer dans le processus de simulation, les zones de contraintes et *non aedificandi* telles que les aires protégées, les parcs, mais aussi les zones d'incitation. Les contraintes et incitations sont ajoutées au modèle pour chacune des transitions sous forme de cartes. Le panneau est utilisé en conjonction avec le processus d'allocation et de la prédiction des changements. Les contraintes et les incitations sont gérées sous une même couche. Les valeurs de 0 de cette carte représentent des contraintes absolues tandis que les valeurs 1 sont les incitations. Les cartes des contraintes et des incitations doivent être utilisées avec prudence, car, de petits changements peuvent avoir des impacts énormes. En effet, pour certaines zones, la contrainte peut être absolue (0), alors que pour d'autres, elle peut s'avérer relative. Dans ce cas, les valeurs de contrainte sont supérieures à 0 et inférieures à 1 (0,1 ; 0,9). C'est par exemple le cas des zones protégées de la presqu'île de Libreville où l'on observe des changements d'ordre anthropiques à l'intérieur des zones de contraintes.

2— *Planned Infrastructure change* est un panneau qui permet d'intégrer ou de spécifier dans le processus de prévision des changements, un ensemble d'infrastructure et de projets d'aménagements futurs tout en indiquant leur année d'entrée en vigueur. Ce panneau est utilisé en conjonction avec le processus d'allocation et de prédiction des changements. Il suppose donc que toute l'analyse des changements et la modélisation du potentiel de transition ont été achevées. En l'absence de données sur les aménagements et les infrastructures futurs prévus dans notre zone d'étude, cette étape n'a pas été intégrée dans le processus de modélisation des changements futurs. Les traitements réalisés se limitent au panneau 1 du module 4 (Contraintes et incitations).

7.1.2.2. Les données utilisées pour la modélisation de l'occupation du sol

Les transformations ou changements d'occupation du sol sont causés par plusieurs facteurs anthropiques et physiques que l'on appelle les *drivers*. Les facteurs physiques les plus cités sont la pente, l'altitude (facteurs topographiques), le climat, le système hydrologique. Les facteurs anthropiques comprennent l'ensemble des activités socioéconomiques (exemple l'agriculture), l'urbanisation, le réseau routier, etc. Ces drivers sont appelés *variables explicatives* de changements. Les variables explicatives ont pour rôle d'établir une corrélation entre les changements observés et les facteurs de changements. Ils jouent un rôle non négligeable dans le processus de changement des catégories de l'occupation du sol. Les données utilisées pour la simulation des changements sont répertoriées dans le tableau 27.

Variables	**Description et source**
Cartes d'occupation du sol (2000-2014-2018)	Produites à partir des images Landsat
Distance au réseau routier	Générée à partir du réseau routier de Libreville
Distance au centre urbain	Générée à partir de la tache urbaine d'Akanda
Distance aux surfaces artificielles	Généré à partir des images Landsat
Carte d'altitude	Réalisée à partir du MNT
Carte des pentes	Réalisée à partir de la carte MNT
Cartes des zones de contraintes	Données vectorielles des parcs (ANPN)
Principaux cours d'eau (contrainte)	Réseau hydrographique (Landsat)

Tableau 27 : Les variables explicatives des changements utilisées pour la simulation de l'occupation du sol

Les variables explicatives de changements intégrés aux modèles de simulation sont contraintes par leur caractère quantifiable et spatialisable ainsi que leur capacité réelle à influencer le changement. Les variables qualitatives non spatialisables n'ont pas été prises en compte dans le processus de simulation. Le nombre de variables explicatives est limité par rapport aux éléments présentés dans le chapitre (6). Seuls les facteurs spatialement explicites ont été pris en compte.

Une validation de chaque facteur est par la suite réalisée. Elle propose d'analyser la distribution des changements en fonction de chaque variable. Pour ce faire, le coefficient V de Cramer est calculé. Il permet d'établir la corrélation entre les variables et ses valeurs et varie de 0 à 1. Lorsque les valeurs sont proches de 0, cela signifie que la corrélation est faible tandis que lorsque les valeurs sont proches de 1, la corrélation est forte. La figure 81ci-après présente l'ensemble des facteurs explicatifs de changements analysés.

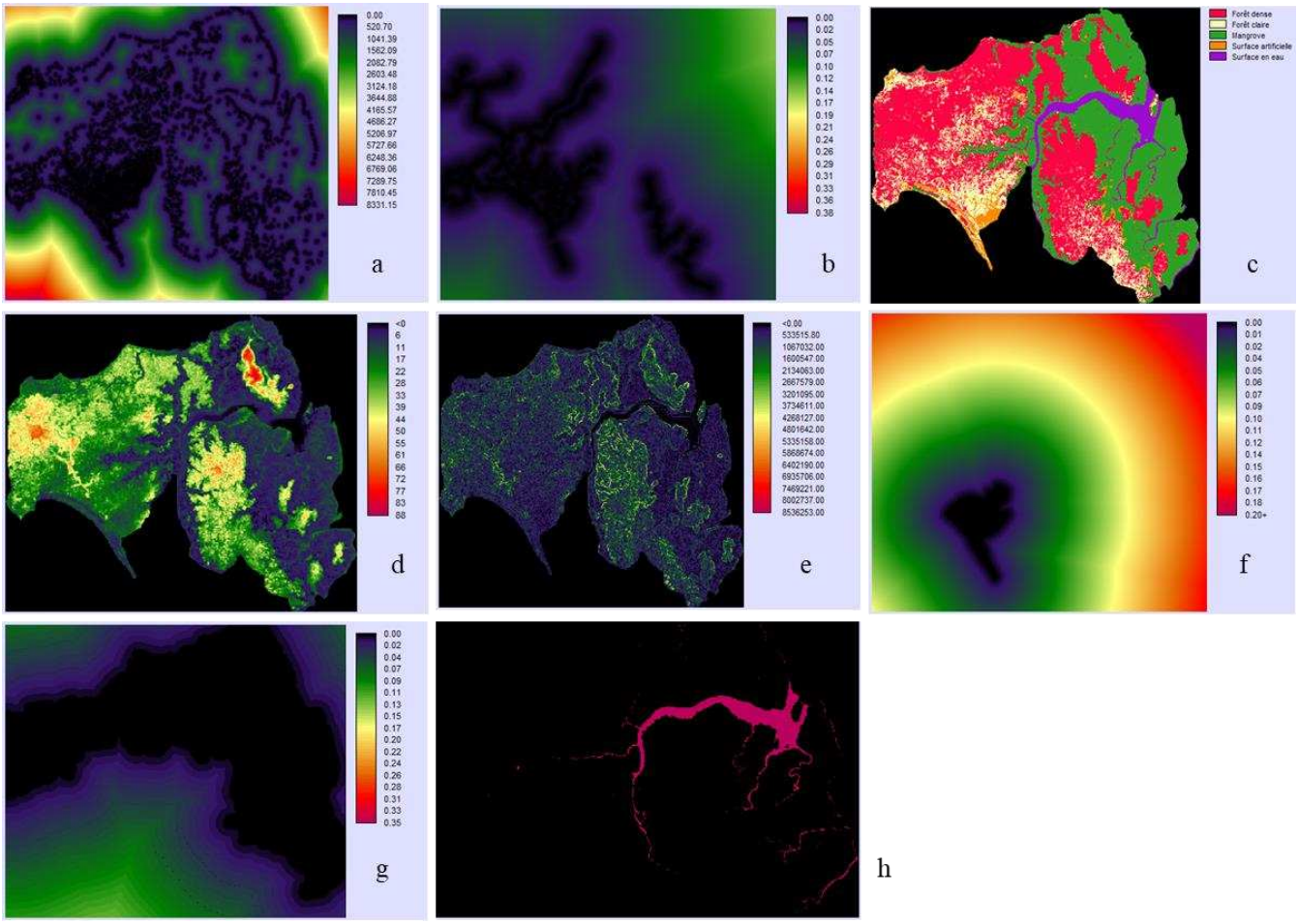


Figure 81 : Représentation spatiale des facteurs testés pour le calcul de l'indice V de Cramer.

(a) distance aux surfaces artificielles ; (b) distance aux routes principales ; (c) types d'occupation du sol ; (d) altitude ; (e) la pente ; (f) distance au centre urbain ; (g) zone de contrainte (surface protégée) ; (h) zone de contrainte (cours d'eau).

Variables explicatives	Indice V global	V1	V2	V3	V4	V5
Distance aux surfaces artificielles	0,247 2	0,000 1	0,401 1	0,287	0,129 6	0,035 1
Distance au centre Urbain	0,103 7	0,000 1	0,065 4	0,062 7	0,085 2	0,038 8
Distance aux routes principales	0,252 3	0,114 1	0,214 9	0,026 5	0,372 2	0,001 6
Type d'occupation du sol	0,668 4	0,636 3	0,387 7	0,865 6	0,460 4	0,858 6
Pente	0,126 4	0,000 1	0,065 4	0,019 2	0,257 5	0,047 2
Altitude	0,193 2	0,412 3	0,523 5	0,029 5	0,560 9	0,014 8

Tableau 28 : Coefficients de l'indice V de Cramer des variables explicatives de changements d'occupation.

(V1) Forêt dense (V2) Forêt claire (V3) Mangrove (V4) Surface artificielle (V5) Surface en eau. V1= valeur de l'indice V de cramer pour la catégorie forêt dense (1)

Le tableau ci-dessus présente le résultat du calcul de la puissance du potentiel des variables explicatives qui sont utilisées dans le processus de prédiction. Il s'agit d'un ensemble d'éléments physiques et spatialisables qui jouent un rôle dans le changement d'occupation du sol. L'outil utilisé pour évaluer la puissance du potentiel de changement de chaque variable est *Evidence Likelihood* (Évidence de vraisemblance). Sur la base

des données d'apprentissages, cet outil établit une corrélation entre les changements réellement observés et les facteurs explicatifs. Le pouvoir explicatif de chaque variable a été évalué grâce à l'indice *V de Cramer*. Lorsque de cet indice est fort ou élevé, cela signifie que la variable joue un rôle important dans le processus de changement d'occupation du sol et vice-versa. Selon Eastman (2009), les valeurs supérieures ou égales à 0,15 sont considérées comme acceptables tandis que les valeurs supérieures à 0,40 sont considérées comme très satisfaisantes.

Six (6) facteurs explicatifs de changements d'occupation du sol ont été retenus pour le calcul de l'indice V de Cramer (tableau 28). L'ensemble de coefficients obtenus montre la corrélation qui existe entre chaque variable et l'occupation du sol de la commune d'Akanda. Le tableau présente d'une part la valeur globale de l'indice V de Cramer et d'autre part, le coefficient V pour les différentes classes d'occupation du sol (V1 ; V2 ; V3 ; V4 ; V5).

Les résultats obtenus montrent que certains facteurs ont un pouvoir explicatif supérieur à d'autres. En effet, les variables comme la distance au centre urbain où la pente joue un rôle moins important dans le processus de changement d'occupation du sol de la commune d'Akanda. Leurs indices globaux de V cramer sont inférieur à 0,15, soit respectivement 0,10 et 0,12. Ces valeurs indiquent une association très limitée entre ces variables et les catégories d'occupation du sol. En outre, pour la variable distance au centre urbain, les coefficients sont quasiment nuls pour les catégories forêt denses et forêts claires. La variable distance aux surfaces artificielles, quant à elle, a un pouvoir explicatif de changement très important. Sa valeur V globale (0,25) indique une forte corrélation entre ce facteur et les catégories d'occupation du sol. Les valeurs de coefficients de cette variable pour chaque catégorie d'occupation du sol correspondent à la réalité sur le terrain. Si les surfaces artificielles sont très faiblement présentes à proximité des forêts denses, elles sont, par contre, très importantes dans la catégorie forêt claire (V2=0.40), et mangrove (V3=0.28). Avec un coefficient V global de 0,25, la variable distance au réseau routier principal joue un rôle non négligeable donc importante dans le processus de changement d'occupation du sol. V1 (0,000 1) indique une valeur presque nulle. Cela signifie que le réseau routier influence très faiblement les changements de la catégorie forêt dense. Ce constat est aussi valable pour les surfaces en eau et la mangrove. Pour le reste des catégories, l'indice reste satisfaisant notamment pour la forêt secondaire (V2= 0,21) et les surfaces artificielles (V4=0.3722).

La variable altitude enregistre une bonne corrélation et joue un rôle important dans la distribution des changements d'occupation du sol avec un V global de 0,19 supérieur au seuil minimum requis. Dans le détail, l'influence de cette variable reste très insignifiante pour les catégories mangrove (V3= 0,029 5) et surface en eau (V5=0.014). Mais cette corrélation reste élevée pour les catégories forêt claires (V2=0.5235) et surfaces artificielles (V4=0.5609).

Par ailleurs, la variable « type d'occupation du sol » doit être appréciée différemment. En effet, ici, lorsque la valeur V est forte, cela signifie que les changements dans la catégorie sont faibles. Mais lorsque la valeur

de V est faible, cela signifie que les changements dans la classe sont très importants. Avec un coefficient V global de 0,66, cette variable n'enregistre qu'un taux de stabilité de 0,34. Les catégories ayant une forte aptitude à la stabilité sont la mangrove (V3=0.86) et la surface en eau (V5=0.85) suivit la forêt dense (V1=0.63). La catégorie V2 (forêt claire) est celle qui enregistre les changements les plus importants avec un indice V cramer de 0,38 soit une instabilité de plus de 0,52. Dans l'ensemble, l'évaluation des variables explicatives retenues montre qu'elles jouent un rôle assez important dans le processus de distribution des changements des catégories d'occupation du sol, principalement des le processus de dégradation et de déforestation. L'ensemble de ces données sera utilisé pour la simulation des changements d'occupation du sol de la zone nord de Libreville. Pour ce faire, des scénarios ont été construits. Ces derniers tentent de déterminer les conditions probables du développement des terres au nord de Libreville dans les prochaines années, plus précisément en 2025, 2030 et 2050.

7.1.2.3 Les facteurs de conversion des catégories d'occupation du sol

L'ensemble de ces dynamiques paysagères permet de comprendre le fonctionnement du système, de le décrire et de le représenter. Le démantèlement de ce système nous a permis de déterminer les règles de transition interclasses. Ces informations vont servir de données de bases pour les opérations de simulations des changements futures. La modélisation des changements réellement observés passe par la détermination des probabilités ou facteurs de changement de chaque catégorie d'occupation du sol. Les facteurs de changement sont calculés en fonction des dynamiques passées. Il détermine quelles catégories spatiales sont susceptibles de connaitre des mutations et à quels pourcentages. La détermination des règles de transitions et des facteurs explicatifs des changements futurs passe par le calcul des facteurs de conversion de chaque catégorie d'occupation du sol. Le facteur de conversion représente la probabilité de changement de chaque classe d'occupation de sol. Il est calculé sur la base des changements réellement observés et à partir de la matrice de transition. Elle est obtenue par le croisement des cartes d'occupation du sol et permet de décrire les changements intervenus en mettant en évidence et de façon condensée les différentes transitions ou conversions subites par les unités d'occupation du sol entre deux dates (Schlaepfer, 2002).
L'hypothèse de base de la matrice de transition considère que chaque catégorie d'occupation des terres est constituée d'un nombre de cellules, chaque cellule a plus ou moins changé d'état pendant la période considérée (2000-2014 ; 2014-2018). Ce changement d'état d'une catégorie vers une autre est traduit en probabilité de changement ou en facteur de conversion (Oloukoi et *al.,* 2006).
Le facteur de conversion de chaque catégorie d'occupation du sol (fig. 82) est calculé à partir de l'équation ci-après :

Facteur de conversion = **(Sc/Si1) *100**

Ou, ***Sc****. Superficie totale des changements au sein d'une catégorie vers d'autres*

Si1*. Superficie de la même catégorie en année de départ.*

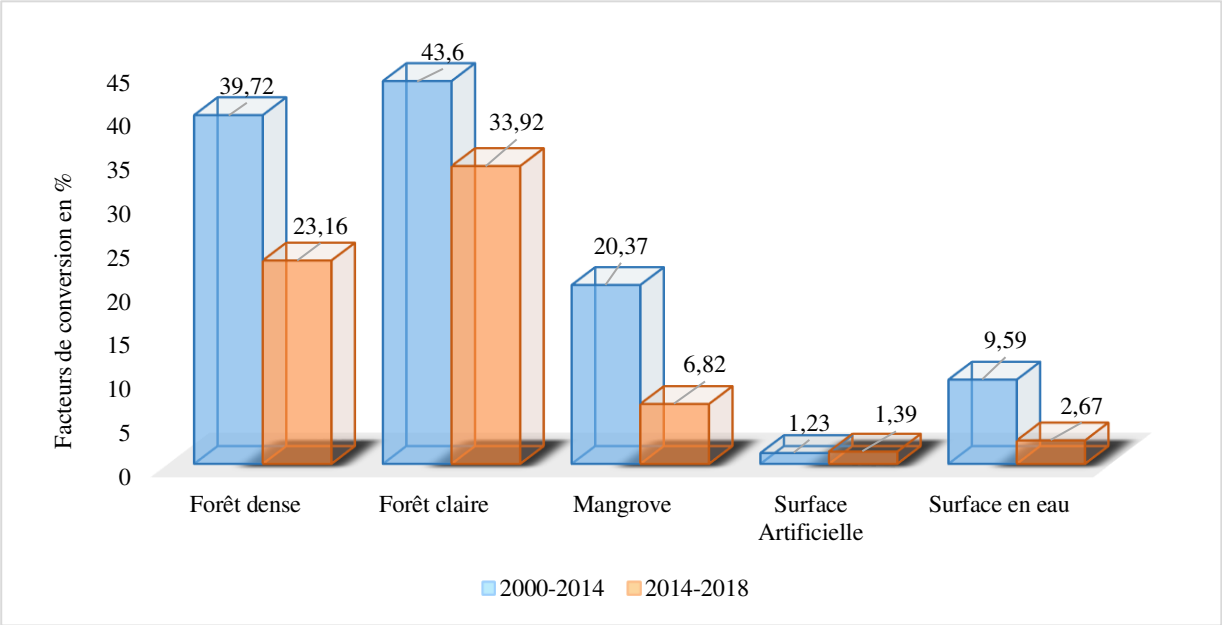


Figure 82 : Facteurs de conversion des catégories d'occupation du sol

Les facteurs de conversion indiquent la proportion de changements qu'a connue chaque catégorie au cours des deux périodes étudiées. Il prend en compte la somme des changements intervenus dans une classe et la superficie de la même classe en année de départ. Il en résulte que les trajectoires des changements restent les mêmes pour les deux périodes. Les classes les plus exposées restent les forêts claires. En effet, entre 2000 et 2014, 56,72 km² de surface des forêts claires sont restés stables alors que 35,51 km² ont changé de catégories, soit un facteur de conversion de 43,6 %. De 2014 à 2018, cette classe d'occupation du sol reste la plus susceptible aux changements avec un facteur de conversion de 33,92 %. La forêt dense est la deuxième catégorie qui détient le taux de conversion le plus fort. Il est de 39,72 % entre 2000 et 2014, alors qu'il est de 23,16 % pour la période 2014-2018. Les surfaces de mangrove arrivent en troisième position avec un facteur de conversion de 20,37 et 6,32 % respectivement pour les eux période. Le taux de convertibilité des surfaces en eau comme pour les autres catégories varient entre les deux périodes. Il est de 9,59 % pour la période 2000-2014, contre 2,67 % pour l'autre période. La convertibilité des cours d'eau est essentiellement liée au grossissement ou au rétrécissement des lits des rivières, mais également à la différence du niveau d'eau selon que l'on soit en saison sèche ou en saison de pluie. Les surfaces artificielles enregistrent le facteur de conversion le plus faible, soit 1,23 % et 1,39 %. Les conversions des surfaces artificielles en d'autres catégories restent naturellement très faibles. Dans l'ensemble, l'intensité des changements des catégories telles que la forêt dense, la forêt claire est plus forte au cours de la seconde période. Toutefois, les tendances et les trajectoires d'évolution du paysage restent les mêmes.

7.2. Simulation des changements futurs d'occupation du sol selon les scénarios à l'échelle locale

La détection des changements futurs, c'est-à-dire la reconnaissance des transformations possibles du territoire, prend tout son sens dans un territoire dominé par les logiques individuelles et spontanées. L'aménagement de la presqu'île de Libreville semble ne suivre aucun plan. Les différents plans d'aménagement de la ville prévue dans les différents documents de planification ne sont pas souvent exécutés. Pour cause, entre autres, les outils élaborés tels que les schémas directeurs d'aménagement du territoire et les schémas d'aménagement urbain n'ont pas été appliqués. Au regard de ces éléments, on se rend compte que même ce qui parait planifier est en réalité spontané. La pratique des aménagements spontanés n'est pas seulement l'apanage des populations locales, mais elle est aussi issue des pouvoirs publics. Dans un tel contexte, où le développement du territoire ne suit pas une programmation bien définie, où les temporalités de l'exécution des projets d'aménagement existant sont indéfinies, où les gestionnaires du territoire n'ont aucune maitrise des actions des populations, bref dans un territoire soumis à « *l'instinct* », la simulation des changements futurs devient un exercice très complexe et implique un niveau d'incertitude élevé. En effet, dans la presqu'île de Libreville, les dynamiques territoriales des zones périurbaines sont principalement assurées par les populations. Malheureusement, ces dynamiques ne sont pas maitrisées par les pouvoirs publics. Ainsi, les acquisitions foncières, leurs rythmes et les activités qui y sont menées ainsi que leur temporalité échappent aux autorités publiques.

Pour être vraisemblable, c'est-à-dire tenir compte de cette réalité (qui est une tendance lourde), le type de modélisation et de scénario à élaborer doit pouvoir prendre en compte cet état de fait. Le choix de la modélisation prospective au détriment d'une approche prédictive des dynamiques de changements d'occupation du sol est orienté par les conditions propres au site de presqu'île que nous venons de présenter. Rappelons que l'approche prédictive est par essence déterministe, alors que l'approche prospective est probabiliste. Cette dernière est plus adaptée au cas de presqu'île de Libreville, où les dynamiques territoriales sont aléatoires. Le but de la modélisation prospective n'est pas de prédire avec exactitude l'état futur de l'occupation du sol, mais plutôt d'explorer son devenir possible à travers les scénarios. Rappelons qu'il existe deux grandes familles de scénarios : les scénarios *d'anticipation* et les scénarios *exploratoires*. Selon Berger G, 1967, les scénarios d'anticipation sont les seules à être par essence prospectif. Ils partent des images du futur possible et souhaitable vers le présent. Ces scénarios décrivent un ensemble d'objectifs à réaliser et suivent un cheminement inverse aux scénarios exploratoires. En effets, les derniers décrivent la situation future sur la base des tendances passées et présentes.

Au regard de ce qui précède, notre choix devrait normalement se porter sur les scénarios d'anticipation. Mais en l'absence d'une vision clairement définie, d'une image souhaitable du devenir du territoire et surtout en l'absence des données nécessaires, la modélisation prospective sur la base de scénarios d'anticipation (normatifs ou contrastés) parait impossible à mettre en œuvre. De plus, le but de ces deux

scénarios ne correspond pas aux objectifs de cette étude. Le scénario normatif cherche à produire une image d'un futur souhaitable ou possible. Il suppose que l'on peut tout d'abord déterminer un ensemble d'objectifs à réaliser et faire la synthèse de ces objectifs et relier cette image du futur au présent. Le scénario contrasté quant à lui, esquisse un futur souhaitable situé à la frontière des possibles. Il suppose que l'on peut déterminer tout d'abord, un ensemble d'objectifs à réaliser s'écartant des objectifs de référence. Il fait la synthèse des objectifs à réaliser et relie cette image future au présent.

Dans notre cas, la modélisation prospective se fera donc sur la base des scénarios exploratoires. Ces derniers sont, non seulement adaptés, au cas particulier de la presqu'île, mais ils permettent surtout de répondre aux objectifs de la simulation des changements fixés dans cette recherche. Il s'agit du *scénario tendanciel* et *d'encadrement*. Le scénario tendanciel cherche à déterminer un futur possible. Il suppose la permanence et la prédominance des tendances lourdes. Son but est d'examiner la poursuite dans l'avenir de ces tendances et les mécanismes qui les expliquent. Le scénario d'encadrement, quant à lui, veut délimiter l'espace des futurs possibles. Tout comme le scénario tendanciel, il suppose la permanence et la prédominance des tendances lourdes. Il fait varier de façon extrême les hypothèses concernant l'évolution de ces tendances. Les scénarios exploratoires sont essentiellement construits sur la base des données passées et présents des dynamiques de changement de l'occupation du sol. Ces informations sont utiles et nécessaires à une démarche prospective, car, elles fournissent un cadre de référence aux planificateurs. La prochaine étape consiste à décrire les scénarios retenus pour la simulation des changements.

7.2.1. Description des scénarios et résultats de la simulation des changements

7.2.1.1. Le scénario tendanciel

Ce dernier constitue la base de toute opération de modélisation et simulation des changements. Il est construit sur la base de l'hypothèse suivante : *H1 : une réduction des écosystèmes forestiers au profit du cadre bâti ou des surfaces artificielles*. Ce scénario est certainement le plus adapté pour l'analyse du devenir possible de l'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville. Ils démontrent l'évolution que suivrait le paysage périurbain laissé à ses tendances et sans intervention volontaire (de la part des pouvoirs publics) pour corriger les trajectoires. En effet, de 1960 à nos jours, aucune intervention volontaire permettant de corriger les trajectoires de diffusion du bâti en zone périphérique n'a été appliquée (sauf la mise en protection de certaines zones fortes valeurs écologiques). L'étalement du bâti, par exemple, semble évolué suivant une logique linéaire et spontanée sans que les politiques publiques puissent infléchir les tendances de cette propagation. Il constitue donc le scénario le plus probable pour la simulation spatiale des changements d'occupation du sol de notre zone d'étude. Il a pour objectif de reproduire dans le temps et dans l'espace, les tendances lourdes observées sur ce territoire et qui sont source de changement. Il s'inscrit dans le cadre de l'anticipation de changements spatiaux liés à l'anthropisation (suivi de l'évolution du cadre

bâti) et ses effets en termes de dégradation forestière et de déforestation. Les cartes produites peuvent donc être appréhendées comme des « *cartes de risques de dégradation* » des écosystèmes forestiers.

Les différentes projections de ce scénario sont construites sur la base du sous-modèle « artificialisation ». Les données statistiques ainsi que les facteurs de conversion (probabilités de conversion) de chaque catégorie sont pris en compte dans cette analyse. Les projections sont réalisées sur trois dates, 2025, 2030 et 2050 correspondants au temps court et moyen. Dans un premier temps, les probabilités de transition de chaque catégorie d'occupation du sol sont calculées. Elles déterminent pour chaque unité l'ensemble des mutations possibles à un horizon temporel donné. Les résultats sont présentés soit en pourcentage soit en valeur absolue dans une matrice de transition. Les probabilités de transition sont calculées à partir du module Markovien, qui à partir d'une paire d'images, analyse et produit deux matrices de probabilité de transition, dont l'une en pourcentage et l'autre en surface. En plus des tableaux, le module produit aussi un ensemble d'images de probabilité conditionnelle. Précisons que la matrice de probabilité de transition est un fichier texte qui détermine le nombre de pixels qui devraient changer à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation du sol à un horizon temporel donné. Dans une matrice, les lignes contiennent les données de l'ancienne image et les colonnes, celles de la dernière image. Les images de probabilités conditionnelles, quant à elles, déterminent la probabilité de chaque type d'occupation du sol à transiter vers chaque pixel à un horizon temporel bien défini. À partir de deux images en entrée du modèle, le module tente de projeter la probabilité de transition de chaque classe. L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans les tableaux ci-dessous.

2000 \ 2014	**Fd**	**Fc**	**Mg**	**Sa**	**Se**
Forêt dense	**0,704 7**	0,256 7	0,022	0,013 5	0,003 1
Forêt claire	0,251 6	**0,549 2**	0	0,199 2	0
Mangrove	0,021 2	0,036 1	**0,907 9**	0,026 3	0,008 4
Surface artificielle	0,010 3	0,245 7	0,080 4	**0,645 7**	0,017 8
Surface en eau	0,000 4	0	0,098 8	0,015 3	**0,885 5**

Tableau 29 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2025, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2014

2000 \ 2014	**Fd**	**Fc**	**Mg**	**Sa**	**Se**
Forêt dense	**0,610 3**	0,317 4	0,028 2	0,040 3	0,003 9
Forêt claire	0,313	**0,440 6**	0,002 8	0,243 1	0,000 6
Mangrove	0,031 1	0,050 5	**0,868 5**	0,037 8	0,012
Surface artificielle	0,041 1	0,297 5	0,108 8	**0,528 5**	0,024 2
Surface en eau	0,000 4	0,001 3	0,140 8	0,021	**0,836 5**

Tableau 30 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2014

2000 \ 2014	Fd	Fc	Mg	Sa	Se
Forêt dense	**0,465 1**	0,342 2	0,054 4	0,129 7	0,008 6
Forêt claire	0,334	**0,365 4**	0,047 4	0,243 7	0,009 5
Mangrove	0,070 8	0,094 2	**0,740 3**	0,071 3	0,023 3
Surface artificielle	0,151 3	0,302 4	0,161 8	**0,349 1**	0,035 4
Surface en eau	0,010 1	0,02	0,257 3	0,037 2	**0,675 4**

Tableau 31 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2014

Les matrices de probabilités réalisées indiquent pour chaque période (2025, 2030 et 2050), la proportion des surfaces des terres qui devraient changer dans le futur. Les données statistiques de chaque matrice montrent que les probabilités de transition des catégories d'occupation du sol varient d'une période à l'autre. Selon ces tableaux, la forêt dense connaitra une dynamique régressive avec notamment un taux de stabilité qui décroit entre 2025 et 2050. Il est passé de 70,47 % en 2025 à 61,03 % en 2030. En 2050, le taux de stabilité de cette catégorie sera de 46,51 %. La décroissance du taux de stabilité est aussi observable pour les forêts claires et les surfaces de mangrove. L'analyse de taux de stabilité est un indicateur important qui permet de déterminer la quantité des surfaces restante, donc les plus impactées.

Sur la base de ces probabilités de transitions, les cartes prédictives des changements de l'occupation ont été réalisées pour les horizons 2025, 2030 et 2050 (fig. 83 ; 84 ; 85). Ces cartes, ainsi que les données statistiques de chaque catégorie, sont présentées ci-dessous.

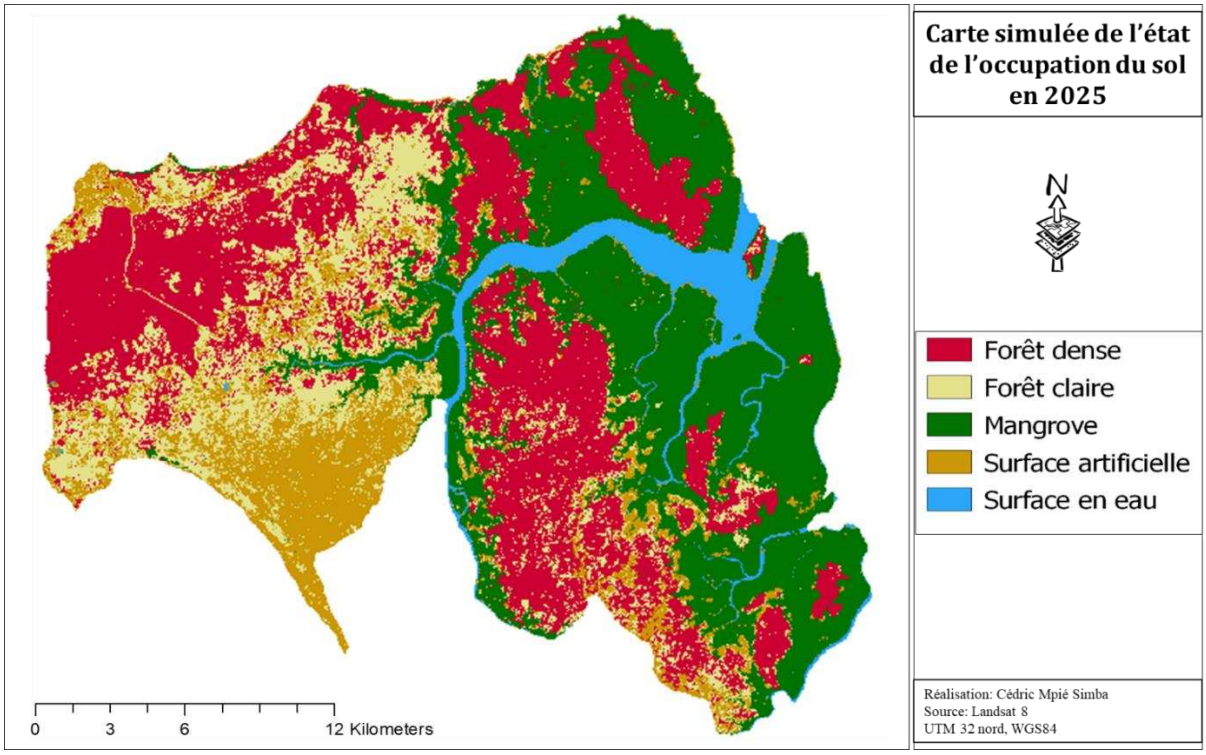


Figure 83 : Cartes prédictives de l'occupation du sol pour 2025, de la commune d'Akanda

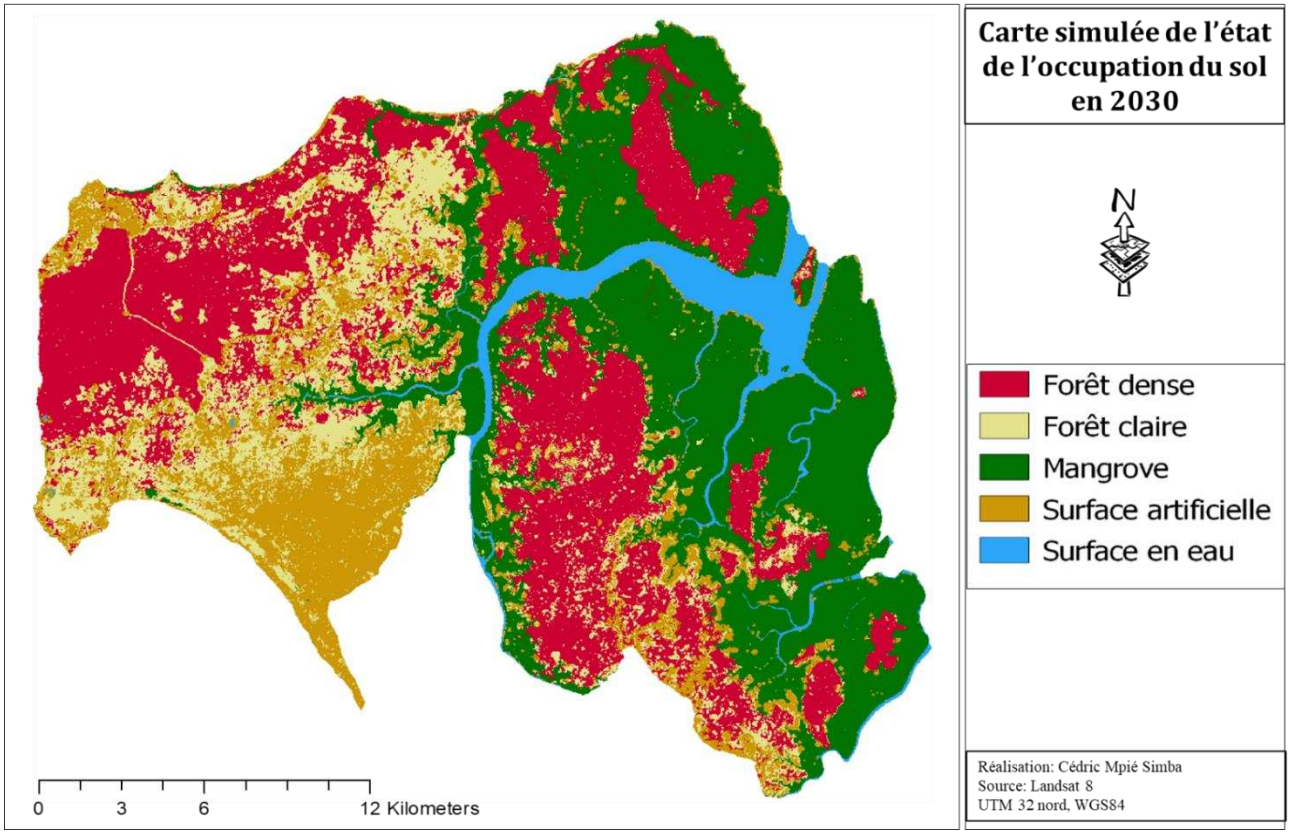


Figure 84 : Cartes prédictives de l'occupation du sol en 2030 de la commune d'Akanda

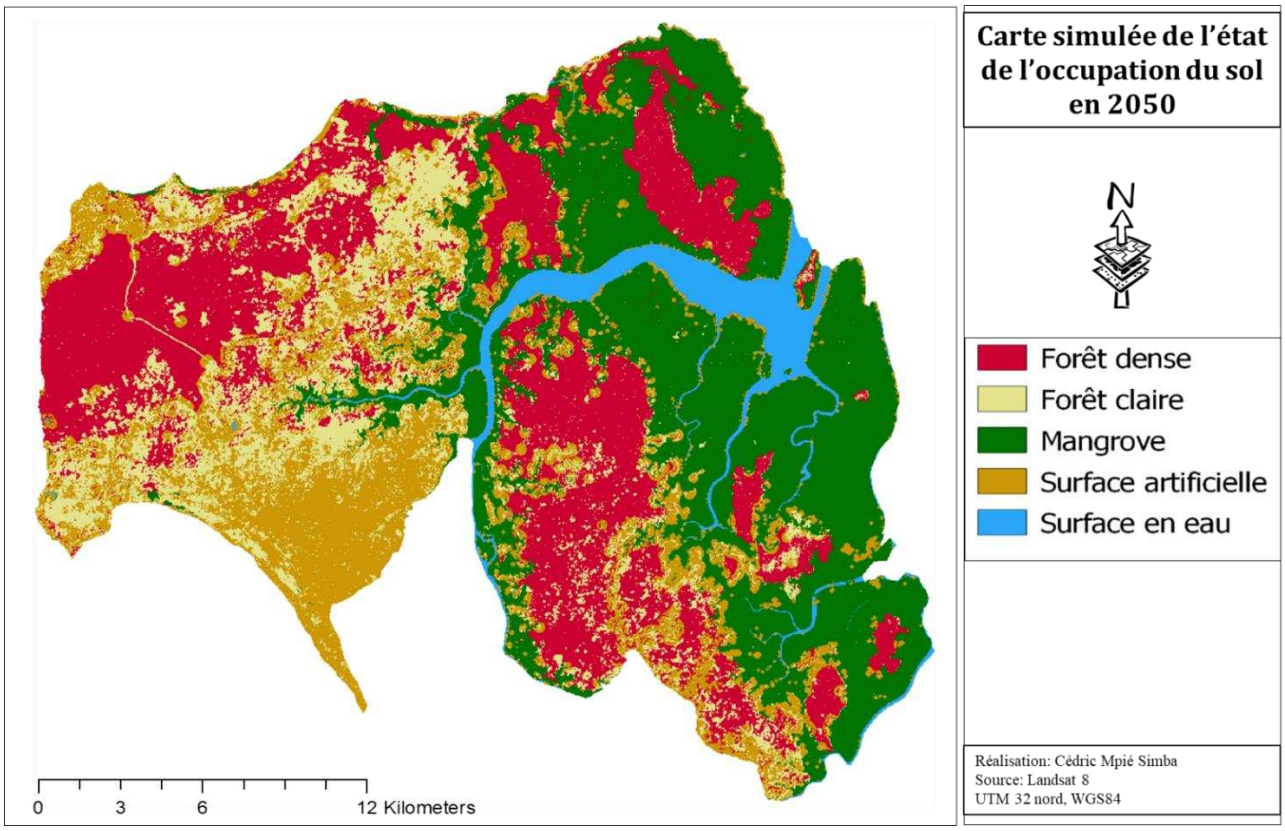


Figure 85 : Cartes prédictives de l'occupation du sol en 2050 de la commune d'Akanda

	2000	2014	2018	2025	2030	2050
Forêt dense	208,26	159,19	151,83	157,04	152,78	138,55
Forêt claire	57,64	99,10	90,01	79,36	75,01	74,95
Mangrove	164,14	155,44	163,08	151,35	149,56	144,36
Surface artificielle	18,79	35,53	38,76	61,86	72,39	92,26
Surface en eau	23,42	22,99	27,51	22,63	22,50	22,13
TOTAL	470,49	470,49	470,49	470,49	470,49	470,49

Tableau 32 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres (en km²) de 2000 à 2018 et pour les scénarios tendanciels 2025, 2030 et 2050.

Force est de constater que les dynamiques des changements d'occupation du sol de la commune d'Akanda pour les périodes 2025, 2030 et 2050 reflètent les tendances et les trajectoires passées. Elles se caractérisent par une évolution exponentielle du taux des surfaces artificielles suivant un gradient sud-nord. Les temps d'itérations ou la résolution temporelle semble jouer un rôle primordial dans la quantité des changements. Plus le temps est long, plus les changements spatiaux sont importants.

Pour l'ensemble des projections, la réduction des surfaces des écosystèmes forestiers va de pair avec l'augmentation des surfaces artificielles. Évoluant plus ou moins dans les mêmes proportions que la période 2000-2018, la dynamique des surfaces artificielles amplifie les dégradations des forêts. Cette trajectoire affectera aussi les zones protégées comme le parc Akanda et la forêt classée (ARW) qui perdra une grande surface de ses forêts. Dans le détail, il s'agit de la poursuite des dynamiques entamées entre 2000 et 2018, dont les principaux vecteurs sont le réseau routier, les zones d'activités villageoises et/ou les fronts pionniers. Effet, de 2025 à 2050, les dégradations et déforestations simulées sont marquées par une évolution de la tache anthropique dans la partie sud et sud-est de la forêt classée, tout au long de l'axe routier principal. Ce qui a pour conséquence le mitage des zones protégées.

Ce résultat va dans le sens de notre quatrième hypothèse selon laquelle : « *l'espace libre (non affecté) de la presqu'île est totalement consommé, les zones protégées et sensibles sont mitées* ». Les simulations montrent également des changements très importants dans le secteur sud-est de la commune d'Akanda. En 2018, ce secteur était principalement occupé par la forêt claire, avec quelques surfaces bâties distribuées en tache d'huile. Mais pour toutes les simulations, la forêt claire a progressivement fait place aux surfaces bâties. Ce résultat cadre parfaitement avec les données issues des probabilités de transitions des classes ou des facteurs de conversions. Ils montrent que la forêt claire est la catégorie la plus vulnérable face aux surfaces artificielles (suivi de la forêt dense et de la mangrove). Tout comme la zone nord, les changements observés au sud se localisent de part et d'autre de la route principale, dans un rayon de 1 à 4 km. Ce rayon correspond à la zone d'influence des activités (agriculture de transition, pêche, etc.) ou de localisation des fronts pionniers. Les projections réalisées selon le scénario tendanciel aux trois dates prédisent aussi des changements dans les surfaces de mangroves. Ici, il ne s'agit pas nécessairement du cadre bâti, car nous l'avons vue, cet

écosystème reste hostile à cette catégorie. L'immense partie des dégradations simulées dans cet écosystème concerne surtout les sols nus, la vase et les tanne.

Pour l'ensemble de la période considérée, on constate que la forêt dense évolue selon une dynamique régressive. Elle est passée de 208 km² en 2000 à 138 km² en 2050, avec comme transitions principales « *forêt dense vers forêt claire* » et « *forêt dense vers surface artificielle* ». Les surfaces de forêt claire progressent également, mais avec une forte fluctuation enregistrée entre 2014 et 2050. Un gain de surfaces de forêts claires traduit l'évolution du processus de dégradation forestière tandis qu'une diminution traduit soit une régénération, soit une déforestation. Quelle que soit la période, cette catégorie se transforme majoritairement en surface artificielle (94 %) et en forêt dense (6 %). La mangrove enregistre aussi une dynamique régressive, passant d'environ 164 km² en 2000 à environ 144 km² en 2050. Cette catégorie transite principalement vers les surfaces en eau (83 %) et les surfaces artificielles (4 %). Les surfaces artificielles connaissent une dynamique progressive avec un bond important enregistré entre 2018 et 2050. Dans l'ensemble, cette catégorie est passée d'environ 18 km² en 2000 à environ 92 km² en 2050. Cette catégorie colonise respectivement les forêts claires, les forêts denses et les mangroves.

Au regard de ce qui précède, on peut affirmer que le scénario tendanciel a prédit les changements futurs en fonction des données d'apprentissages. En effet, le modèle a reproduit les mêmes tendances et les mêmes trajectoires observées dans le passé (la situation réelle). La commune d'Akanda restera un territoire instable, dominé par les changements négatifs. Ce scénario montre que, quelle que soit l'année de prédiction (2025, 2030 et 2050), la zone enregistrera un fort taux de dégradation et de déforestation affectant une bonne partie des aires protégées.

Précisions qu'aucun changement n'a été enregistré dans les zones qui sont restées stables entre 2000 et 2018. Cela signifie que, bien que le scénario soit tendanciel, il ne définit pas les changements futurs au hasard. Il tient compte de la vraisemblance des résultats et de l'ensemble des données d'apprentissages, du poids de chaque facteur et des probabilités de transitions définies dans le sous-modèle. En outre, ce résultat montre surtout que les modèles sont distribués et spatialement intelligents.

Le scénario tendanciel a été construit autour du sous-modèle *Artificialisation.* Ce dernier prend en compte l'ensemble des transitions dont le processus aboutit à l'artificialisation du territoire. Dans le détail, il s'agit des phénomènes de déforestation, de dégradation forestière et de l'étalement du cadre bâti. Ce scénario n'intègre pas les éléments de contraintes comme les zones protégées, les surfaces non aedificandi, etc. Le but principal de ce scénario est de montrer quel serait l'état possible de l'occupation du sol si les dynamiques gardaient les mêmes trajectoires au cours des prochaines années. Pour le cas particulier de la presqu'île de Libreville, les facteurs entrainant les changements environnementaux et paysagers semblent enracinés le temps (qu'il soit court, moyen au long). L'épaisseur de ces facteurs ainsi que l'inscription dans l'espace et dans le temps des tendances et trajectoires des changements ont été appréhendées grâce à la connaissance des dynamiques passées. Si les tendances restent les mêmes, les écosystèmes forestiers sont

condamnés à une extinction progressive, avec un mitage des forêts protégées et donc une perte de la biodiversité. Les conséquences de l'évolution de processus de dégradation forestière et déforestation liée à l'évolution du cadre bâti auront donc des effets irréversibles sur ce territoire.

En somme, le modèle tendanciel a été obtenu à partir des probabilités de transitions issues des matrices de transition de l'occupation du sol de chaque période (2000-2018). Ces 18 années sont marquées par l'expansion des surfaces artificielles, notamment le cadre bâti au détriment des écosystèmes forestiers. Les changements prévus pour les 10, 15 et 30 prochaines années poursuivent de facto les mêmes tendances à l'urbanisation observées au cours de la période précédente. Le scénario tendanciel peut à juste titre être considéré comme étant un scénario désastreux pour la protection des écosystèmes naturels.

7.2.1.2. Le scénario d'encadrement

Le second scénario réalisé dans le cadre de la simulation prospective est un scénario dit d'encadrement. Tout comme le scénario tendanciel, il fait partie de la famille des scénarios exploratoire. S'il suppose la permanence et la prédominance des tendances lourdes, sa particularité est de faire varier les hypothèses concernant l'évolution des tendances. Son objectif est de proposer des alternatives aux projections tendancielles réalisées précédemment. Si la réalisation des scénarios tendanciels est assez aisée (notamment, par l'extrapolation des tendances observées dans le passé), en revanche, les scénarios d'encadrements sont plus difficiles à réaliser. Pour élaborer ce scénario, nous émettons plusieurs hypothèses, sur l'évolution possible du territoire, correspondant à des avenirs/états qui pourraient être envisagés. La mise en œuvre de ces hypothèses passe par l'introduction d'autres indices comme les facteurs de changement émergent ainsi que la variation de quelques curseurs qui permettent de « fabriquer » ou construire ces hypothèses.

Les hypothèses élaborées sont de deux ordres, se référant à deux dynamiques différentes. D'une part, elles sont d'abord basées sur les tendances lourdes (artificialisation) et d'autre part, ces hypothèses sont aussi construites sur la base des tendances faibles (régénération forestière). L'analyse de cette tendance faible permet d'introduire des hypothèses de rupture. Dans notre cas, une hypothèse de rupture permet d'analyser les conditions de développement de processus contraires à la déforestation et dégradation forestière. Elle permet, d'une part, d'analyser et, d'autre part, de faire varier (de façon extrême) les processus de restauration ou de régénération forestière dans l'analyse des tendances avenir. Plusieurs hypothèses ont donc été émises. Ces dernières sont libres, car elles n'existent dans aucun document d'urbanisme ou d'aménagement. Lors de nos différentes sorties de terrain, nous n'avons pas eu accès aux données des différents projets d'aménagement prévu dans la zone nord. Pour cette raison, les hypothèses émises ici sont purement expérimentales. Plusieurs hypothèses pouvant être un état possible du territoire ont été proposées. Le scénario (encadrement) est donc construit selon deux hypothèses :

H2 : *Une extension du cadre bâti et des surfaces artificielles exceptée dans les surfaces des forêts protégées.*

Rappelons qu'aujourd'hui, on assiste à une dégradation progressive autour et même à l'intérieur des zones de forêts protégées. Cette hypothèse (*H2*) suppose une continuité du processus d'anthropisation des écosystèmes naturels dans les espaces périphériques, mais sans incident dans les zones protégées. La réalisation de cette vision passe nécessairement par une application stricte des mesures de protection, c'est-à-dire une politique volontariste caractérisée par une interdiction de construction, et d'activités dans les limites des zones protégées. Au regard de l'évolution quasi exponentielle du cadre bâti, du niveau d'attraction et la prédation foncière dont faits face la zone d'étude, il semble très difficile, voir utopique de stopper la propagation de l'urbanisation et l'étalement du cadre bâti en périphérie. Toutefois, il est parfaitement possible de limiter et de stopper le mitage des zones protégées par les actions humaines. L'ensemble des transitions (le sous-modèle) permettant de mettre en œuvre cette hypothèse est présenté dans la figure 86.

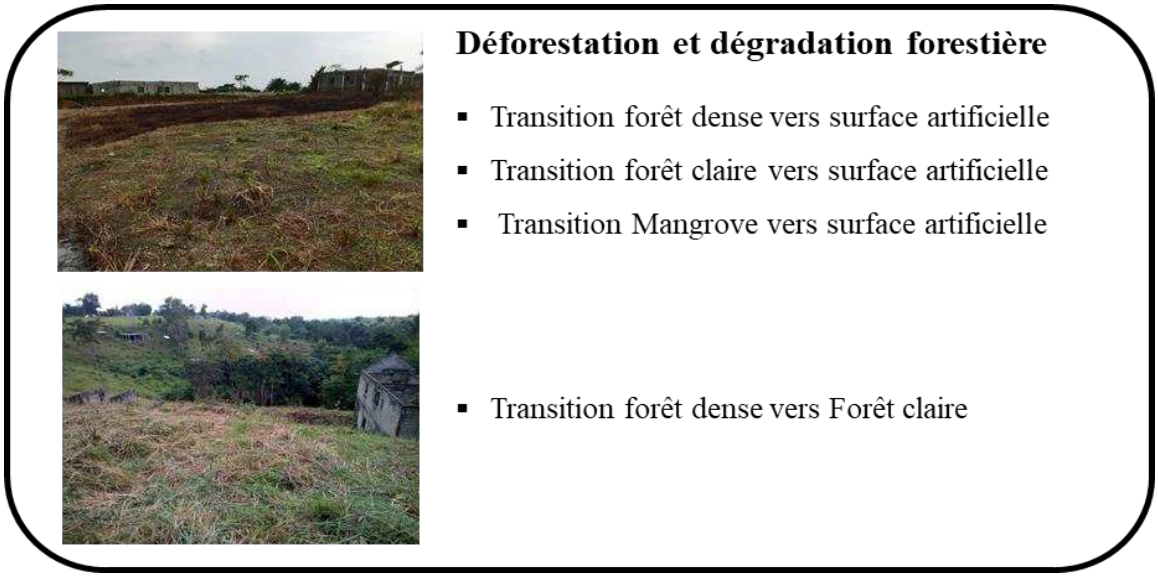


Figure 86 : Transitions impliquant les processus de déforestation et dégradation forestières

La spatialisation de ce scénario est faite grâce à l'analyse des chaînes de Markov et les données de probabilités de changements. À la différence du scénario tendanciel, celui-ci prend en compte les zones de *contraintes ou d'interdiction*. Ces fichiers sont transformés sous forme des cartes qui permettent de spécifier les contraintes pour chacune des transitions du modèle. Les cartes de contraintes réagissent selon une logique binaire, ou les surfaces ayant la valeur 0 sont considérées comme des zones de contraintes tandis que les zones ayant la valeur 1 ne sont pas des contraintes. Les valeurs inférieures 1, mais supérieurs à 0 agissent comme des éléments dissuasifs tandis que les valeurs supérieures à 1 agissent comme des incitations (Eastman et *al.,* 2005). Les matrices de probabilité de changements sont réalisées à partir des données de 2000 et 2018. À partir du sous-modèle de transition, le potentiel de changement attribué à chaque transition (catégorie) est déterminé. L'ensemble des probabilités conditionnelles et le potentiel de transition de chaque classe impliquant cette hypothèse sont réalisés et présentés dans la figure 87.

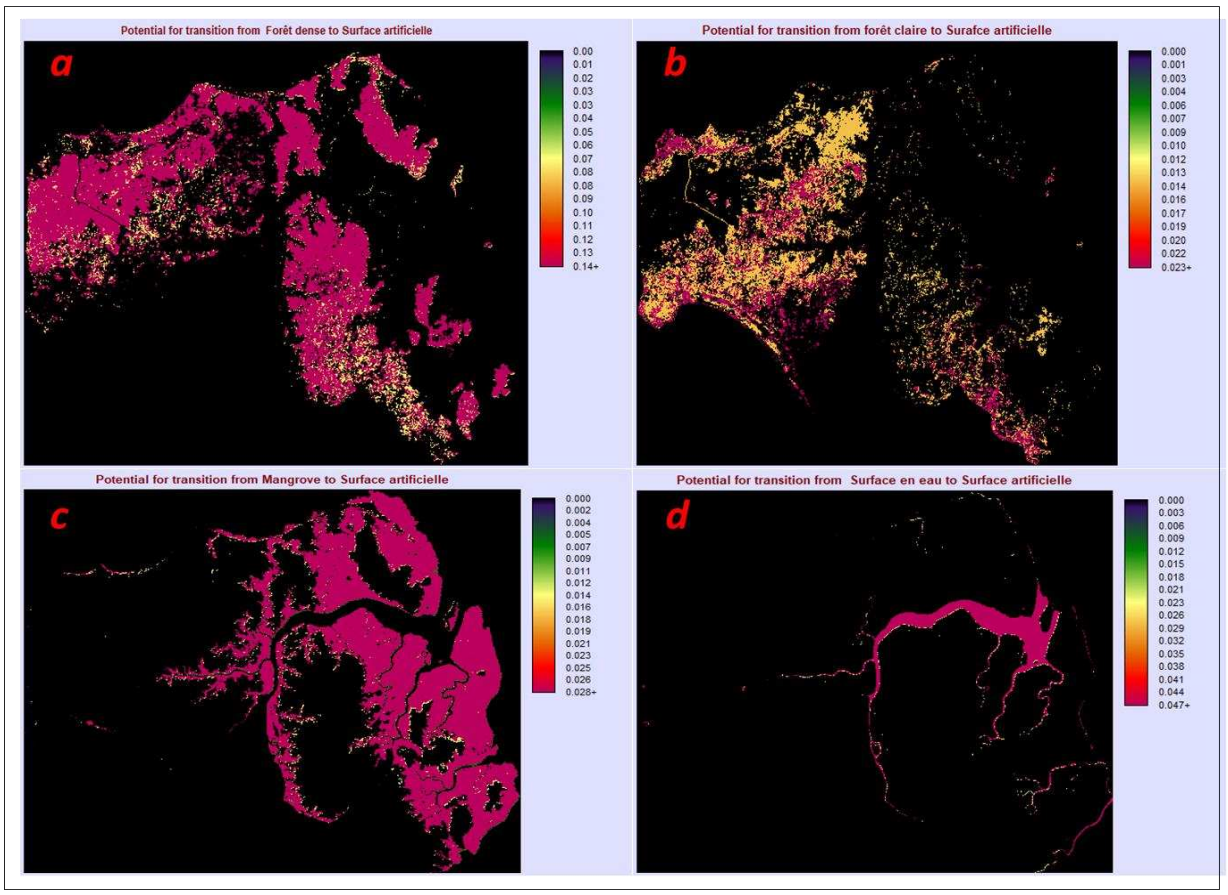


Figure 87 : Cartes de potentialité de transition des catégories d'occupation du sol à l'horizon 2030 (pour H2)

Les figures indiquent, pour chaque classe, les probabilités de transition vers la surface artificielle en 2030. L'analyse des probabilités conditionnelles pour chaque catégorie impliquée dans les transitions de l'hypothèse montre que la prévisibilité des changements n'est pas la même. Ces probabilités sont utilisées pour simuler l'occupation du sol sur deux dates (2030 et 2050). L'ensemble de ces données statistiques sont présentées dans les tableaux ci-après.

2000 \ 2018	Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Surface artificielle	Surface en eau
Forêt dense	**0,610 3**	0,317 4	0,028 2	0,040 3	0,003 9
Forêt claire	0,313	**0,440 6**	0,002 8	0,243 1	0,000 6
Mangrove	0,031 1	0,050 5	**0,868 5**	0,037 8	0,012
Surface artificielle	0,041 1	0,297 5	0,108 8	**0,528 5**	0,024 2
Surface en eau	0,000 4	0,001 3	0,140 8	0,021	**0,836 5**

Tableau 33 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2018

2000 \ 2018	Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Surface artificielle	Surface en eau
Forêt dense	**0,465 1**	0,342 2	0,054 4	0,129 7	0,008 6
Forêt claire	0,334	**0,365 4**	0,047 4	0,243 7	0,009 5
Mangrove	0,070 8	0,094 2	**0,740 3**	0,071 3	0,023 3
Surface artificielle	0,151 3	0,302 4	0,161 8	**0,349 1**	0,035 4
Surface en eau	0,010 1	0,02	0,257 3	0,037 2	**0,675 4**

Tableau 34 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2018

La combinaison des matrices de transition issue de cette hypothèse, des cartes de susceptibilité au changement de chaque catégorie ainsi que les facteurs explicatifs a permis d'obtenir les cartes prédictives de l'occupation du sol en 2030 et 2050. Les résultats statistiques de ces projections sont aussi présentés dans le tableau (36).

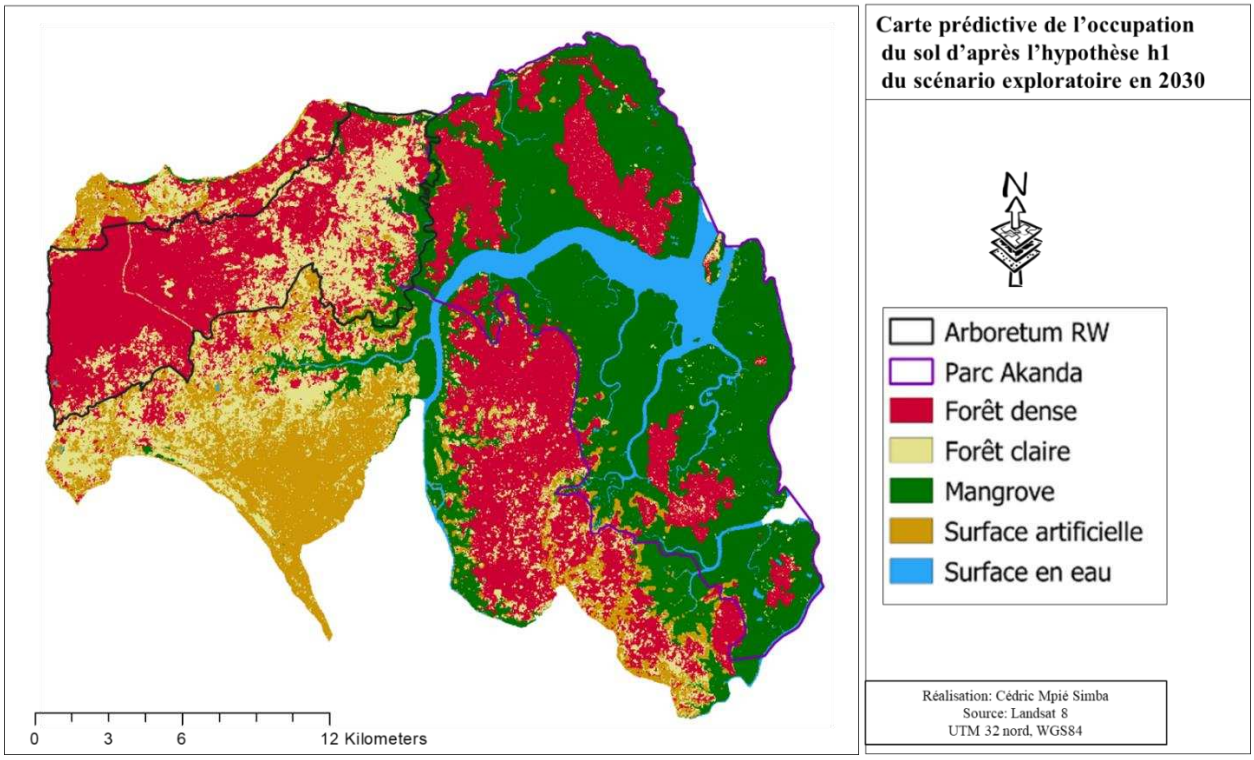


Figure 88 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h1 du scénario exploratoire pour la période 2030

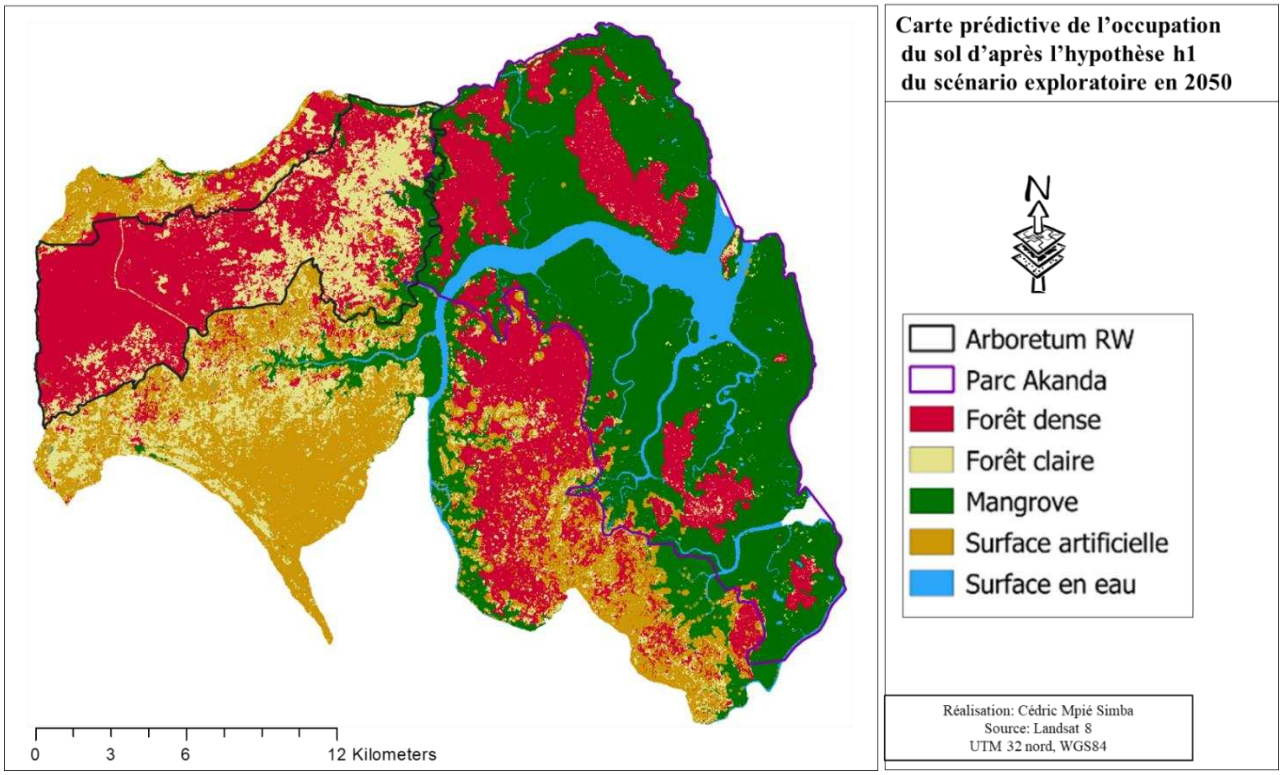


Figure 89 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h1 du scénario exploratoire pour la période 2050

Catégories	**2000**	**2014**	**2018**	**2030**	**2050**
Forêt dense	208,26	159,19	151,83	149,29	134,14
Forêt claire	57,64	99,10	90,01	68,15	63,31
Mangrove	164,14	155,44	163,08	161,68	159,31
Surface artificielle	18,79	35,53	38,76	64,19	86,571
Surface en eau	23,42	22,99	27,51	27,16	27,162 9
TOTAL	470,49	470,49	470,49	470,49	470,49

Tableau 35 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres de 2000 à 2018 et pour l'hypothèse 1 du scénario d'encadrement en 2030 et 2050

À la lecture des cartes projetées de 2030 et 2050 ainsi que des données du tableau 35, il ressort de cela que pour cette hypothèse, la forêt dense et la forêt claire perdent leur surface par rapport aux années de référence 2014 ou 2018. Ces deux catégories sont respectivement passées de 151,84 km² (en 2018) à 149,26 km² (en 2030) et 134,14 km² (en 2050). Ces changements représentent une perte ou diminution de 1,72 % (2030) et 11,24 % (2050) pour la forêt dense et 32,06 % (2030) et 7,64 % (2050) pour la forêt claire. La surface artificielle va connaitre une augmentation de 39,62 % (2030) et 25,87 % (2050). Elle est passée de 38,77 km² en 2018 à environ 64,19 (2030) et 86,57 (2050). Ici, la dynamique de cette classe à la même intensité et les mêmes trajectoires que le scénario de base. Précisons que le modèle a simulé avec efficacité les conditions de l'hypothèse 1. En effet, l'ensemble des catégories connait des dynamiques sauf à l'intérieur des zones de contraintes. Les écosystèmes forestiers des zones protégées y compris les

mangroves du parc Akanda sont restés stables en 2030 et 2050. Les changements opérés ici se localisent donc entièrement à l'extérieur des zones protégées. Pour les deux projections, la principale transition est le passage des forêts denses vers les surfaces artificielles, suivi des forêts claires vers les surfaces artificielles. Le temps joue un rôle très important dans la quantité des changements. L'étalement des surfaces artificielles s'amplifie au fil des années. Les surfaces de forêt dense, perceptible en 2030 au sud l'ARW et dans la zone sud-est, font progressivement place aux surfaces artificielles en 2050. Si à l'intérieur du parc Akanda les surfaces de mangrove restent stables par rapport à l'année de référence, elles enregistrent une perte importante à l'extérieur des limites du parc. Elle est passée de 161,69 km² en 2030 à environ 159,31 km² en 2050. Ainsi, dans cette hypothèse, la conversion des catégories d'occupation des terres ne se produit que pour les surfaces non assujetties à des contraintes.

Dans ce scénario, nous avons émis l'hypothèse que l'utilisation des terres est effectivement règlementée et que la politique de protection environnementale et d'interdiction d'activité est appliquée au cours de la période 2018-2050. Par conséquent, aucun changement n'a été simulé dans les zones de protection. Or cette dernière condition revêt un caractère invraisemblable et ne correspond à aucune réalité. En effet, si les dynamiques anthropiques sont absentes, les dynamiques naturelles quant à elles, sont à l'œuvre. Comme il est impossible que les surfaces des zones protégées gardent leur état de 2018 en 2030 et 2050, la seconde hypothèse de ce scénario a pour objectif de corriger cet état de fait. Elle permet de prendre en compte les dynamiques à l'intérieur des zones protégées. En effet, si les processus de dégradation et de déforestation ne sont pas possibles au cours de la période de prédiction, seuls les phénomènes de régénération ou reforestation peuvent se produire dans les zones d'intérêt. La deuxième hypothèse de ce scénario est :

H3 : *Une intensification des dynamiques d'autorestauration des écosystèmes forestiers dans les périmètres protégés et forestiers.*

Cette hypothèse est une alternative au processus de déforestation et de dégradation forestière. Elle s'intéresse aux conditions de développement des forêts, y compris à l'intérieur des surfaces protégées. Cette hypothèse a pour objectif de modéliser et simuler les processus d'autorégénération des écosystèmes forestiers de la commune d'Akanda. À terme, les images produites montreront comment les forêts recolonisent les espaces et a quelle intensité. Ces cartes illustrent l'évolution de la forêt laissée à ses propres dynamiques, sans intervention volontaire. Une comparaison sera faite pour analyser l'intensité de la régénération des forêts à l'intérieur et à l'extérieur des zones protégées. Ainsi, les données sur les transitions des changements d'occupation du sol entre 2000 et 2018 sont mises à profit pour déterminer le degré de changement d'une classe à une autre et analyser l'intensité des changements des catégories forestières. Les processus d'autorégénération sont évalués sur la base des transitions présentées dans la figure ci-dessous.

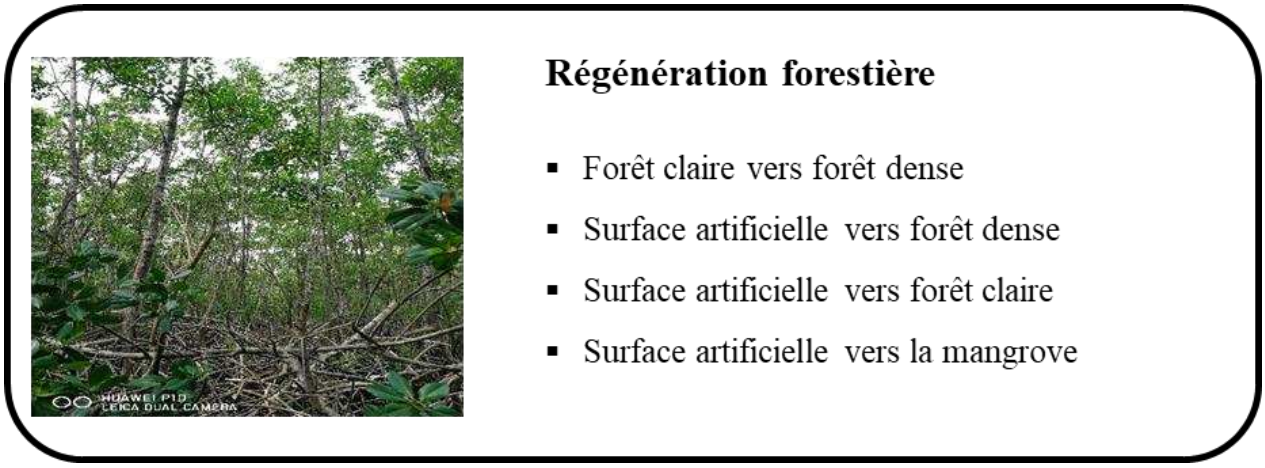


Figure 90 : Transition impliquant le processus d'autorégénération des écosystèmes forestiers

L'analyse des probabilités conditionnelles pour chaque catégorie impliquée dans les transitions de l'hypothèse *H2*, montre que la prévisibilité des changements n'est pas la même. Dans l'ensemble, la capacité d'autorégénération des écosystèmes forestiers des terres fermes et inondées reste très faible, comparativement aux processus de déforestation et dégradation forestières. À partir des transitions de la figure ci-dessus, les cartes du potentiel de régénération des forêts sont élaborées (fig. 88). Le potentiel de régénération le plus important concerne la transition forêt claire vers forêt dense (e). Le processus de régénération est donc essentiellement basé sur une redensification forestière. Aussi, quelques surfaces artificielles seront aussi recolonisées par la forêt dense, comme en témoigne les cartes (f) et les tableaux (35 et 36). Par ailleurs, le potentiel de régénération forestière demeure très faible pour les transitions surface artificielle vers forêt claire (g) et surface artificielle vers mangrove (h). En d'autres termes, ces données indiquent que la probabilité des surfaces de mangrove et des forêts claires à se rétablir reste très faible, au regard des données d'apprentissage. Cette analyse est confortée par les données statistiques issues des matrices des probabilités de transitions de chaque catégorie d'occupation du sol élaborée pour les périodes 2030 et 2050. L'ensemble de ces données est présenté dans le détail dans les tableaux ci-dessous. Ces probabilités sont utilisées pour simuler l'occupation du sol sur deux dates (2030 et 2050).

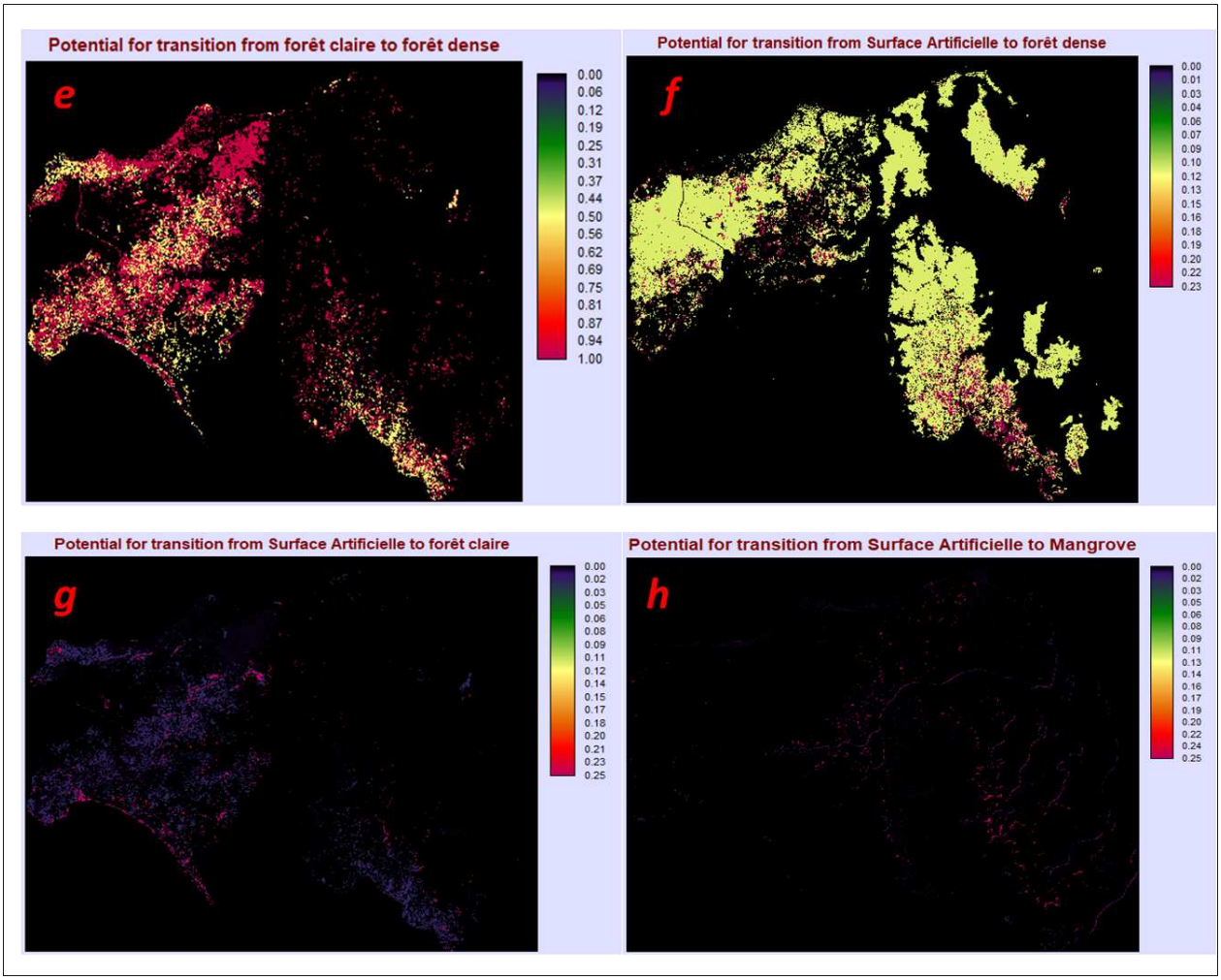


Figure 91 : Carte des potentialités de transition des catégories d'occupation du sol à l'horizon 2030 (pour H2)

2000 \ 2018	Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Surface artificielle	Surface en eau
Forêt dense	**0,711 4**	0,235 7	0,032 4	0,016 7	0,003 9
Forêt claire	0,208 7	**0,548 9**	0	0,242 5	0
Mangrove	0,018 6	0,014 6	**0,940 5**	0,008	0,018 3
Surface artificielle	0,011 5	0,202 1	0,116 2	**0,645 3**	0,024 9
Surface en eau	0	0	0,058 9	0,001 6	**0,939 6**

Tableau 36 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2018

2000 \ 2018	Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Surface artificielle	Surface en eau
Forêt dense	**0,499 5**	0,305 7	0,068 5	0,116 5	0,009 7
Forêt claire	0,277 2	**0,370 7**	0,047	0,296 4	0,008 6
Mangrove	0,042 4	0,035 6	**0,855**	0,022 6	0,044 4
Surface artificielle	0,088 9	0,243 6	0,212 5	**0,406 1**	0,048 9
Surface en eau	0,002 1	0,002 2	0,142 3	0,003 9	**0,849 6**

Tableau 37 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050, créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2018

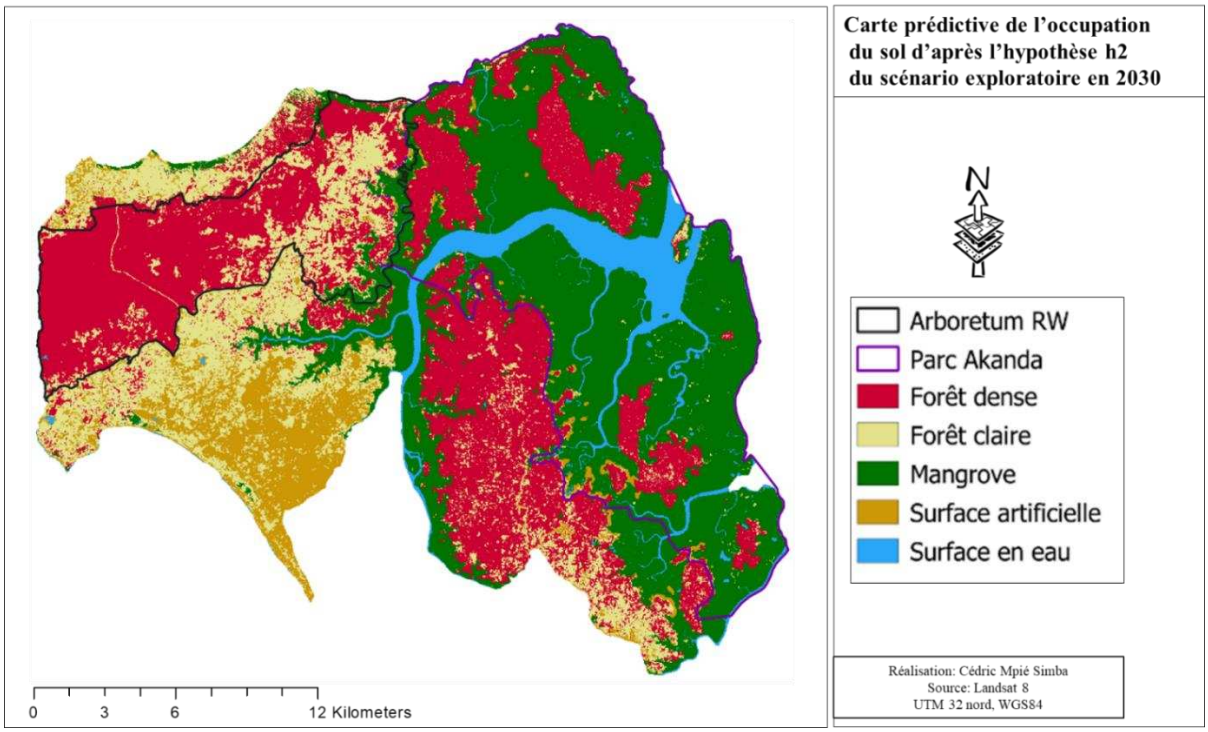


Figure 92 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h2 du scénario exploratoire pour la période 2030

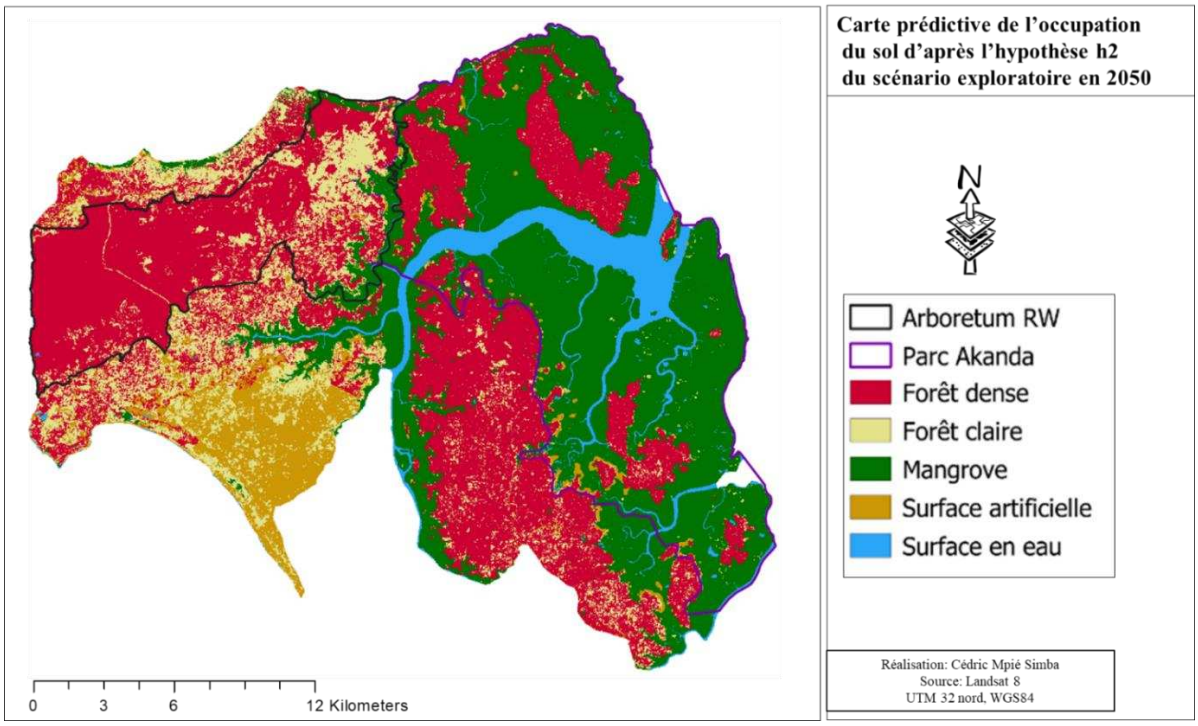


Figure 93 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h2 du scénario exploratoire pour la période 2050

Globalement, le modèle à bien simuler les conditions de l'hypothèse (H2). En 2030, les forêts claires commenceront à recoloniser les surfaces artificielles. Cette dynamique est perceptible à la fois à l'intérieur et hors des zones protégées. La tache anthropique, précédemment observable dans le périmètre protégé en 2018, disparaitra progressivement en 2030, au profit des forêts claires et denses. En 2050, les dynamiques d'autorégénération des forêts sont plus importantes. Les surfaces de forêts claires ont

tendance à se densifier à l'intérieur de l'arborétum, mais aussi à l'extérieur, dans le pourtour immédiat. Le temps semble avoir un impact dans la quantité des changements, comme pour le scénario tendanciel. Les données statistiques des classes d'occupation du sol pour cette hypothèse sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Catégories	**2000**	**2014**	**2018**	**2030**	**2050**
Forêt dense	208,26	159,19	151,83	157,05	162,03
Forêt claire	57,64	99,10	90,01	91,07	81,64
Mangrove	164,14	155,44	163,08	153,48	163,74
Surface artificielle	18,79	35,53	38,76	47,65	42,90
Surface en eau	23,42	22,99	27,51	22,98	22,32
TOTAL	470,49	470,49	470,49	470,49	470,49

Tableau 38 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres pour l'hypothèse 2 du scénario d'encadrement en 2030 et 2050

L'autorégénération des forêts est un processus lent et aux dynamiques faibles, au regard des résultats de la simulation de l'hypothèse *H2*. Ici, la forêt dense va connaitre une augmentation substantielle d'environ 5,21 km² entre 2014 et 2030. Cette dynamique est liée à une faible évolution des surfaces artificielles. En effet, en l'absence des dynamiques anthropiques, les écosystèmes forestiers ont tendance à progresser et à se densifier. C'est aussi le cas pour les écosystèmes de mangrove, qui vont enregistrer un gain de surface notamment en 2050 (tableau 39).

Les surfaces de forêt claire ont tendance à régresser notamment entre 2014 et 2050. Cette régression représente en réalité une densification des forêts claires. Elle est d'environ 8 km² entre 2018 et 2030 et de plus de 9 km² entre 2030 et 2050. Le processus de densification forestière est le plus important de l'hypothèse h2. L'analyse comparative des deux cartes simulées (2030 et 2050) montre une importante densification forestière à l'extérieur du parc Akanda en 2050. Cette densification est aussi observable à l'intérieur du parc, particulièrement au sud-est. Les surfaces de forêts claires en 2030 font progressivement place aux forêts denses en 2050. Ce phénomène est aussi observable au nord de la commune d'Akanda (notamment au Cap Estérias). L'hypothèse *h2* de ce scénario montre qu'en réalité, l'autorégénération des forêts de la zone d'Akanda est forte. Mais ce processus est souvent stoppé par les activités humaines. Les dynamiques de régénération des forêts n'arrivent donc pas souvent à leur terme et par conséquent sont très peu identifiables. L'étalement du cadre bâti, les activités agricoles de transition sont les principales causes de la faible capacité d'autorégénération des forêts. Les écosystèmes forestiers des zones périurbaines de Libreville appellent tout d'abord un renforcement des mesures de protection spécifiques et adaptées. En l'absence de ces dernières, les risques de dégradation et de déforestation restent très élevés comme le démontrent les cartes projetées de l'occupation du sol en 2025, 2030 et 2050. Au grand remord, les zones protégées du nord de Libreville ne pas exception de territoires de déforestation et de dégradation forestière d'origine anthropique.

7.2.2. Validation des cartes simulées de l'occupation du sol

7.2.2.1. Évaluation de la précision des cartes

La validation des résultats de la simulation est un processus qui permet d'évaluer la précision des cartes d'occupation du sol prédites. Cette précision met en évidence la capacité du modèle à projeter vraisemblablement les changements possibles.

Dans *Land Change Modeler*, cette évaluation se fait par comparaison entre une carte de la situation réelle et une carte de prédites de la même date. C'est la méthode de validation sur une période passée. Des simulations ont été réalisées sur les périodes de 2025, 2030 et 2050. Pour des raisons de synthèse, la validation se fera pour la période 2018. La comparaison se fera donc entre la carte réelle d'occupation du sol de 2018 et une carte prédite de 2018 (sur la base des changements opérés entre 2000 et 2014). Dans le détail, LCM va procéder à un croisement entre trois tableaux de données d'occupation du sol. En plus de la carte de la situation réelle et la carte simulée de 2018, une carte d'occupation du sol à une date passée est aussi nécessaire. Pour ce faire, la carte de 2014, dernière date connue avant 2018, est utilisée.

Le résultat de ce croisement est une image qui illustre pour chaque transition la précision des résultats de la simulation. La précision de la simulation du sous-modèle « Artificialisation », principal facteur de dégradation et de déforestation), est réalisée. Elle consiste à comparer l'étalement des surfaces artificielles réelles et simulées pour l'année 2018 à l'échelle de la commune d'Akanda. Les résultats de cette évaluation sont présentés dans la figure ci-dessous.

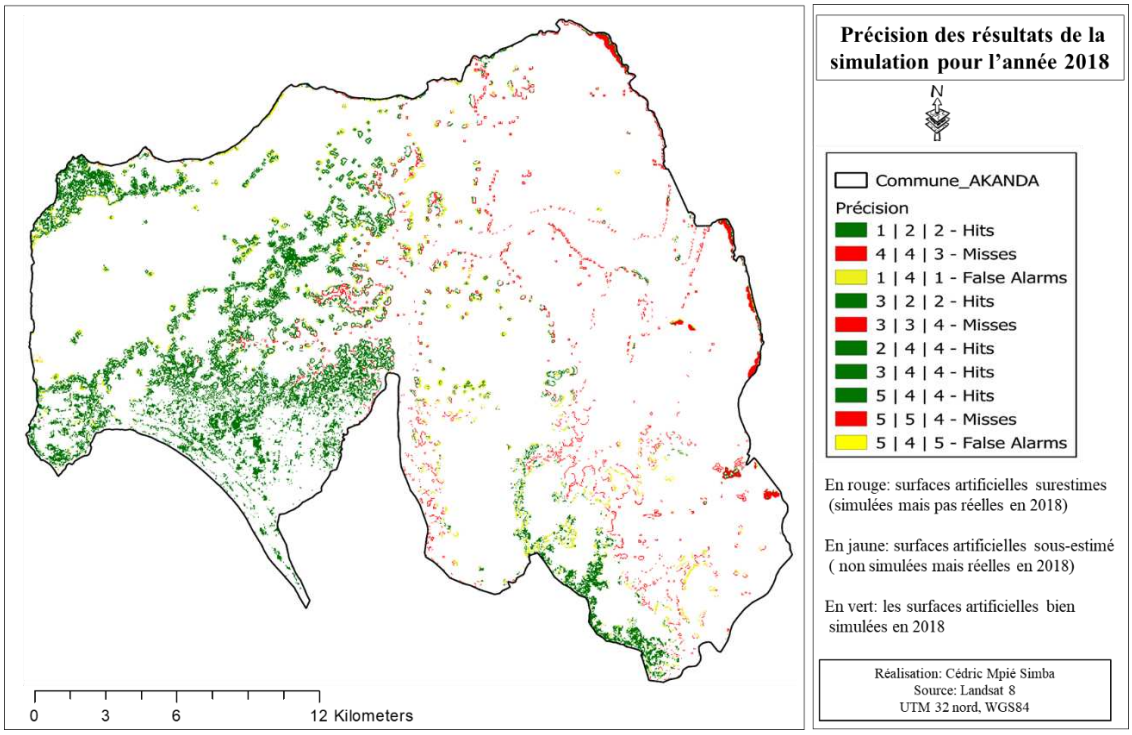


Figure 94 : Comparaison de l'étalement des surfaces artificielles réelles et simulées pour l'année 2018 à l'échelle de la commune d'Akanda

Les résultats montrent que dans l'ensemble, le modèle a bien simulé les dynamiques d'artificialisation des terres de la commune d'Akanda, comme en témoignent les surfaces en vert (fig.94). L'ensemble des surfaces (les autres classes d'occupation du sol) qui se sont réellement transformées en zone artificielle en 2018 ont été bien simulées. Les transitions ayant une forte susceptibilité aux changements correspondent bel et bien aux surfaces bien simulées. Il s'agit principalement du passage *forêt dense vers forêt claire* (1 | 2 | 2). C'est-à-dire les surfaces de forêts denses de 2014 (1) qui se sont réellement transformées en forêt claire en 2018 (2) et qui ont été bien simulées pour l'année 2018 (2). 2 | 4 | 4, représente donc les surfaces de forêts claires de 2014 (2) qui se sont réellement transformées en surface artificielle en 2018 (4) et qui ont été bien simulées en 2018 (4).

Par ailleurs, les résultats de la simulation indiquent également des erreurs de sous-estimation et de surestimation de la quantité des changements. Les erreurs de surestimation (en rouge) représentent l'ensemble des surfaces simulées en 2018, mais qui ne figurent pas sur la carte de la situation réelle de 2018. Cette surestimation concerne principalement les transitions entre les surfaces artificielles et la mangrove (3 | 3 | 4), mais aussi les transitions entre les surfaces en eau et la surface artificielles (5 | 5 | 4). En effet, certaines surfaces de mangrove de 2014 (3) qui sont restées stables en 2018 (3) ont été transformées en surfaces artificielles dans la simulation de 2018 (4), soit 3 | 3 | 4. Ce qui a, pour conséquence, une surestimation des surfaces artificielles dans la simulation de l'occupation du sol de 2018. Ce constat est le même pour les surfaces en eau. Dans la réalité, et nous l'avons démontré, les interactions entre les surfaces artificielles, les mangroves et les cours d'eau restent très faible.

Les erreurs de sous-estimation (en jaune) concernent les surfaces artificielles qui figurent sur la carte de la situation réelle, mais qui n'ont pas été simulées en 2018. C'est le cas de la transition 1 | 4 | 1, c'est-à-dire que les surfaces de forêts denses de 2014 (1) qui sont réellement transformées en surfaces artificielles en 2018 (4) sont restées des forêts denses dans la simulation de 2018 (1). La sous-estimation concerne aussi les interactions entre les surfaces en eau et les surfaces artificielles (5 | 4 | 5).

Les résultats mesurés pour chacune des transitions bien simulées semblent satisfaisants. La précision globale de la simulation des surfaces artificielles en 2018 est de l'ordre de 82 %. Ceci signifie que la spatialisation des changements ou leur localisation est bonne. De ce résultat, nous pouvons tirer plusieurs conclusions :

- Les facteurs de spatialisation ou les facteurs explicatifs de changements retenus et leur niveau de corrélation respectif sont assez adaptés pour simuler avec une bonne précision le processus d'artificialisation des terres de la commune d'Akanda.
- Les changements simulés dans la commune d'Akanda entre 2025, 2030 et 2025, suivent la même logique que ceux observés dans la situation réelle (2000-2014 ; 2014-2018 ; 2000-2018).
- Le modèle semble plus adapter pour les dynamiques linéaires et exponentielles et reste néanmoins peu performant pour simuler les tendances de fluctuation. En effet, les données d'apprentissage

(2000,201 4 et 2018) montrent que les surfaces artificielles augmentent de manière linéaire et exponentielle (une tendance progressive continue), au détriment des forêts denses et claires. Ici, la quantité des changements s'amplifie avec l'horizon temporel. La simulation de ces dynamiques à produit des résultats satisfaisants. Par ailleurs, certaines catégories sont marquées par une tendance de fluctuation de la quantité des changements caractérisée par les dynamiques de progression et régression de surface entre 2000-2014 et 2014-2018. Ici, la simulation des changements reste peu performante. Les catégories parquées par cette dynamique correspondent en majorité aux surfaces surestimées. Au regard de la figure 94, on peut constater qu'il s'agit majoritairement des surfaces de mangrove. Malgré ses erreurs de surestimation, LCM reste néanmoins très intéressant pour projeter les évolutions plausibles.

Dans l'ensemble, le processus de simulation permet d'appréhender les changements globaux et les mêmes trajectoires entre l'occupation du sol réelle et simulée de 2018. La matrice de probabilité des transitions des catégories de l'occupation du sol déterminée pour 2018 confirme cette conclusion. On peut donc affirmer qu'ici, la résolution temporelle est un facteur déterminant et que les temps d'itinérance jouent sur la quantité des changements.

La comparaison des deux résultats montre que le modèle amplifie les résultats, notamment, ceux des surfaces artificielles, avec une surestimation de l'ordre de 14 km². Toutefois, tous les changements qui se sont réellement opérés en 2018 ont été bien représentés par la simulation. Cela peut signifier que dans la zone d'étude, les changements d'occupation du sol obéissent à des logiques ou pratiques qui sont constantes, récurrentes et qui peuvent dans une moindre mesure se représenter de manière linéaire.

Catégories	Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Surface artificielle	Surface en eau
Forêt dense	**0,810 4**	0,176 3	0,011 6	0	0,001 7
Forêt claire	0,191 9	**0,649**	0	0,159 2	0
Mangrove	0,006 1	0,016 3	**0,963 5**	0,010 6	0,003 4
Surface artificielle	0	0,173 6	0,039 7	**0,777 9**	0,008 8
Surface en eau	0,000 1	0	0,037 7	0,007 4	**0,954 8**

Tableau 39 : Matrice de probabilité de transition des classes d'occupation du sol en 2018. Source : Probabilité créée sur la base des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2014

En 2018, les surfaces artificielles réelles couvrent une superficie de 38,76 km² alors que les données projetées l'estiment à 51,37 km², soit une surestimation de plus de 12,61 km² (tableau 40). Celle-ci représente une marge d'erreur de 2,68 %. Malgré cette erreur, les surfaces artificielles projetées sont à plus de 90 % concordantes à la réalité. La forêt dense semble être très bien représentée, car entre les deux cartes, les surfaces surestimées sont d'environ 7,36 km², soit une erreur de 1,56 %. En effet, sur la carte réelle de 2018, cette catégorie couvre une surface de 151,83 km² alors que dans la carte simulée, la surface est de 159,19 km². Le reste des catégories d'occupation des terres a été sous-estimé.

La mangrove est la catégorie qui présente les statistiques de sous-estimation le plus fort. Entre les deux cartes, l'écart entre surface réelle et surfaces simulées est d'environ -9,29 km² soit un taux de 1,19 %. La simulation de cette catégorie est donc concordante à plus de 90 %. En 2018, cette catégorie occupe une surface de 163,08 km² alors que dans la carte simulée, elle est de 153,79 km² Par ailleurs, les surfaces de forêts sont elles aussi sous-estimées soit -6,68 km, ce qui représente un taux de 1,42 %. En effet, en 2018, la carte réelle de l'occupation du sol indique que cette catégorie couvre 90,01 km², alors que la carte simulée l'estime à 83,33 km². Cette tendance est la même pour les surfaces en eau, dont la différence entre les deux cartes demeure d'environ 4,70 km², soit un plus de 0,99 % de cette classe. Cette analyse statistique entre carte réelle et carte simulée permet aussi de mettre en évidence la précision de la simulation. Les données statistiques (tableau 40) ainsi que les cartes simulées pour la période 2018 (fig. 95) sont présentées ci-dessous.

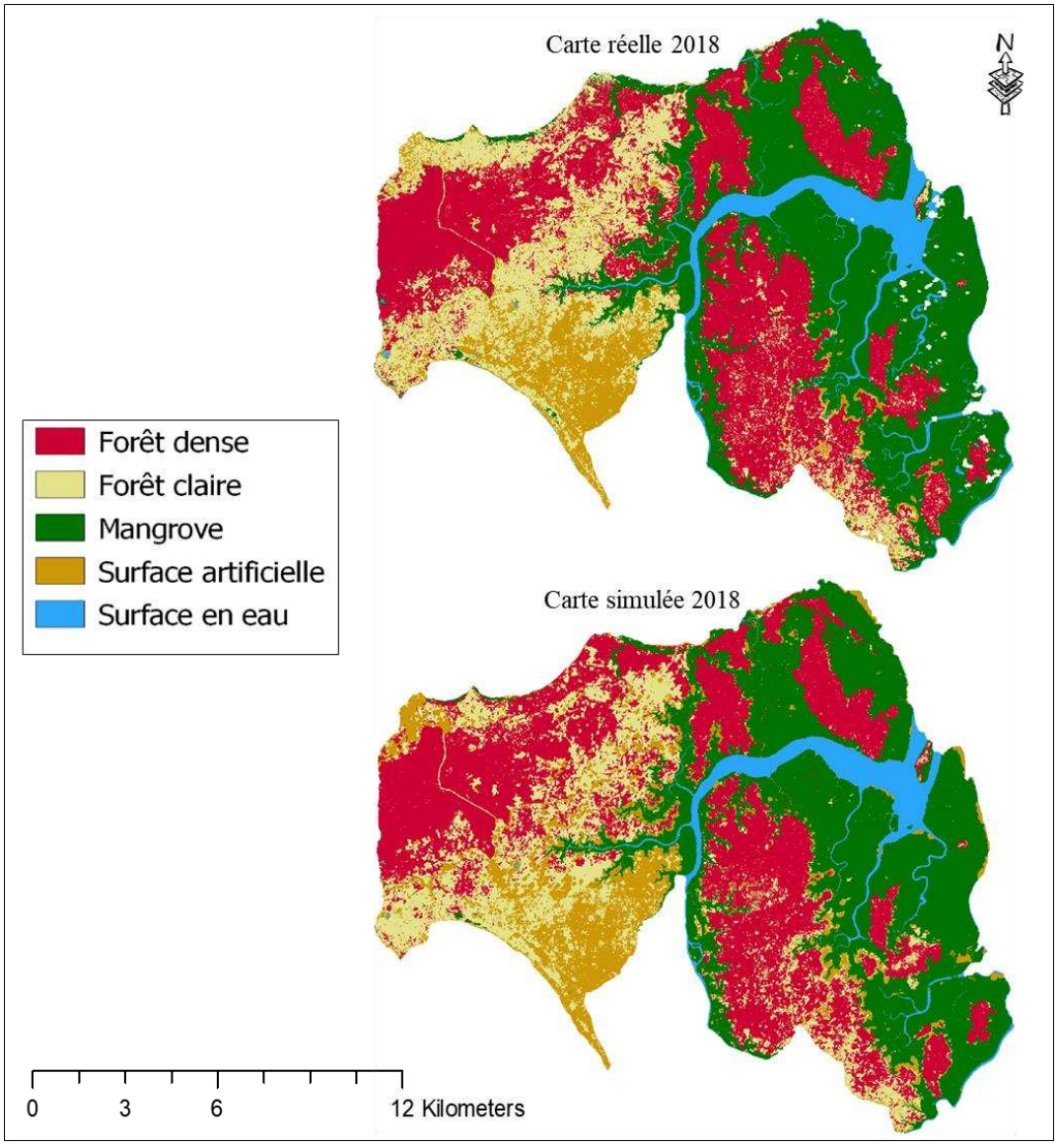


Figure 95 : Comparaison de l'état d'occupation du sol réel et simulé en 2018. Source : Simulation construite à partir des données Landsat 2000-2014 et comparaison avec les données réelles Landsat, 2018

	2018, occupation réelle		2018 simulée		Différence	
CLASSES	Surfaces		surfaces		surfaces	
	km²	%	km²	%	km²	%
Forêt dense	151,83	32,27	159,19	33,83	+7,36	+1,56
Forêt claire	90,01	19,13	83,33	17,71	-6,68	-1,42
Mangrove	163,08	34,66	153,79	32,69	-9,29	-2,06
Surface artificielle	38,76	8,24	51,37	10,92	+12,61	+2,68
Surface en eau	26,81	5,70	22,81	4,85	-4,70	-0,99
TOTAL	470,49	100	470,49	100	-	-

Tableau 40 : Données statistiques de l'occupation du sol réelle et simulée de 2018

À l'observation, on constate que dans la carte réelle de 2018, la zone nord (cap Estérias) est dominée par la forêt claire alors que dans la carte simulée, ces forêts claires ont fait place à au cadre bâti (fig.95). Aussi, à l'intérieur de l'ARW, la tache anthropique est supérieure dans la carte simulée par rapport à la carte réelle de 2018. Ce qui provoque la surestimation de cette catégorie. Vers le nord de la zone d'étude, les limites du parc semblent être un frein à la progression des surfaces artificielles. Seuls les espaces de forêt peu dense déjà présents depuis 2014 poursuivent leur mutation. Dans l'ensemble, le niveau de coïncidence entre les cartes réelles et les cartes projetées est satisfaisant.

Précisons à toutes fins utiles que les prédictions sont réalisées ici suivant une approche probabiliste et non déterministe. En d'autres termes, les cartes d'occupation du sol simulées ne sont pas le territoire, mais un état possible du territoire si, et seulement si, les dynamiques évoluaient dans le sens de notre hypothèse de départ (les dynamiques observées se poursuivaient avec plus ou moins la même intensité).

7.2.2.2. Les limites

Tout comme la création des cartes d'occupation du sol par télédétection, l'élaboration des cartes simulées d'occupation du sol comporte quelques limites. Ces limites sont liées à la fois aux modèles et aux données utilisées. En effet, le modèle et les simulations réalisées sont entièrement dépendants des dynamiques passées et ne prennent pas en compte les situations de rupture (bien que dans la zone d'étude les situations de rupture soient très faiblement représentées et identifiables). Dans l'ensemble, et, quelque soit l'horizon temporel, les catégories d'occupation du sol poursuivent les mêmes dynamiques et trajectoires que dans le passé. Les matrices de probabilité de changement ainsi que les cartes projetées ont tendance à prolonger les dynamiques passées. Les scénarios exploratoires, basés essentiellement sur les projections tendancielles, laissent peu de marge à la prise en compte de nouveaux facteurs et même à une possible augmentation ou baisse du poids des facteurs de changements retenus. Dans ces conditions, LCM est plus apte à ne reproduire que les continuités des trajectoires passées. Aussi, le modèle a tendance à exacerber la quantité des changements, qui elle dépend des cartes d'occupation du sol, mais aussi des méthodes utilisées pour

prédire les changements. Les méthodes retenues (Chaîne de Markov, Perceptron Multicouche) sont plus adaptées pour prédire les dynamiques tendancielles que des évolutions contrastées.

Par ailleurs, les résultats des simulations sont fortement dépendants de la qualité des données utilisées et, par conséquent, de la précision des cartes d'occupation du sol. D'abord, la résolution des images satellitaires utilisées (30 m) semble être une limite, car, elle ne permet pas une identification fine des entités d'occupation du sol et a un impact non négligeable sur la précision des cartes. La présence des nuages joue aussi sur la qualité des cartes et peut entrainer quelques erreurs d'identification des objets spatiaux. En outre, certains facteurs explicatifs des changements n'ont pas été pris en compte dans le processus de simulation. Seuls les facteurs quantifiables et spatialisables l'ont été.

Conclusion du chapitre 7

Ce chapitre avait pour objectif, la modélisation et la simulation des changements futurs d'occupation. Basées sur la famille des scénarios exploratoires, le but de ces simulations était de constituer des éléments d'aide à l'analyse des risques de dégradation des écosystèmes naturels par les actions anthropiques. Dans un premier temps, les sous-modèles décrivant les dynamiques à modéliser ont été produits et, leur transition quantifiée. Les probabilités de transition de chaque catégorie d'occupation du sol ont été calculées et ont servi de base pour la simulation. S'en est suivi, la construction de scénario basé sur trois hypothèses et suivant une approche prospective.

Les résultats produits ont permis de mettre en évidence (i) les surfaces ou entités d'occupation du sol qui ont une forte probabilité de connaitre des changements (ii) d'identifier ou localisée les futures zones (surfaces) de changements ainsi que (iii) les temporalités. Les résultats obtenus sont vraisemblables et reflètent ceux des dynamiques passées. En effet, les données statistiques montrent que les probabilités de continuité des dynamiques passée restent très élevées. Les cartes de 2025, 2030 et 2050 sont caractérisées par une artificialisation des terres très important qui atteint et mite les aires protégées. Les projections dans leur ensemble montrent que les écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville sont progressivement en voie d'extinction au profit du cadre bâti. Elles confirment le processus de transformation des paysages ruraux en paysages urbains. Cette trajectoire semble avoir des effets néfastes à la fois pour l'environnement (aires protégées) et la société. Ainsi, une analyse des impacts des changements est réalisée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 8

IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE

CHAPITRE 8 : IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE

Les impacts des changements d'occupation et d'utilisation du sol sur l'environnement ont fait l'objet de beaucoup de recherches en géographie (Mertens et Lambin, 2000 ; Lambin et *al.,* 2003) ; et l'Afrique est largement documentée à ce sujet (Bamba, 2010 ; Oloukoi et *al.,* 2007). S'il est vrai que les changements d'occupation et d'utilisation du sol induisent des bénéfices sociaux et économiques, toutefois, leur développement au niveau local est responsable de dégradations (écologiques) à toutes les échelles spatiales (Davrache A. ; Taïbi Nuscia A., 2015). Les dégradations ou impacts liés aux changements d'occupation et d'utilisation du sol sont souvent irréversibles, car ils transforment de façon radicale l'environnement et la société : c'est le cas des zones périphériques de la presqu'île de Libreville.

L'analyse des impacts socio-environnementaux liés aux changements d'occupation d'usage des sols sera faite à une échelle locale. Il s'agit d'analyser les répercussions liées à la protection des forêts et à la dégradation forestière ou la déforestation dans ce territoire sur le plan social. En effet, dans le cas du territoire nord de Libreville, le changement de la structure du paysage et d'utilisation du sol semble avoir des impacts directs sur la vie des populations autochtones. Ce territoire fait l'objet d'un double enjeu : d'une part, assurer la protection d'un écosystème forestier riche, pour garantir ainsi la préservation des espèces et l'équilibre environnemental et d'autre part, garantir la vie des populations qui y vivent et tirent profit (approvisionnement) de ces forêts (désormais protégées). Ces populations se retrouvent aujourd'hui prises en étau entre la protection des forêts et l'étalement urbain. Dans un premier temps, nous analyserons les impacts environnementaux causés par l'artificialisation des terres dans les aires protégées (forêt classée et le parc Akanda). Puis, l'analyse des impacts sociaux consistera à étudier les effets combinés de la protection des forêts et de la déforestation/dégradation forestière sur les populations autochtones.

8.1. Impacts liés à l'intensification du processus d'artificialisation des terres à l'échelle locale

Les surfaces périphériques forestières et semi-forestières de la presqu'île de Libreville sont aujourd'hui profondément transformées par les actions humaines. Les changements d'occupation du sol, qui s'y opèrent, affectent très rapidement l'état des écosystèmes forestiers. Les pratiques telles que le défrichage lié à *l'agriculture de transition* et surtout l'étalement du cadre bâti ont contribué à modifier la structure spatiale du paysage par la réduction des forêts, affectant ainsi directement la vie des populations autochtones par la raréfaction des ressources et des services écosystémiques.

La zone nord de Libreville, particulièrement la commune d'Akanda est un territoire à enjeux qui abrite deux aires protégées. On y retrouve la forêt classée dite Arborétum Raponda Walker (AWR) et le parc National Akanda (PNA). C'est aussi une zone résidentielle qui abrite d'anciens villages et leurs zones

d'activités. Certains de ces espaces ruraux ont déjà été transformés (Agondjé, Avorobam, premier campement) ou sont en cours de transformation en espaces urbains (Cap Estérias, Cap Santa Clara, Bolokoboué, Ivinda, Malibé, etc.). Les dégradations en cours et futurs subies par ces territoires ont été illustrées dans les chapitres précédents. Dans l'ensemble, sa surface forestière se réduit, sous l'effet de l'étalement du bâti et des activités connexes. Précisons que les impacts qui sont étudiés ici concernent uniquement les populations autochtones qui vivent dans ces espaces et qui se retrouvent aujourd'hui prises en étau, entre l'extension du cadre bâti et les politiques de protection des forêts.

8.1.1. Impacts environnementaux des scénarios et des changements sur les paysages

Pour éviter une répétition des conséquences ou impacts déjà évoqués dans les chapitres précédents, l'analyse des impacts de scénarios sur le paysage, se fera à travers l'identification des phénomènes émergents ou en développement dont, les effets étaient déjà visibles et ont contribués aux changements observés. L'observation fine des résultats du scénario tendanciel permet d'identifier des zones de pressions. Ces derniers sont caractérisés par un taux de surface artificielle très important. Ainsi, les fronts de pressions et l'évolution de l'artificialisation dans les zones protégées sont utilisés pour l'analyse des impacts sur l'environnement.

8.1.1.1. La progression des fronts de pressions

Le scénario tendanciel met en avant une augmentation importante des surfaces artificielles qui contribuent à l'altération et dégradation des écosystèmes forestiers. La maitrise de la consommation foncière et la lutte contre l'étalement du bâti constituent, de ce faite, une priorité pour la protection de l'environnement et des espaces naturels dans la presqu'île de Libreville. C'est ce que mettent en évidence les simulations spatiales réalisées et l'analyse des dynamiques passées. Les changements réellement observés ainsi que ceux simulés en 2025, 2030 ou 2050 s'expliquent, entre autres, par le degré de liberté en matière d'occupation et d'utilisation des terres. Cette liberté est une menace (pour l'environnement), car, les utilisations ne se préoccupent pas l'environnement et donnent naissance à des territoires sous-intégrés, mal structuré et sans aucune forme d'assainissement. Les écosystèmes se dégradent, les ressources et les paysages forestiers s'altèrent progressivement. Le scénario tendanciel réalisé montre que la commune d'Akanda est un territoire sous fortes pressions. Les changements spatiaux projetés ainsi que les données collectées sur le terrain permettent d'affirmer ces faits. Des changements futurs importants ont été identifiés sur certains espaces en 2030 et 2050. Ces derniers peuvent être considérés comme des fronts de pressions anthropiques. Des observations faites sur le terrain permettent d'appuyer ces faits par l'identification de deux indicateurs, révélateurs de pressions passées en cours et futurs. Ainsi, les cartes simulées mettent en évidence quelques fronts de pressions qu'il nous semble utile de présenter ici.

Un front de pression est un « territoire anticipé » soumis à un fort degré d'occupation et d'installation. Ils sont généralement localisés en zone périphérique semi-forestière et forestière. Il s'agit en réalité des territoires que les populations occupent par anticipation à l'évolution future des zones urbaines. Ce sont les territoires pour lesquels l'extension spatiale est encore possible. Ils se situent soit à la limite entre le territoire habité et une zone naturelle (forêt), soit à l'intérieur d'une zone naturelle favorisée par l'ouverture d'une route ou des pistes. Dans les zones périphériques de la presqu'île de Libreville, ces territoires sont dotés de plusieurs éléments catalyseurs comme la disponibilité des terres, la pratique d'activités pionnières, l'existence d'un réseau routier (pistes ou route principale), le nombre de primo-occupant ou habitant et dans une moindre mesure la possibilité d'adduction d'eau et d'électricité. Dans les fronts de pression, la valeur marchande des parcelles augmente au fur et à mesure que la zone se densifie et se connecte au territoire urbain. Par ailleurs, les fronts de pressions anthropiques sont caractérisés par une forte dégradation et des risques de dégradation importante. Leur existence et surtout leur possibilité d'évolution démontre l'importance de l'anticipation des changements spatiaux en environnement et en aménagement. Les dégradations observées sont majoritairement localisées dans les territoires identifiés comme zones de pressions anthropiques et celles simulées sont une continuité des anciens foyers de propagation. Ainsi, 5 secteurs d'enquêtes à savoir *Bolokoboué, Cap Estérias, Oveng, Cap Caravane et Malibé 2* constituent les principaux fronts de pression anthropique de la zone nord. Ces secteurs abritent les principaux spots de dégradation et d'artificialisation des terres. De 2025 à 2050, la zone côtière est l'une des plus vulnérables. Elle enregistrera une part importante de surfaces artificielles. L'attrait à la côte ou à la plage semble constituer un facteur de changement. Ces territoires sont les premiers à être occupés malgré une surenchère des terres. La zone entre le *Cap Estérias* et la pointe de *Bolokoboué* est très affectée par la déforestation tout comme les zones de contact entre les terres fermes et les mangroves de *Bambouchine-Oveng*. À l'intérieur des terres, les zones de *Malibé* 1 et 2, d'*Ivinda* ou le *Cap Caravane* subissent de fortes pressions et sont caractérisées par un étalement et une densification du bâti.

Au cours de nos sorties de terrain, nous avons relevé deux indicateurs de pression dont l'observation est révélatrice de pressions en cours et futures. Il s'agit d'abord des briquèteries. Cet indicateur avait déjà été identifié en 2014 dans le cadre du projet pourtant sur les modifications et les risques de dégradation des écosystèmes forestiers à Libreville et ses environs (Moridef, 2014). À l'entrée des zones de pression foncière, s'installent de plus en plus de petites structures de fabrication de parpaing. Cette présence n'est pas fortuite. Elle est fondée sur la connaissance des dynamiques d'occupation des terres pour le foncier à bâtir. Plus les zones sont occupées, plus la probabilité de voir s'installer une briquèterie est importante. Leur installation est favorisée par l'ouverture des routes, car ces structures se positionnent le long des axes. Les détenteurs de briquèteries sont des petits opérateurs économiques qui détiennent des informations sur les zones de pressions foncières. Leur but est de se rapprocher le plus possible de leurs futurs clients. La présence de briquèteries est une information non négligeable et indispensable pour la prospection des

zones de pression dans la mesure ou leur localisation signifie que le secteur enregistre une forte activité liée à la construction du bâti ou logement individuel. Ces constructions vont inciter d'autres occupation et installations futures. En effet, les populations ont tendance à privilégier les zones dans lesquelles il existe déjà des bâtiments construits ou en cours de construction. En d'autres termes, le degré de constructibilité d'une zone augmente lorsque cette dernière enregistre déjà quelques logements construits.

Le deuxième indicateur de pression déjà analysé est l'agriculture traditionnelle sur brûlis. Cette activité constitue un facteur de glissement de l'urbanité sous fond de pression foncière. Nous avons montré que dans les zones périphériques, les plantations se multiplient au gré des acquisitions foncières et que ces dernières sont par la suite systématiquement remplacées par le bâti. Par conséquent, leur localisation est un indicateur qui présage des pressions en cours.

Un recensement (non exhaustif) des indicateurs de pression a été effectué. Ces données, constituées du nombre de briquèteries et de plantations par zone, permettent d'élaborer des cartes de pressions ou de risques de dégradation forestière. Ces cartes, issues du résultat de l'analyse par SIG, sont obtenues par le croisement entre les mutations d'occupation du sol et leur superposition avec les indicateurs de pression. Le but de cette superposition est de tenter d'établir un lien entre la localisation des dits indicateurs et le niveau d'intensité des changements. Ainsi, la spatialisation des indicateurs de pression montre que l'intensité des changements s'accroit avec leur localisation. Les écosystèmes de mangrove sont ceux qui présentent les probabilités de dégradation les plus faibles. Aussi, la figure 96 montre que pour toute la commune d'Akanda, le risque de dégradation des forêts de terres fermes varie de modéré à très fort, tandis que pour les surfaces de mangrove l'intensité de changement varie de très faible à modéré. Ce qui fait de la commune d'Akanda, un territoire sous forte pression.

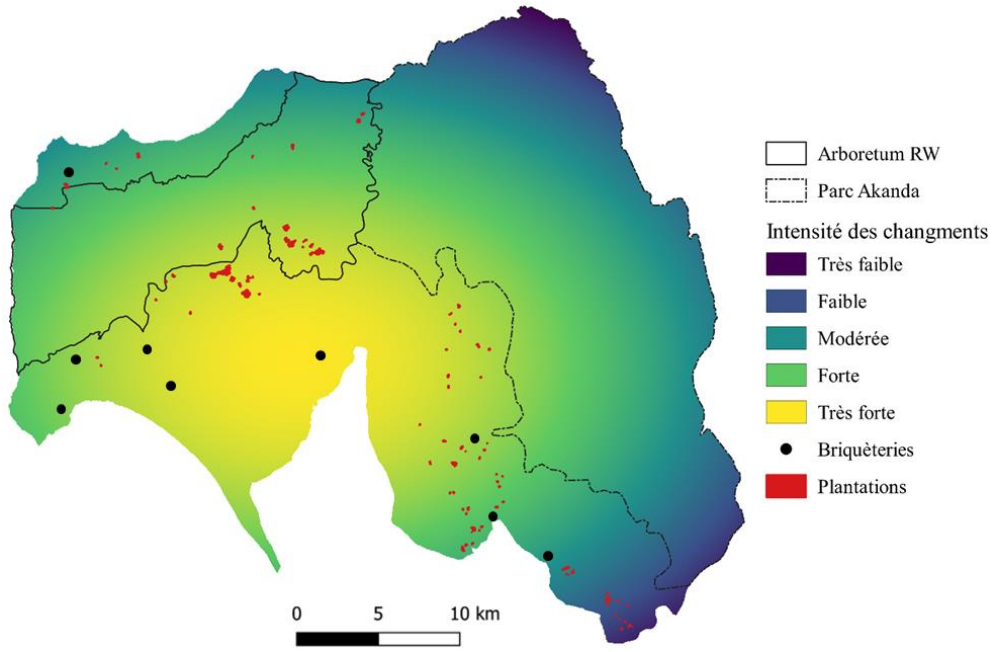


Figure 96 : Risque d'artificialisation du territoire par les activités anthropiques

8.1.1.2. Analyse des impacts de l'artificialisation des terres dans les aires protégées

Le cas de l'Arborétum Raponda Walker :

Située à moins de 10 km du centre urbain, la forêt classée subit de plein fouet les pressions anthropiques de plus en plus fortes, issue de la croissance urbaine et de la saturation de Libreville. La zone nord fait l'objet de convoitises très fortes et voit une installation importante de nouveaux citadins. Ces pressions ont pour impacts, le recul de la surface forestière ainsi que l'évolution du processus de dégradation dans les espaces protégés. Ces dynamiques négatives pour la préservation des écosystèmes forestiers ont tendance à évoluées avec le temps. Dans l'arborétum, une part importante des forêts se dégradent et changent progressivement de structure. C'est le cas de zone nord-est de l'arborétum, où le processus de dégradation est le plus important. La figure 97 ci-dessous présente l'évolution du processus de dégradation forestière à l'intérieur de l'arborétum Raponda Walker en 2000, 2014 et 2018.

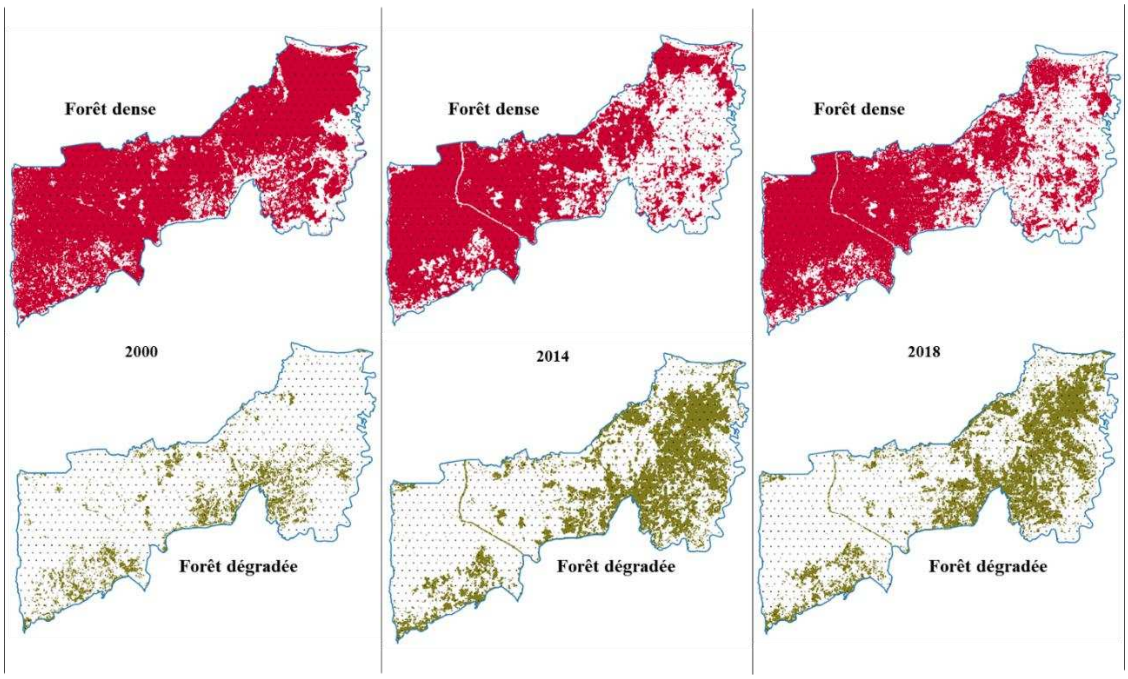


Figure 97 : Dynamique de la dégradation des écosystèmes forestiers dans l'ARW entre 2000 et 2018

En 2000, la forêt dense couvre une superficie de 67,23 km² à l'intérieur de l'Arborétum contre 8,67 km² de forêt dégradée. À cette période, les pressions anthropiques sur l'aire protégée sont faibles comparativement aux périodes 2014 et 2018. En effet, les données statistiques montrent un écart important entre l'année 2000 et les autres dates. En 2014, 52,22 km² des surfaces de forêts denses sont restés stables contre une dégradation forestière de 25,40 km². En 14 ans, les surfaces de forêts dégradées ont été multipliées par deux. En 2018, on observe un faible recul du processus de dégradation forestière dans les limites de la forêt protégée. La surface des forêts dégradées est passée de 25,40 km² en 2014 à 23,13 km² en 2018, soit une différence de -2,27 km². Cette différence traduit une régénération des forêts. Statistiquement, cette dynamique est progressive.

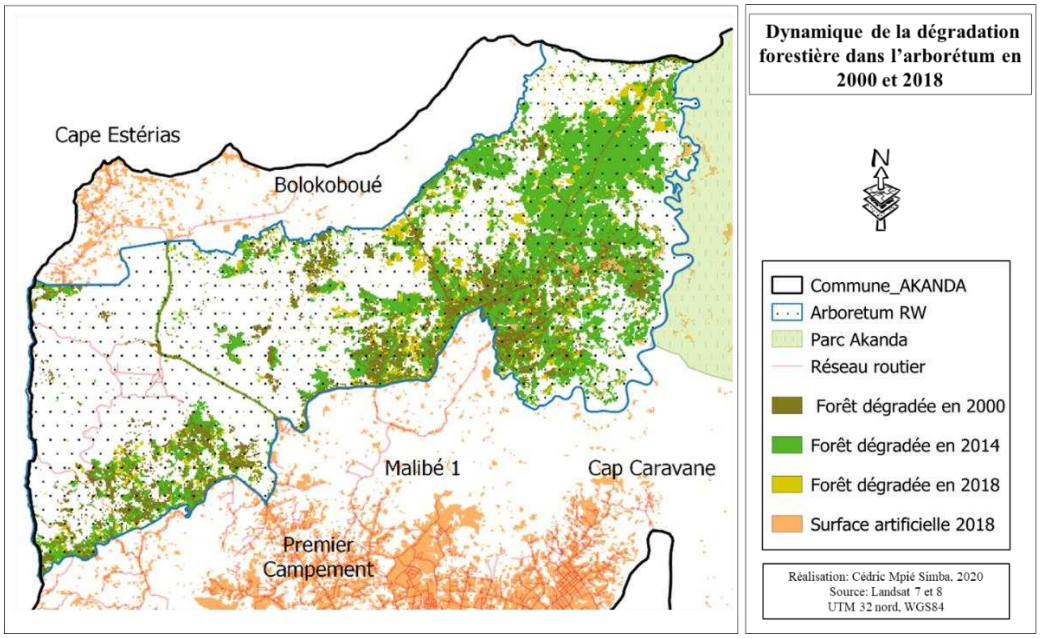


Figure 98 : Évolution de la dégradation forestière dans l'Arborétum Raponda Walker en 2000, 2014 et 2018

Si la tendance des forêts denses dans l'ARW est à la dégradation, on observe cependant une légère régénération/densification des surfaces forestières dégradées. Cette dynamique est mise en évidence dans le la figure 90. Entre 2000 et 2014, la densification forestière est estimée à 4,62 km². Cette tendance est en nette évolution entre 2014 et 2018, soit une surface totale de 6,32 km². De 2000 à 2018, les forêts dégradées gagnent du terrain. Ces surfaces ont augmenté de 14,46 km² à l'intérieur de l'arborétum. Entre 2000 et 2014, les forêts dégradées ont augmenté de 19,63 km² alors qu'entre 2014 et 2018, elles ont augmenté de 6,01 km². Une des conséquences de ces mouvements est la modification de la structure spatiale du couvert forestier de l'ARW.

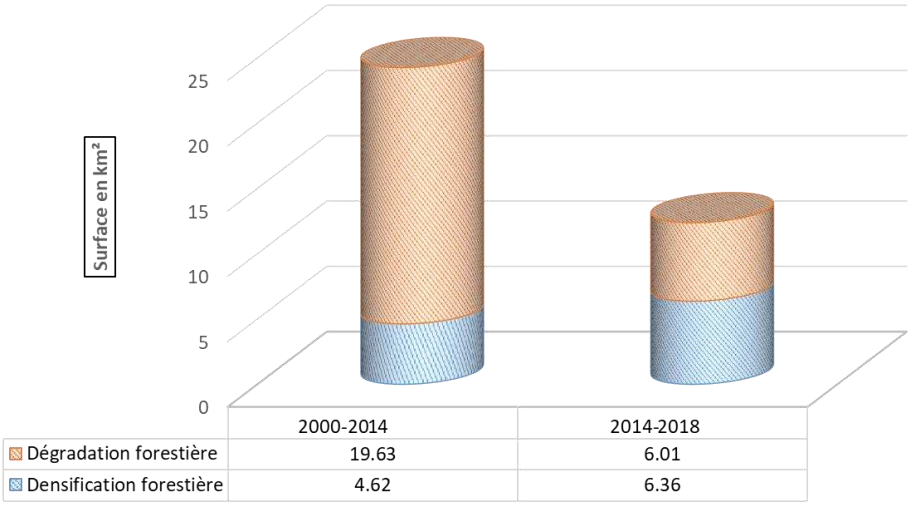


Figure 99 : Analyse comparative des dynamiques de dégradation et de densification forestière

NB : la dégradation forestière correspond au passage d'une forêt dense vers la forêt dégradée. La densification forestière correspond au passage d'une forêt dégradée ou claire vers une forêt dense. Elle fait aussi allusion au processus d'autorégénération des forêts évoqué dans ce manuscrit.

L'analyse comparative de ces deux dynamiques montre que la capacité d'autorégénération des forêts reste faible. Toutefois, au cours de la dernière période (2014-2018), la dégradation et la densification des forêts s'équilibrent plus ou moins. Le processus de densification forestière ou l'autorestauration des forêts est naturellement plus fort à l'intérieur de la forêt classée. L'écart entre la dégradation et la densification forestière permet d'illustrer la trajectoire d'évolution des forêts protégées. Au regard de ce qui précède, on peut donc conclure que ces forêts sont en danger. Dans le détail, plusieurs facteurs sont à la base de la dégradation des forêts de l'arborétum Raponda Walker :

- L'un des premiers facteurs est, sans doute, sa *proximité avec le centre urbain*. De ce fait, elle est d'emblée exposée aux pressions urbaines. En effet, la croissance urbaine a poussé les pouvoirs publics à engager des travaux et le développement de la ville d'Agondjé au nord de Libreville, comme les voiries et la construction des logements planifiés. Ces travaux ont entrainé une véritable ruée vers les ressources foncières et les gisements d'exploitation de sable (Indjieley, 2013). La progression du front urbain a entrainé, de ce fait, une pression sur les surfaces de forêts protégées. Ne disposant pas de limite physique, la forêt classée reste en contact direct avec le front urbain, dont les trajectoires d'évolution suivent un gradient sud-nord. Cette forêt est prise en étaux entre l'étalement du bâti du Cap Estérias, Bolokoboué et les extensions de la ville d'Agondjé (Avorobam, premier campement, Malibé, etc.). L'Arborétum Raponda Walker est donc une forêt sous pression. Cette pression se fait ou suit les axes de pénétration que sont les routes, les pistes.
- La présence d'un *réseau routier* reliant le Cap Estérias et Libreville et traversant la forêt classée contribue à exacerber les dégradations. Ces routes et ses pistes sont de vecteurs de développement des activités. La route contribue donc en tant qu'élément de dissémination des activités socioéconomiques telles que l'extraction de sable, l'agriculture, la chasse, la pêche, la cueillette. Le rôle du réseau routier dans le processus de changement d'occupation du sol plus précisément dans l'artificialisation des terres a été analysé dans le chapitre « hiérarchisation des facteurs de changements ». Nous avons mis en évidence la corrélation entre la présence des routes et les changements d'occupation du sol.
- *La proximité aux activités* ou zones d'activités est aussi un facteur aggravant des dégradations. En effet, la forêt classée ne dispose pas d'une zone tampon. De ce fait, elle enregistre le développement et la pratique d'activités socioéconomiques dans ses limites immédiates. La construction des logements privés ou des habitations, l'extraction du sable, l'agriculture à des impacts sur les forêts. La proximité de ces activités par rapport au parc augmente la vulnérabilité des forêts et leur risque de dégradation ou de déforestation.
- *L'accessibilité* à la forêt classée est aussi un facteur de dégradation non négligeable. C'est une forêt ouverte, qui n'a pour limite visible que la route. La forêt classée est accessible de tous les côtés et ne dispose d'aucune contrainte physique limitant son contact avec les populations locales et les activités. Cela favorise le développement d'activités ou exploitation illicites. En effet, au cours de nos sorties de

terrain, plusieurs personnes ont déclaré qu'ils prélevaient les ressources dans les aires protégées malgré les interdictions d'exploitation.

Dans le scénario tendanciel, tous ces facteurs sont exacerbés. Les dynamiques observées sont donc liées à une aggravation de tous les facteurs cités. Dans ce scénario, les écosystèmes naturels demeurent très instables et très impactés. Ils poursuivent une dynamique régressive dans leur ensemble. Ces dynamiques s'amplifient dans le temps et dans l'espace : c'est ce qui ressort de l'analyse des cartes simulées de 2025, 2030 et 2050 selon le scénario tendanciel. Les espaces libres ou non affectés entre 2000 et 2018 sont progressivement impactés par la dégradation forestière, la déforestation et l'étalement du cadre bâti. Les zones protégées et sensibles ont subi un mitage important de leur surface en 2050. Ceci confirme bien notre quatrième hypothèse selon laquelle : *l'espace libre (non affecté) de la presqu'île est totalement consommé, les zones protégées et sensibles sont mitées*. Le mitage des zones protégées pourrait à terme déboucher sur une reclassification de l'ARW et surtout une redéfinition des limites de l'aire protégée. Rappelons que cette forêt classée a déjà subi des reclassifications et plusieurs redéfinitions de ses limites (cf. fig.9). Si ces dynamiques se poursuivent et vont dans le sens de notre hypothèse, la forêt protégée enregistrera une perte importante de sa biodiversité du fait d'une perte de sa surface forestière. Dans la commune d'Akanda, les services rendus par ces écosystèmes semblent menacés au regard de leur état. Que ce soit en 2025 ou même en 2050, les impacts liés à la dégradation des forêts augmentent :

- Le processus de fragmentation forestière est exacerbé entre 2030 et 2050. Les taches anthropiques ont tendance à s'agrandir. Dans certains espaces, la connexion entre les différentes taches est même assurée.
- Le front urbain est de plus en plus proche des limites de la forêt protégée ; ce qui contribue à l'augmentation des risques de dégradation forestière et de déforestation.
- Les grands projets immobiliers initiés depuis 2018 dans les secteurs d'Avorbam, Premier Campement et Malibé, sont de véritables catalyseurs des dynamiques de dégradation et déforestation future. Ces projets sont également des éléments qui contribuent à rapprocher le front urbain de la zone de la forêt protégée. À l'instar d'Agondjé, ces projets transforment les paysages ruraux en paysages urbains.

Dans le scénario d'encadrement, les trajectoires des écosystèmes varient en fonction des hypothèses. Dans la première hypothèse, les dynamiques d'artificialisation du territoire restent très fortes à l'extérieur et autour des aires protégées. Cette dynamique s'intensifie entre 2030 et 2050. Les espaces libres sont progressivement remplacés par les surfaces artificielles, dont le cadre bâti. Dans cette hypothèse, les impacts environnementaux sont aussi importants que dans le scénario tendanciel, sauf à l'intérieur des aires protégées. En effet, cette hypothèse n'admet pas de changement (négatifs) à l'intérieur des parcs. Il s'agit ici d'un scénario idéaliste. Son but est de montrer l'état de l'occupation du sol dans un contexte de respect minimal du caractère interdit des aires protégées. Ici, les parcs gardent leur état et n'admettent pas

de dégradation. Il en ressort que les écosystèmes forestiers libre et non occupé subissent des dégradations importantes, car toutes les actions et les activés se dirigent désormais dans ces espaces. Au nord de l'ARW, dans le secteur du Cap Estérias, les écosystèmes forestiers sont totalement déforestés et les forêts dégradées sont totalement remplacées par le cadre bâti. On constate aussi que les dynamiques d'artificialisation ont pour point de départ les zones d'habitation ou ce processus était déjà observé dans les cartes réelles. Ce scénario s'apparente donc au scénario tendanciel, mais avec une restriction.

La deuxième hypothèse tente d'analyser les dynamiques d'autorégénération des forêts laissées à leurs propres dynamiques. Celle-ci est plus vraisemblable, car elle est fondée sur les données d'apprentissage. Dans cette hypothèse, les impacts socio-environnementaux restent très faibles. Les surfaces de forêts dégradées ont tendance à être recolonisées par les forêts denses. Les dynamiques d'autorégénération des écosystèmes forestiers sont fortes en l'absence d'activités anthropiques. Cette allégation se justifie par le fait que la restauration des forêts est plus importante dans le parc qu'à l'extérieur, car, les pressions sont naturellement moins importantes qu'à l'intérieur des aires protégées. Cette hypothèse montre ce que devrait être l'état des forêts protégées si les conditions de protection de ces derniers étaient respectées. Elle est donc idéale pour la protection des forêts, mais sa mise en œuvre parait impossible au regard des pressions actuelles. L'ensemble des dynamiques d'autorégénération des forêts (2030 et 2050) simulées ont été combinées et sont représentées dans la carte 100.

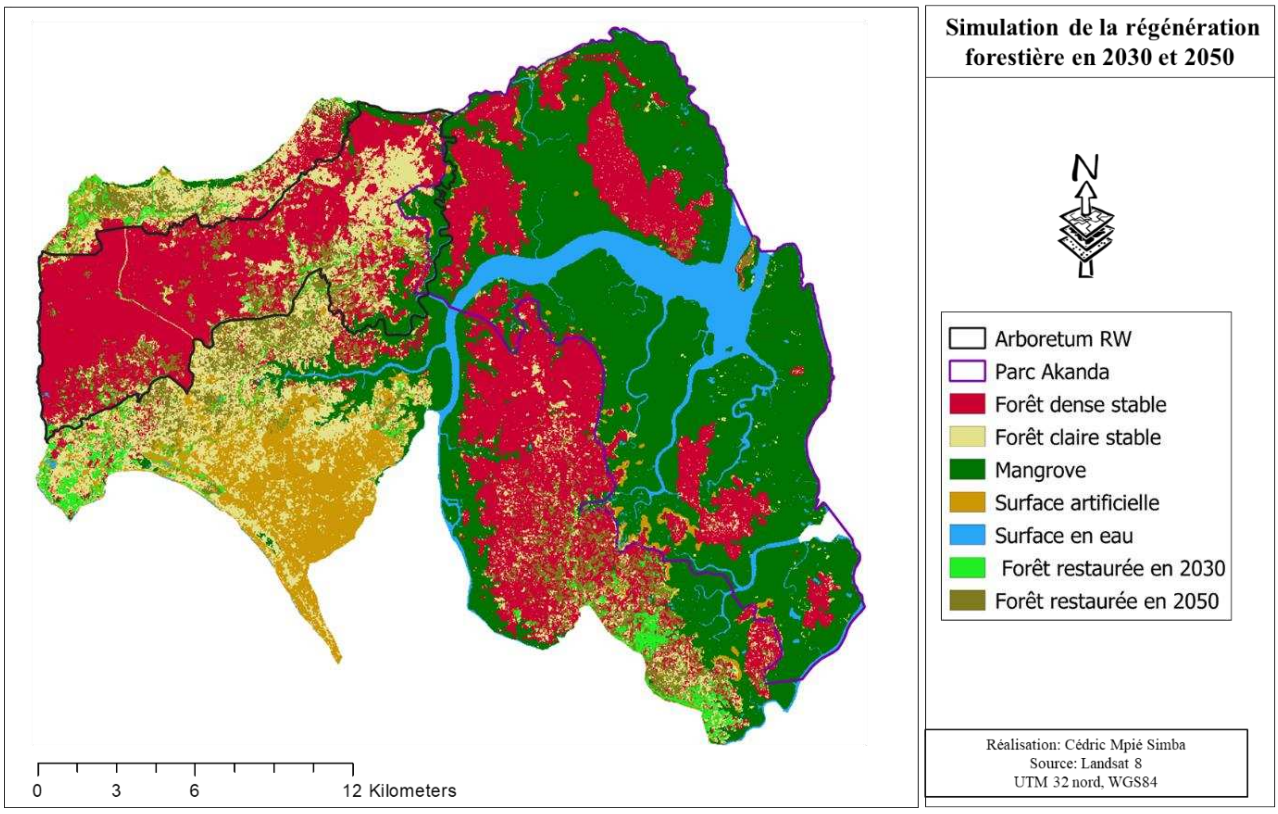


Figure 100 : Dynamiques d'autorégénération des forêts de la commune d'Akanda en 2030 et 2050

Le cas du parc Akanda :

Malgré son statut de zone protégée, le parc national d'Akanda subit aussi de fortes agressions et enregistre des dégradations importantes qui modifient la structure spatiale des écosystèmes forestiers. Les pressions et perturbations qu'elle subit sont perceptibles à l'intérieur et à l'extérieur des limites du parc. À la différence de l'arborétum RW, le parc Akanda a le mérite d'avoir une zone tampon. Pour suivre les dynamiques d'artificialisation en dehors des limites du parc, deux zones tampons d'un kilomètre chacune ont été définis. Le suivi des changements repose sur l'analyse diachronique à partir des données de 2000 et 2018.

Les dégradations que l'on peut observer sur les cartes proviennent en réalité des activités pionnières pratiquées depuis les années 1990 et voir même au-delà (Moridef, 2014). À l'extérieur des limites du parc Akanda, deux fronts pionniers semblent se dégager. Le premier, perceptible en 2000, se localise au sud-ouest (fig.101). Il est caractérisé par une dégradation forestière qui provient à la fois de la pratique de l'agriculture traditionnelle sur brûlis et du bâti. En effet, ce secteur abrite d'anciens villages ainsi que leur zone d'activités. Les dégradations observées dans ces zones tampons sont donc étroitement liées aux pressions anthropiques. Les enquêtes de terrain réalisées dans le cadre du projet Moridef en 2014 ont montré que cette zone était assez dynamique, car elle abritait des activités pétrolières dans les années 1980. Pendant cette période, elle a subi des dégradations importantes dont les marques ou traces restent encore visibles aujourd'hui. Ces activités constituaient de ce fait un facteur d'attraction dans ces zones et ont indirectement causé la dégradation des forêts. À la fin des activités pétrolières, la zone a perdu une bonne partie de sa population ; ce qui avait favorisé une régénération des écosystèmes forestiers jusqu'au début des années 1990 (Moridef, 2014 ; Mpié Simba, 2015).

Si en 1990, les dégradations des écosystèmes forestiers sont moins importantes (Mpié Simba, 2015), en 2000 on observe qu'elles ont considérablement évolué. Les années 2000 marquent donc le retour des populations vers ces anciens villages autrefois délaissés. Ces retours des populations ont, pour cause, entre autres, la saturation de Libreville. Elles amplifient les dégradations et l'artificialisation des terres dans un rayon de 2 km². Les deux zones tampons sont partiellement entamées et les pressions vont du sud vers le nord (fig.101).

Le deuxième front de pression se localise au nord-est du par Akanda. La tache anthropique la plus importante se situe dans la première zone tampon dans un rayon de moins d'un kilomètre des limites du parc. Elle est d'origine anthropique, car elle a pour cause principale l'exploitation du sable et le cadre bâti. L'année 2014 est marquée par une exacerbation des dégradations et de l'artificialisation à la fois à l'intérieur et en dehors des limites du parc. Les zones tampons de 1 et 2 km sont presque totalement entamées et les surfaces artificielles sont en nette progression (fig.102).

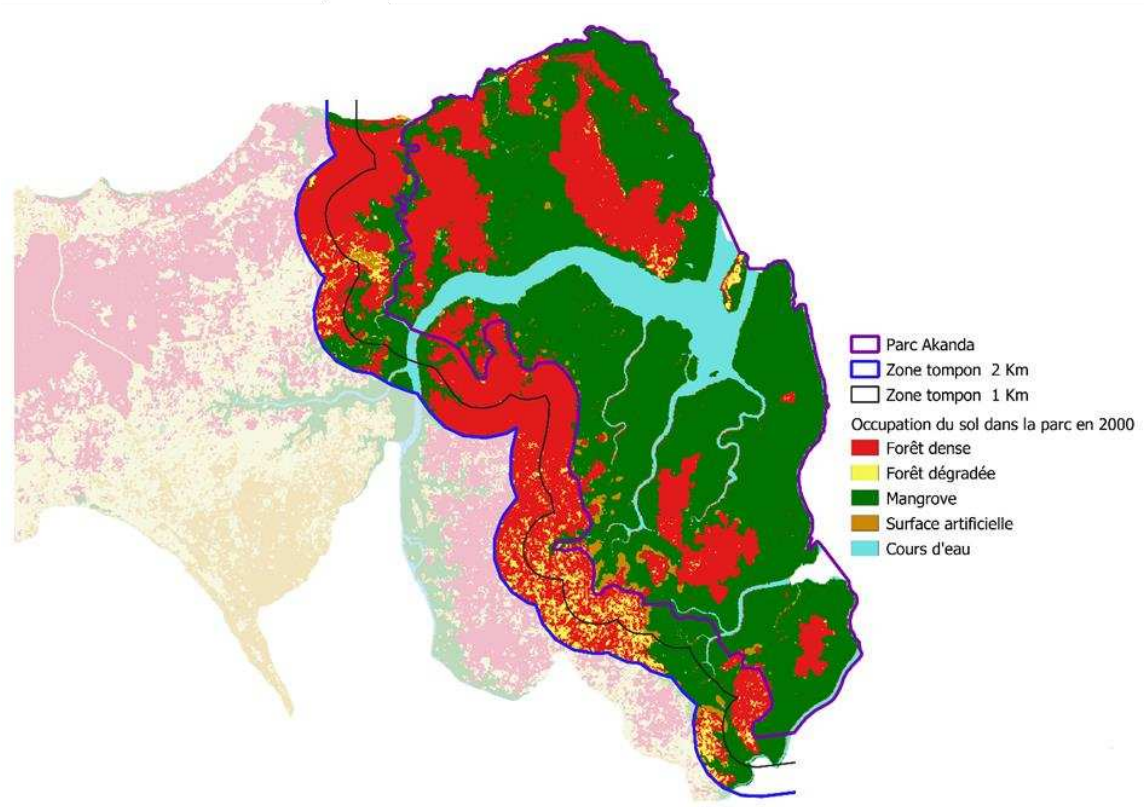


Figure 101 : Dynamiques d'artificialisation autour et à l'intérieur du parc Akanda en 2000

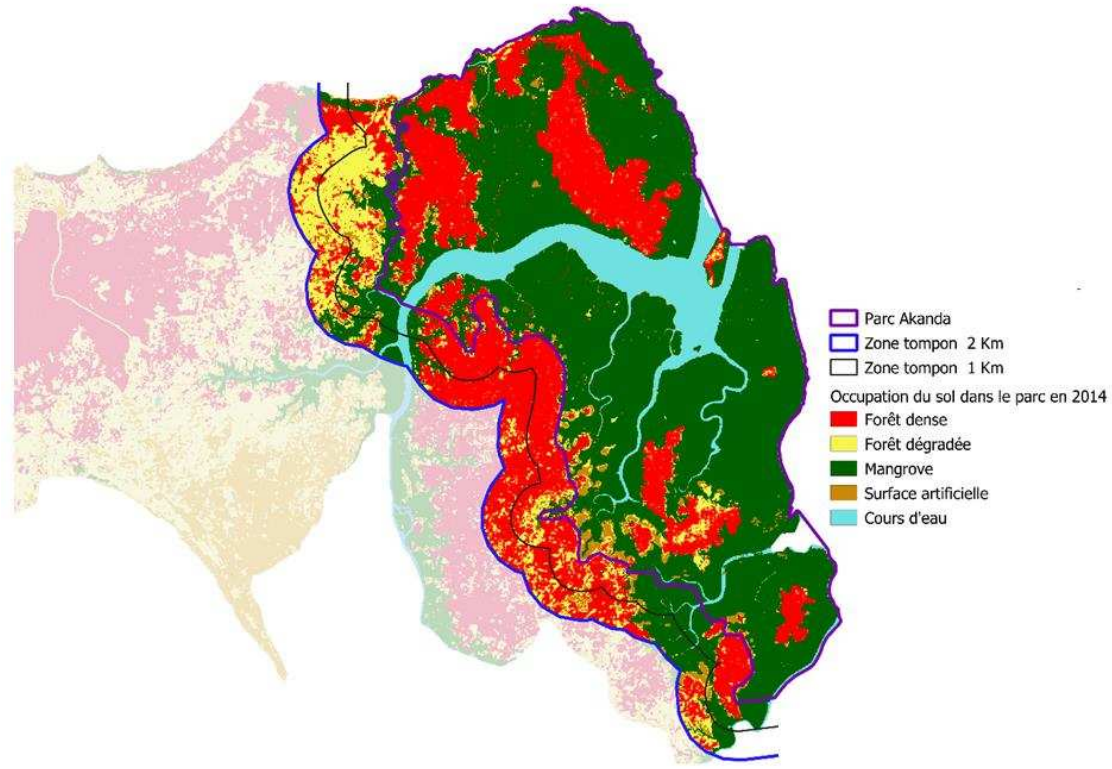


Figure 102 : Dynamiques d'artificialisation autour et à l'intérieur du parc Akanda en 2014

Les analyses statistiques réalisées sur les dynamiques de changement entre 2000 et 2018 à l'intérieur et à l'extérieur du parc montrent un niveau de stabilité relative faible dans les zones tampons. Cette instabilité est marquée par une forte perturbation des forêts denses. Cette dernière est passée de 94,29 km² en 2000 à 61 km² en 2018. Cette tendance à la régression des forêts denses est la même à l'intérieur du parc, mais avec intensité très faible. Le taux de stabilité de cette catégorie est d'environ 91,02 % en 2000 et 2014 contre 93,11 % en 2018.

À l'intérieur du parc, on peut observer une part importante de surfaces artificielles en évolution entre 2000 et 2018. L'évolution de ces surfaces artificielles est liée à l'extension des zones sableuses et vaseuses alors que les zones tampons, elle reste dominée par le bâti. Précisons aussi que les surfaces de mangroves du parc abritent une forte activité de pêche artisanale dont les impacts restent difficiles à mesurer. L'un des impacts liés à cette activité est le prélèvement du bois de mangrove destiné au fumage de poisson. La proximité entre le parc Akanda et les zones d'habitations est un facteur qui engendre la dégradation des mangroves par le déversement des eaux usées, des déchets électroménagers, des déchets plastiques, etc. Ces éléments contribuent au bouleversement des équilibres des écosystèmes de mangrove ainsi que leur croissance. Ce constat a été établi lors de nos visites de terrain, mais aussi en 2018 dans le cadre du projet MDMLERD, 2018 (voir photo ci-dessous). Rappelons que les facteurs contribuant à la dégradation des mangroves de Libreville et ses environs ont été étudiés dans le cadre du projet MDMLERD (2018). Une étude réalisée par le LAGRAC pour le compte de la Direction générale des écosystèmes aquatiques (DGEA) en 2020 a permis d'étudier localement les mangroves dans la zone tampon du parc sur deux sites (Angondjé et Okala).

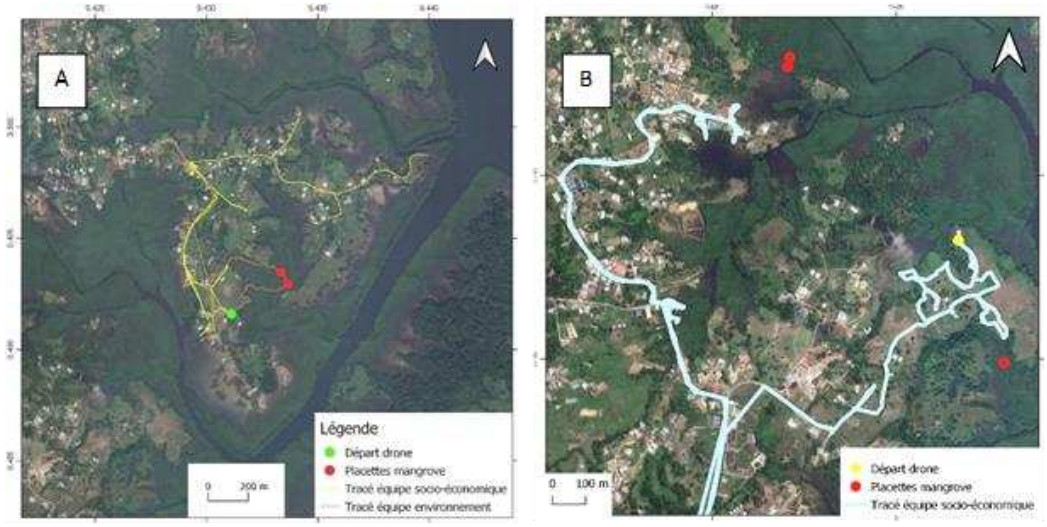


Figure 103 : Sites d'Angondjé Village (A) et de Okala-Mikolongo (B). Source : Rapport LAGRAC-DGEA, 2020

Plusieurs facteurs de dégradation de mangrove ont été identifiés. Mais l'anthropisation est le principal moteur de dégradation des mangroves de zones périurbaines. En effet, la tache urbaine et le bâti ne cessent de progresser vers les surfaces de mangrove. Ce dernier constitue un facteur important. Face au manque

de terres disponibles, les populations n'hésitent plus à occuper les surfaces de mangrove, pourtant définie comme zone *non aedificandi*. Au cours des missions de terrain réalisé dans le cadre du projet DGEA, 2020, plusieurs illustrations de ce phénomène ont été photographiées. De la maison individuelle, au complexe hôtelier et activité de loisir, ces illustrations (fig.104) montrent que la mangrove subit des pressions non négligeables.



Figure 104 : Activités anthropiques dans les surfaces de mangrove Source : Projet Lagrac-DGEA, 2020

Les surfaces de mangrove les plus dégradées sont celles qui sont au contact direct avec les terres émergées, les zones habitées, mais surtout dans les zones de balancement de la marée. Afin de mieux cerner ces impacts, nous commençons par étudier ce qu'apporte cette végétation aux populations autochtones. Ceci passe par l'identification des services environnementaux offerts par les forêts ainsi que les activités pratiquées par les populations dans les forêts.

8.1.2. Impacts sociaux de la réduction des forêts sur la vie des populations locales

Les changements d'occupation et d'usages des terres ont des conséquences non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la vie des populations locales de zones semi-forestières et forestières de la zone d'étude. Ces zones à caractère rural sont d'anciens villages qui enregistrent une installation massive des populations du fait de l'avancée du front urbain. L'analyse des impacts sur le plan social se base sur les résultats des enquêtes réalisées auprès des populations autochtones. Le but ici était de faire identifier par les populations elles-mêmes, ce qu'elles considèrent comme conséquences ou impacts de la double action de protection et étalement du bâti. L'ensemble des réponses collectées a été traité puis classé en quatre principales catégories. Le premier impact cité est *la réduction des terres exploitables,* identifié par 52,4 % des personnes interrogées. Celui-ci est suivi de *la raréfaction des services écosystémiques* cités par 23,8 % des enquêtés. Pour 9,5 % des personnes interrogées, la protection des forêts et leur déforestation par l'étalement du bâti conduisent à *la paupérisation des populations* des zones à caractère rural. La figure 105 présente l'ensemble des conséquences identifiées par les populations lors de nos enquêtes.

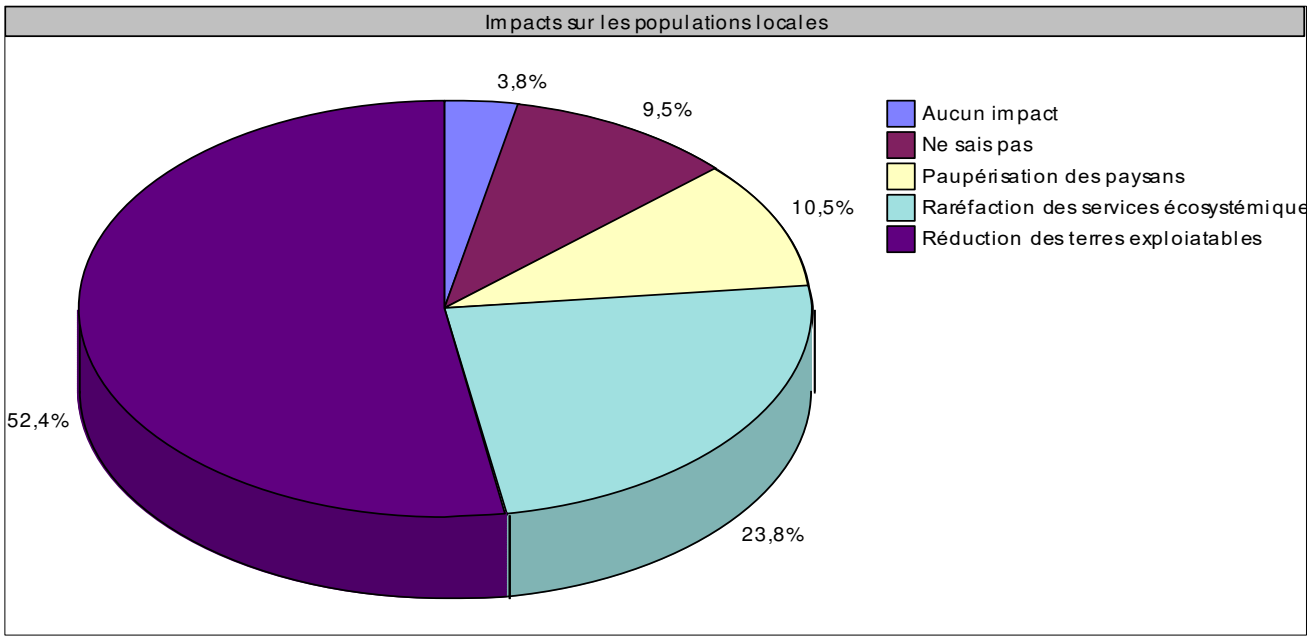


Figure 105 : Impacts des changements d'utilisation du sol sur les populations des zones semi-rurales d'Akanda. Source : Données de terrain, Mpié Simba Cédric. Octobre 2018

L'ensemble des impacts cités par les populations ont un lien direct avec l'avancée du front urbain et la politique de conservation de la forêt. Le but ici n'est pas de remettre en cause le bienfondé de la protection des forêts ou les politiques de préservation des écosystèmes. Ce qui est mis en débat ici, c'est le mode opératoire, le processus de prise de décision, notamment, celui lié à la délimitation (aux contours) des aires protégées. L'analyse des données de terrains montre que, non seulement, la forêt classée subit des pressions liées aux actions anthropiques, mais elle est aussi une source de pressions pour les populations locales. La première partie de cette allégation (concernant les pressions subies par les aires protégées) a déjà été mise

en évidence dans les chapitres précédents. Pour comprendre les pressions qu'exercent les aires protégées sur les populations locales, nous analysons le contenu des réponses collectées sur le terrain auprès des populations.

8.1.2.1. La réduction des terres exploitables et la raréfaction des services écosystémiques

La réduction des terres exploitables : deux éléments fondamentaux permettent d'étayer cet argument. D'une part, l'étalement du bâti, qui se fait au détriment des forêts et, d'autre part, la protection d'une partie de la forêt dans la même zone. L'avancée du front urbain vers les zones périphériques forestières et semi-forestières est consommatrice des forêts. Cette avancée est caractérisée par un changement d'utilisation du sol qui passe de terres agricoles à terre constructible ou terrain à bâtir. Cette avancée du cadre bâti a pour conséquence la transformation de la configuration des espaces ruraux. Les terres jadis destinées à l'activité agricole, les lieux de chasse ou de cueillette ou d'activités villageoises sont peu à peu dégradés et/ou occupés par le bâti. Par conséquent, les terres exploitables se réduisent sous la forte pression de croissance urbaine.

Dans les zones semi-forestières et forestières de la presqu'île de Libreville, nous avons montré que l'agriculture est une activité transitoire vers le bâti. Par conséquent, depuis l'émergence de cette tendance, on constate donc une augmentation des surfaces agricoles. Mais cette dernière n'existe que dans l'intervalle avant la construction du bâti. En plus de ne pas être une activité durable et non destinée au marché locale, elle est majoritairement pratiquée par les citadins (les acquéreurs de parcelle en zone périphérique). Par conséquent, cette activité ne peut contribuer à inverser la tendance en ce qu'elle nourrit les intérêts du bâti et constitue un marchepied vers l'urbanisation. Elle contribue donc à la réduction des terres exploitable.

La réduction des terres exploitables est aussi liée à la protection d'une vaste partie des surfaces forestières de la zone d'Akanda. L'essentiel des surfaces de forêt est aujourd'hui interdit d'exploitation. Ce qui a contribué à réduire les terres exploitables. Par ailleurs, les critères de délimitation de la forêt protégée restent très mal perçus par les autochtones. Les limites actuelles ont malheureusement intégré certains petits villages et surtout les *zones d'activités villageoises*. Ceci a pour conséquence de réduire significativement les terres exploitables des populations, celles qu'elles utilisent depuis des décennies et justifient les relations conflictuelles qui existent encore à ce jour entre le parc et les populations. La dégradation des forêts dans les limites du parc se justifie aussi par la présence de ces zones d'activités villageoises.

La raréfaction des services écosystémiques : la réduction des terres exploitables causée par la protection des forêts et l'étalement du cadre bâti va entrainer une réduction de la disponibilité des services écosystémiques. La raréfaction des services écosystémiques offerts par la forêt est liée au processus de déforestation et de dégradation forestière qu'engendre l'évolution du cadre bâti. La protection des forêts, quant à elle,

contribue à exacerber ce processus par une politique d'interdiction d'accès et d'exploitation des forêts. De ce fait, l'étalement résidentiel transforme les paysages ruraux et le changement des modes de vie des populations. L'usage traditionnel de la forêt étant l'apanage des communautés rurales, l'urbanité déconnecte totalement les populations de la forêt. La part des populations qui font usage des forêts est de moins en moins importante. Les informations recueillies à ce sujet montrent que plus 61 % des personnes des zones villageoises n'exploitent plus les ressources de la forêt à l'intérieur des aires protégées. Par ailleurs, environ 38 % des personnes interrogées déclarent toujours faire un usage des ressources de la forêt à l'intérieur des limites des aires protégées. Cette exploitation illégale concerne principalement les activités villageoises telles que la chasse, la pêche, le bois de chauffe, et l'extraction de vin de palme (fig.106).

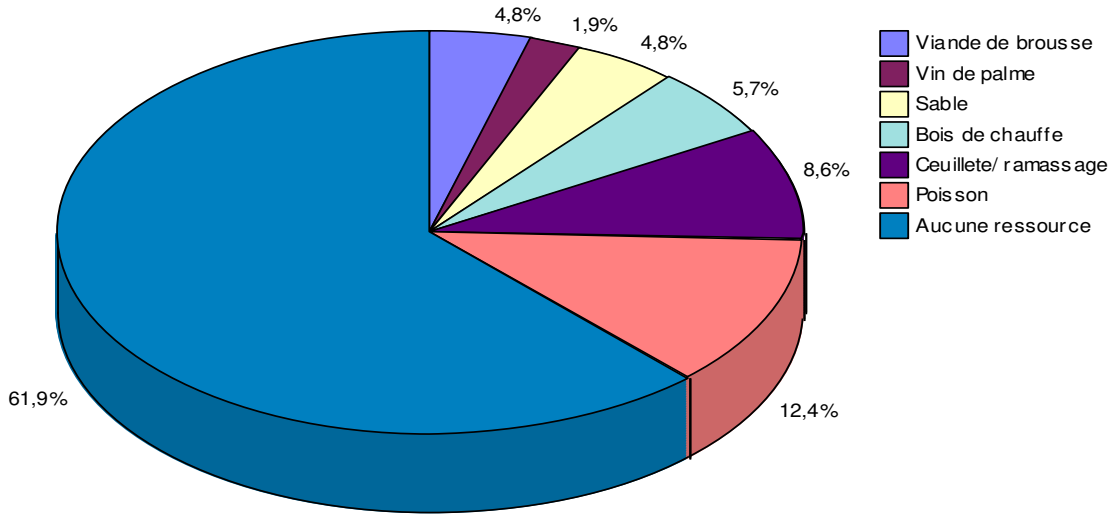


Figure 106 : Identification de ressources prélevées dans les aires protégées. Source : Données de terrain, Mpié Simba Cédric. Octobre 2018

8.1.2.3. La paupérisation des populations autochtones

La paupérisation est liée au changement des modes d'approvisionnement. Désormais, les populations autochtones s'approvisionnent dans le centre urbain. La dépendance aux produits issus des forêts est de moins en moins forte. La protection des forêts entraine la réduction des zones d'activés villageoises. L'activité de chasse est interdite, de même que l'exploitation de certaines espèces végétales ainsi que certaines activités jugées dégradantes des forêts. En outre, cette paupérisation va entrainer le développement d'une exploitation illicite dans les surfaces protégées. Or, cette exploitation illicite semble avoir un impact beaucoup plus important sur les écosystèmes forestiers comparativement à exploitation normale. En effet, les réflexes des populations locales en termes de gestion, d'utilisation ou d'exploitation durable des ressources sont absents ou peu visibles pour les territoires dont le niveau d'appropriation échappe totalement à leur contrôle. À travers ces éléments, on comprend aisément l'origine des

dégradations observées dans les limites des forêts protégées. Les surfaces disponibles (exploitables) des populations locales se réduisent à la fois sous l'effet de l'étalement du bâti et la protection des forêts qui a malheureusement intégré les zones d'activités villageoises. L'intégration des zones d'utilisations villageoises justifie et met en exergue l'existence des conflits d'usages.

8.2. De la protection des forêts à l'émergence des conflits

8.2.1. *Analyse des conflits d'usages liés aux ressources et aux espaces*

L'analyse de la situation conflictuelle engendrée par la protection de forêts sera analysée à travers le rapport entre les populations autochtones et la forêt protégée (ARW). Deux principaux conflits seront analysés ici. D'une part, le conflit de délimitation (lié aux limites de la zone protégée) et d'autre part les conflits d'usages. Mais avant, il convient, dans un premier temps, d'identifier ce qu'apportent les écosystèmes forestiers aux populations ainsi que leur niveau de dépendance à ces ressources.

8.2.1.1. Ce qu'apporte la forêt aux populations autochtones sur différents aspects

Les forêts sont à la fois un cadre de vie et une source d'approvisionnement en produits alimentaires pour les populations autochtones. Si le rôle des forêts dans la protection de l'environnement est connu (préservation de la biodiversité biologique, régulation du régime des eaux, maintien des sols, stockage du carbone, etc.,), leur contribution au bien-être et à la vie des populations locales l'est encore moins. Pour comprendre les impacts de la diminution des forêts sur le plan social, nous commençons par identifier les différents services offerts par les forêts de notre zone d'étude. L'ensemble de ces services a été répertorié dans le tableau ci-dessous. Plusieurs catégories de services (4) ont été identifiées à savoir, les biens forestiers, les services de régulation, les avantages économiques et socioculturels (tableau 41).

Biens forestiers	Produits forestiers non ligneux Bois de chauffe Conservation/reproduction de la biodiversité
Services de régulation	Conservation de l'eau Protection des sols Séquestration du carbone Apport d'oxygène Régulation des températures
Avantages économiques	Écotourisme forestier Protection de la biodiversité Emploi (écogardes, conservateurs, etc.)
Avantages socioculturels	Service médicinal (écorces, plantes médicinales) Services spirituels (lieux de cultes, rites et danses traditionnelles) Service artistique (bois de sculpture) Production de bien-être

Tableau 41 : Quelques services environnementaux offerts par les écosystèmes forestiers du nord de Libreville

Les populations autochtones qui vivent dans les zones forestières et semi-forestières de la commune d'Akanda sont fortement dépendantes des ressources offertes par les forêts. Au cours de nos sorties de terrain, nous avons identifié les différents usages que les populations autochtones font de la forêt. Elles se résument pour l'essentiel aux avantages socioculturels et aux biens forestiers (tableau 41). Pour voir ce qu'apportent les écosystèmes forestiers aux populations locales de la société étudiée, nous nous intéressons à leurs pratiques dans les forêts. Le degré de dépendance ou non à une ressource est un facteur qui permet d'identifier l'importance de cette ressource vis-à-vis d'une population. De cette analyse, il en ressort que la forêt est à la fois un lieu d'approvisionnement en produits vivriers (par la pratique d'un certain nombre d'activités), mais aussi un cadre de vie. Dans ces milieux quasi ruraux, ces activités sont essentielles pour la survie des populations. La forêt abrite et fournit à ces derniers des ressources utiles et vitales. Dans ces forêts, les populations pratiquent l'agriculture vivrière, la chasse, le ramassage et la cueillette. Ce type d'activité est principalement pratiqué par les paysans. Ces données ont été recensées auprès des populations locales lors de nos sorties de terrain. Précisons que les données représentées dans la figure ci-dessous ne concernent que les populations autochtones de la zone nord de Libreville.

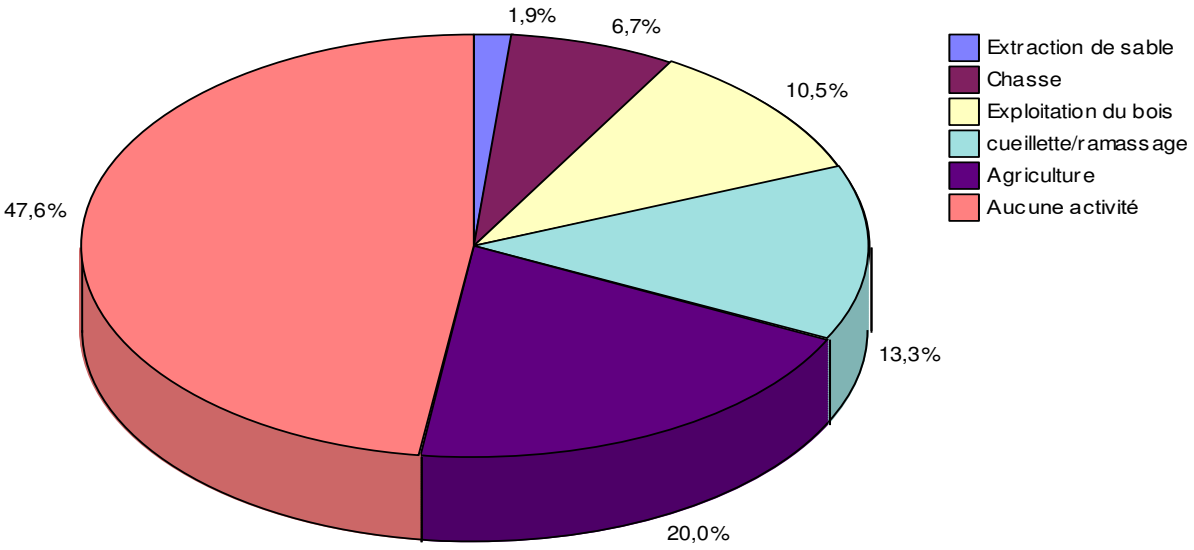


Figure 107 : Identification des activités pratiquées dans les forêts au nord de Libreville. Source : Données de terrain, Mpié Simba Cédric. Octobre 2018.

Ainsi, les résultats montrent que ces populations exploitent la forêt pour des usages multiples. La principale activité reste l'agriculture vivrière, pratiquée par 20 % des personnes interrogées. Elle est suivie par le ramassage (crustacés, crabes, etc.) ou la cueillette (fruits de saison) pour 13 % des personnes enquête. Le bois de chauffe est utilisé comme combustible pour la cuisson des aliments, y compris le fumage des poissons (sardine) destiné à la commercialisation. L'exploitation de bois prélevé directement de la forêt à but comestible est très rare. Les résultats de l'enquête effectuée indiquent que 47,6 % des populations ne

pratiquent aucune activité dans les forêts de la zone nord de Libreville. Ceci est lié d'une part au changement du mode de vie des paysans et d'autre part à l'arrivée et à l'installation des citadins dans les zones périphériques semi-forestières.

Dans le détail, on constate que l'espace vital des populations se réduit du fait de la limitation de l'accès aux ressources. Dans les zones périphériques nord du grand Libreville, où le mode de vie des populations est quasi rural, les activités telles que la chasse ne sont plus pratiquées par les populations du fait de la protection des forêts et de leur disparition. L'étalement du bâti et l'indisponibilité des terres se traduisent par un changement d'habitude alimentaire et d'activités. La pratique de l'activité agricole se raréfie et entraine une paupérisation de ces populations. La forêt n'est plus la première source d'approvisionnement des populations. Avec le recul du couvert forestier, l'agriculture sur brûlis devient une activité de transition vers un terrain à bâtir. Les forêts de terres fermes sont de plus en plus perçues comme des terrains à bâtir que des espaces pour le développent de l'agriculture. Ainsi, les populations ne vivent plus des ressources tirées de la nature, mais s'approvisionnement principalement dans le centre urbain. Cet état de fait est soutenu par une importante part des populations paysannes (46,6 %) qui affirment ne plus pratiquer d'activités dans les forêts du fait, d'une part, de leur protection (qui englobe les zones d'activité villageoises) et d'étalement du bâti (qui réduit la disponibilité des terres agricoles), d'autre part.

Si l'importance de la valeur socioculturelle des forêts reste difficile à appréhender, elles offrent cependant des aménités capitales (Yengue J.L, 2017) aux populations. Par ailleurs, les populations interrogées ont indiqué que ces forêts abritent aussi des lieux de culte traditionnel (danses, initiations, etc.) de certains groupes sociaux. Ces sites sont des lieux d'approvisionnement en écorces et plantes médicinales (pour la médecine traditionnelle). Les populations qui font un usage culturel de leur forêt entretiennent un lien très affectif avec ces lieux, qui sont généralement bien conservés et gardés secrets. Cette valeur culturelle tant à disparaitre avec les changements du couvert forestier et du mode de vie des populations des zones à caractères rurales. En effet, l'usage culturel de la forêt se fait de moins en moins. Le recul du couvert végétal s'accompagne par une raréfaction des ressources destinées à l'usage culturel tel que les plantes médicinales, les écorces, le bois rare pour la sculpture. L'urbanisation détache l'homme des activités qu'ils pratiquaient dans les forêts. Plus de 50 % des personnes interrogées déclarent ne plus utiliser la forêt à des fins culturelles. Environ 43 % des personnes affirment toujours utiliser la forêt soit, pour le prélèvement des plantes médicinales (22,9 %) soit pour le prélèvement des écorces (20 %). Il s'agit ici généralement des paysans, des chefs traditionnels dont l'activité principale est l'agriculture vivrière. Enfin, l'étude montre que seul 1,9 % des personnes interrogées utilisent la forêt (le bois) pour la sculpture (œuvres d'art traditionnelles en bois, les statues). Le graphique s108 présente les usages culturels de la forêt dans la zone selon le profil des populations autochtones de la zone nord de Libreville.

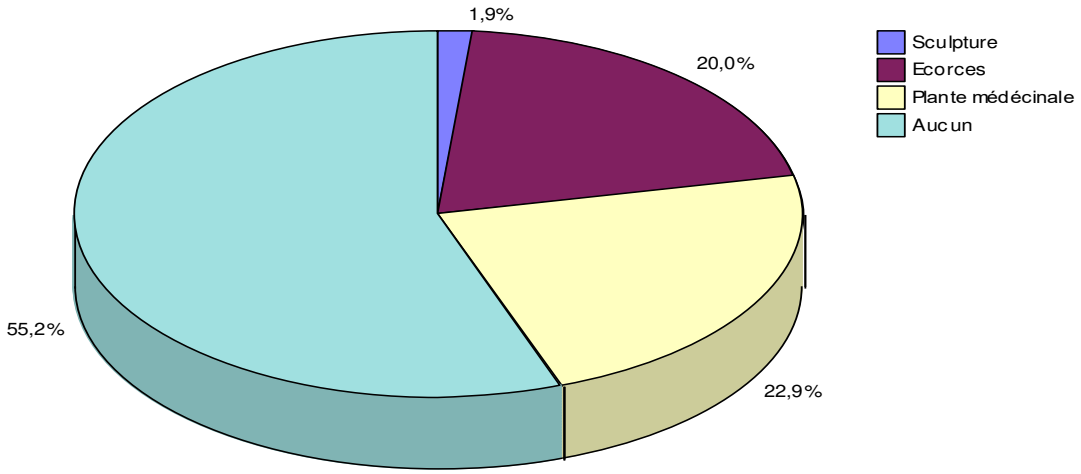


Figure 108 : Identification des usages de la forêt à but culturel au nord de Libreville. Source : Données de terrain, Mpié Simba Cédric. Octobre 2018

Ces données et nos observations de terrain nous permettent de faire le constat suivant : lorsque la forêt constitue un élément fondamental pour la vie des populations, son niveau de conservation ou son utilisation est fait de façon durable. Les paysans possèdent un ensemble de techniques et de savoirs, une sorte d'ingénierie traditionnelle, qu'ils mobilisent systématiquement pour assurer la bonne santé des espaces forestiers qu'ils exploitent. Les forêts sont exploitées de manière à favoriser leur régénération ou à garantir la pérennité des services écosystémiques disponibles. C'est tout au plus, le constat que l'on peut établir au regard du niveau de conservation par les populations autochtones des sites forestiers destinée à l'usage culturel. Une manière efficace d'étudier les impacts sociaux des changements d'occupation du sol est d'analyser les conséquences ou les effets du recul du couvert forestier et de sa protection sur les populations locales.

8.2.1.2. La forêt classée (Arborétum Raponda Walker) comme source de conflits

Aujourd'hui, les pressions anthropiques influencent profondément le couvert forestier de l'arborétum Raponda Walker (AWR). Avec l'avancée du front urbain et l'augmentation des besoins du foncier à bâtir, l'intégrité de la forêt classée est menacée. La tache anthropique à l'intérieur de sa surface est de plus en plus importante et sa surface forestière se réduit et se dégrade. Une analyse faite à l'échelle de la commune d'Akanda et principalement autour de la forêt classée nous a permis d'identifier deux faits qui expliquent la dégradation et la déforestation à l'intérieur et autour de cette forêt protégée. Les études réalisées sur cette thématique ont souvent pointé la faiblesse du dispositif règlementaire, le manque de moyen et d'équipement comme principaux facteurs de pressions et de dégradation à l'intérieur et autour de la forêt protégée. En effet, les pressions subies par la forêt classée sont assurées par deux types de populations. D'une part, les populations autochtones, les paysans qui sont fixés à l'intérieur et aux alentours du parc ; et d'autre part, les populations citadines, qui mutent de temps à autre de Libreville vers Akanda pour venir

occuper et exploiter les parcelles. Ces deux groupes contribuent donc au changement de cet écosystème forestier. Nous avons identifié des éléments importants qui exacerbent les pressions sur la forêt classée. Premièrement, l'arborétum a l'inconvénient de ne pas disposer d'une zone tampon. Dans ces conditions, les pressions sur les limites immédiates du parc sont très fortes. C'est le cas de la zone sud, sud-ouest et surtout de la frange littorale, ou les surfaces de forêt sont mitées. Les dégradations sont aussi issues de l'existence d'un conflit d'intérêt ou d'usage. Ce conflit est lié à la prise de décision sur les limites de l'aire protégée. En effet, au cours de nos sorties de terrain, nous avons découvert que les limites du parc incluent *les zones d'activités villageoises*. Cette décision justifie la forte ***résistance*** territoriale de la part des populations, qui malgré les interdictions continuent l'usage des forêts. Résultat, les forêts se dégradent de plus en plus au fil des années, malgré leur statut. Ce contexte conflictuel est exacerbé par l'absence d'un dialogue et de compromis dans les politiques de préservation des écosystèmes forestiers. Les forêts sont protégées au détriment de la vie des populations. Les écosystèmes forestiers comme supports de l'écotourisme y sont privilégiés notamment dans les sites protégés (ARW). L'interdiction d'accès et d'exploitation sans compromis développe de nouveaux comportements chez les populations (activité illicite comme la pêche ou chasse dans les zones protégées ; exploitation non durable, etc.). Les activités anthropiques ont déjà un impact remarquable sur les forêts, y compris dans les zones à caractère rural. Le désir de mettre en place des politiques dites de *développement durable* et de *préservation de la nature* se fait généralement au détriment de l'Homme. Elles se caractérisent dans la plupart des cas, par des choix politiques et des mesures d'interdictions d'exploitation et d'accès aux espaces. Ces choix politiques et ces mesures ont des conséquences néfastes sur la vie des populations, qui, depuis plusieurs décennies, vivent des opportunités qu'offre la nature. Ainsi, l'interdiction d'utilisation/d'exploitation sans compromis menace la vie des populations et engendre des conflits et des oppositions. En effet, plus de 33 % des personnes interrogées sur le terrain déclarent avoir des conflits liés aux limites de la forêt classée.

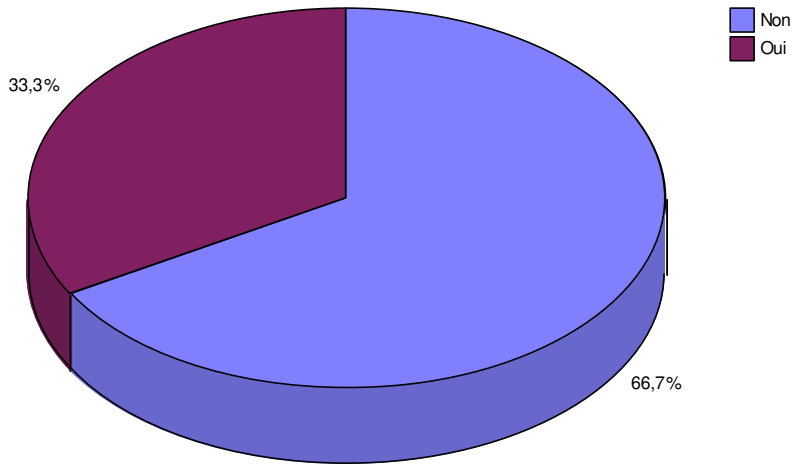


Figure 109 : Estimation de la part des populations déclarant un conflit lié aux limites du parc. Source : Données de terrain, Mpié Simba Cédric. Octobre 2018

Les pressions humaines autour et à l'intérieur du parc et les mutations spatiales qui en découlent sont donc liées à une « mauvaise délimitation » des surfaces de l'Arborétum. La délimitation faite en 2012 par exemple n'a pas exclu certains anciens villages ainsi que les surfaces forestières dans lesquelles les populations villageoises pratiquaient leurs activités (chasse, pêche, agriculture, cueillette, etc.). Ce qui laisse donc penser que les populations villageoises qui occupaient et exploitaient déjà ces forêts n'ont pas été associées au projet et que la prise en compte de leurs usages et activités n'était pas un facteur d'intérêt. Se pose également le problème des critères qui ont prévalu pour définir les contours de l'Arborétum. La protection, d'un milieu vital pour les populations, montre que la reconnaissance de la valeur patrimoniale de cet écosystème forestier se fait au détriment du bien-être des populations locales. C'est tout au moins le sentiment de plusieurs habitants, recueilli au cours d'une discussion lors de la collecte des données de terrain. Un autochtone de la zone de Bolokoboué nous l'explique en ces termes :

« *L'état préfère s'occuper des arbres et des animaux que nous les hommes. Donc nous on peut mourir de faim !… Même si une antilope se présente là devant moi, je n'ai pas le droit de le tuer pour manger, hum… c'est ce qu'ils pensent, parce que je ne peux pas accepter de mourir de faim avec mes enfants, je n'ai pas de travail ! Je vis comment ?... »*

Ce sentiment d'exclusion est un facteur très important à prendre en compte et qui, par ailleurs, détermine les relations entre les populations et les zones protégées. Il constitue avec la non-prise en compte des zones d'activités villageoises, les sources de l'émergence des conflits d'usages. Cette protection des écosystèmes forestiers, plus précisément la délimitation, qui se fait sans véritable concertation préalable avec les populations autochtones, et sans une connaissance parfaite des usages, va entrainer des conséquences majeures, à la fois pour l'intégrité des forêts protégées et pour les populations locales. Pour les populations dont la vie dépend des bénéfices qu'elles tirent de la forêt, ce lien positif entre l'homme et le végétal est de plus en plus menacé par les politiques de protection de forêt non participative.

Les pressions et les dégradations auxquelles font face les aires protégées au nord de Libreville nécessitent de questionner la pertinence et l'opérationnalité des outils de gestion actuelles. Les dysfonctionnements identifiés dans sa mise en œuvre sont révélateurs d'un processus de prise de décision non adapté. Le principal facteur pris en compte pour la création du parc est le facteur environnemental. Les études réalisées sur la forêt classée par exemple (Mbana D, 2001 ; Manembe S., 2001 ; G. Walker et al, 2015) mettent en avant les richesses écologiques et spécifiques des forêts, le caractère endémique de certaines espèces. L'aspect humain (social) ainsi que des usages y sont très faiblement traités. Or, cet aspect est un élément fondamental pour toute politique de protection de l'environnement, particulièrement dans les milieux soumis à de fortes pressions anthropiques. Au regard de ce qui précède, et pour tenter d'assurer une meilleure protection des forêts tout en prenant en compte l'aspect humain, il devient indispensable de repenser les outils et stratégies de gestion.

8.2.2. Repenser les outils et stratégies de gestion des forêts protégées face à l'anthropisation

Les conflits d'usages et les oppositions observées dans la gestion des espaces protégés sont liés à la ***divergence d'intérêts*** entre la nécessité de protéger la nature et la survie ou besoins fondamentaux des populations locales. En effet, les populations ne trouvent aucun intérêt dans les politiques de gestion forestière actuelle, car elles se caractérisent par des mesures d'interdiction d'accès et d'exploitations des forêts. Ce contexte conflictuel est créé par une opposition systématique entre *protection et usage*, sans tenir compte du niveau de dégradabilité d'une activité d'une part, et de la volonté ou la capacité des populations locales à assurer un usage durable des ressources, d'autre part. Ces politiques de protection, opposant usage et protection (durabilité), sont élaborées suivant un ***modèle décisionnel prescriptif*** et s'inscrivent dans les courants de recherche qui désignent systématiquement les activités paysannes telles que l'agriculture sur brûlis comme un facteur contribuant à la déforestation et dégradation forestière. L'attitude des gestionnaires du territoire et de la conservation face à l'agriculture sur brûlis semble idéologique. Leur perception est uniformément négative, alors même que les effets des pratiques culturales traditionnelles sur les forêts n'ont pas encore véritablement été étudiés localement.

Si ce facteur peut être cité pour certains territoires, au Gabon, en général et dans la presqu'île de Libreville en particulier, le niveau de dégradabilité de cette activité s'avère très faible et son impact sur les forêts semble très limité. En effet, cette activité vivrière pratiquée par les populations villageoises permet une autorégénération des forêts (grâce à des périodes de mise en jachère longues). Son emprise spatiale est très limitée (généralement dans un rayon de 5 km autour des zones d'habitation) et les plantations sont de très petites tailles. De plus, cette activité n'est pas pratiquée de manière intensive, car destinée à l'autoconsommation et non à un marché. Précisons que l'agriculture traditionnelle sur brûlis est la première et principale activité pratiquée par les populations des zones rurales au Gabon. Chaque année, les ménages se dotent d'une nouvelle plantation (la durée d'exploitation d'un champ variant de 1 à 2 ans). Malgré l'existence de cette activité qui se pratique depuis des siècles, sa répétitivité et sa mobilité spatiale, elle ne constitue pas un facteur majeur de déforestation et son niveau de dégradabilité reste très marginal et peu connu. Malgré l'existence de cette activité, le couvert forestier du Gabon reste l'un des mieux conservés au monde. Deux facteurs peuvent justifier la faible implication de cette activité dans le processus de déforestation et de dégradation forestière au Gabon.

Le premier est lié à la faible population du Gabon, qui justifierait par conséquent une pression et des impacts très faibles sur le couvert forestier. Le second, tout aussi lié au premier, est la faible population agricole. L'exode rural a contribué au déclin de l'activité agricole, par le déplacement des populations (majoritairement des jeunes) des campagnes vers les villes. Cette activité a donc perdu sa force de travail. Elle est pratiquée essentiellement par une main-d'œuvre vieillissante. Aujourd'hui, la population du Gabon est composée de 85 % d'urbains contre 15 % de ruraux. Ce qui contribue davantage à réduire la taille de

la population agricole. Le niveau de dégradabilité de cette activité importante et vitale pour les populations villageoises est donc un élément à prendre en compte dans le processus décisionnel visant la conservation des forêts.

Repenser les modes de gestion des forêts nécessite un changement de paradigme et la cessation de toute forme de stigmatisation systématique des activités villageoises. Cette dernière vision a abouti à l'exclusion et à l'appauvrissement des populations au prétendu prétexte que l'agriculture sur brûlis est la cause de la régression forestière. Ceci a contribué à une opposition systématique entre protections et utilisation des forêts. Au regard de ce qui précède, nous préconisons une approche basée sur la convergence d'intérêts entre la protection et les usages des populations locales.

8.2.2.1. Une politique de gestion durable des forêts (concertative) basée sur la convergence d'intérêts

Pour être efficaces, les politiques de gestion durable de l'environnement doivent se défaire de toute vision et dimension **prescriptive**. Elles doivent impérativement être intégrées à un territoire. Par conséquent, elles doivent être réalisées sur la base des réalités concrètes et sur les connaissances approfondies **des pratiques**, **des usages** et du *fonctionnement* du territoire. Pour ce faire, il devient important d'associer les populations, autochtones, usagères dans les politiques de gestion, d'une part, et d'interroger *l'ingénierie traditionnelle,* d'autre part. Cette dernière idée peut être une solution d'aide aux politiques de développement durable et de conservation de la nature. Elle nécessite par conséquent l'introduction de la concertation entre gestionnaires et usagers. Cette dimension *concertative* a pour vocation de dissiper les oppositions et les conflits en responsabilisant les populations autochtones dans la gestion et l'exploitation durable des forêts. En effet, nous avons montré que les populations qui vivent des avantages de ces écosystèmes possèdent des savoirs et des pratiques qui contribuent à la préservation des ressources utiles pour leur propre vie. Le sentiment d'appropriation de terres par les populations est un facteur qui contribue à leur gestion durable. La politique de gestion durable, basée sur la convergence d'intérêt que nous proposons, se construit autour de trois éléments fondamentaux :

- La maitrise du foncier comme fondement préalable
- La maitrise des usages comme instrument
- La concertation et non la prescription

La maitrise du foncier, un fondement préalable

La gestion du foncier se positionne dans le cas d'espèce comme un outil indispensable pour une gouvernance territoriale durable et de l'environnement. En effet, la protection des ressources et des milieux naturels nécessite de nombreux outils parmi lesquels, la ***maitrise foncière***. Cette maitrise foncière est primordiale, surtout lorsqu'il s'agit d'un territoire aux enjeux complexes, avec des acteurs territorialisés

porteurs d'intérêts variés et divergents. La résolution des conflits fonciers se présente donc comme un fondement préalable pour une gouvernance territoriale durable de l'environnement. Nous avons montré dans les chapitres précédents que le foncier est caractérisé par la dynamique du « laissez-faire » : installation anarchique, occupation du domaine public de l'État, construction sans autorisations, etc. Dans ces conditions, l'État n'a aucune visibilité des utilisations du sol. Ce sont les populations qui décident en toute liberté de l'utilisation qu'elles feront de leurs parcelles. Les outils tels que les cartes d'utilisation des terres n'étant pas disponibles, ce qui complique davantage la maitrise des usages du sol. En matière d'acquisition foncière par exemple, ce sont les populations qui détiennent le marché et en tirent un maximum de profit au détriment de l'État.

En Afrique, l'exemple du Rwanda en matière de gestion foncière fait écho à notre vision. Le pays dispose d'un système de gestion et d'utilisation des terres digitalisée et très efficace. En quelque clics, les demandeurs peuvent avoir accès aux informations telles que le statut des terres, le type d'utilisation autorisé, les restrictions éventuelles, le type de droit foncier appliqué aux terres, les transactions en cours, les emplois faits des terres à un moment donné, les coordonnées SIG, etc. Cette connaissance et maitrise parfaite des ressources foncières réduit considérablement les usages spontanés et irréguliers.

Ainsi, pour être efficace, cette politique doit prendre en compte à la fois les acquisitions foncières et ***les usages***.

La maitrise des usages comme instrument

Une fois, les acquisitions foncières maitrisées, les conditions d'utilisation du sol définies, la connaissance des usages est un instrument qu'il faudra nécessairement maitriser. Elle vise un double objectif. Elle permet une identification des acteurs, mais surtout l'analyse du *degré de dégradabilité* des activités ou des usages. La connaissance du niveau de dégradabilité d'une activité permet de prendre des décisions en connaissance de cause. C'est un instrument d'aide dans l'élaboration des politiques intégrées de protection de l'environnement. Elles sont l'élément fondamental sur lequel se construit la convergence d'intérêt entre protection et usage durable. La connaissance du niveau de dégradabilité lié à un usage ou une activité permettra d'aboutir à la légitimation des interventions par la concertation avec les populations. Le but, ici, est la construction d'accords à l'échelle locale, pour intégrer les usages locaux et la protection des milieux. La question de la convergence d'intérêt est une possibilité à envisager afin de construire une stratégie de protection de milieux naturels intégrés au territoire. Cette convergence d'intérêt nécessite la légitimation par les pouvoirs publics de certains usages (à degré de dégradabilité faible) et des engagements de la part des populations autochtones pour une exploitation durable des ressources. Cette dernière idée vient d'une observation réalisée dans la zone sud de Libreville. Au cours d'une enquête de terrain réalisée en 2014 dans le cadre du projet MORIDEF, les données collectées ont montré que les populations ayant un fort intérêt pour les forêts, ont un niveau d'engagement et un souci de leur préservation très élevés. Par exemple, les

sites dans lesquels se pratiquent des usages culturels (sculpture/artisanat, cultes, médecine traditionnelle, etc.) sont ceux qui sont les mieux conservés. Les comportements ou les habitudes des populations usagères ont tendance à changer en fonction de leur niveau d'appropriation ou non des ressources. En d'autres termes, plus elles ont le sentiment de posséder une ressource, plus son usage se fait de manière durable.

La concertation/participation et non la prescription

Le modèle de gestion actuel fondé sur une approche prescriptive à créer l'exclusion, la pauvreté et une résistance territoriale de la part des populations. Cette résistance a, pour conséquence, la dégradation et le mitage de la forêt protégée. Dans ces conditions, il semble impératif d'intégrer les populations autochtones dans le processus de gestion des forêts. Pour ce faire, il faut intégrer la dimension participative et la concertation. Elle ne se limite pas à une simple information des populations sur des projets en cours. Pour être efficace, elle doit intégrer les points de vue des populations dans les décisions et outils de gestions durables des forêts. En effet, ces derniers ont des savoirs propres, concernant le sol, le fonctionnement des forêts. Ils connaissent les processus capables de favoriser la croissance de la forêt secondaire après l'abandon du champ (*Betsch, 2012*). Ces connaissances qu'ils possèdent, bien que non-académiques (non enseignées à l'école), sont efficaces et ils les intègrent systématiquement dans la gestion du cycle cultural. L'implication et la concertation avec les décideurs et les populations locales représentent des dimensions importantes dans une démarche de construction des projets d'intérêts communs. La dimension participative permet de prendre en compte les points de vue, ou « l'expertise des populations locales, afin de rendre plus représentatif et démocratique le mode de gestion du territoire. La dimension participative permet aussi de susciter l'adhésion des populations locales dans le projet de gestion et d'exploitation durable des écosystèmes.

Conclusion du chapitre 8

L'artificialisation entraine des impacts sur l'environnement, en l'occurrence sur les écosystèmes forestiers. Son évolution représente un enjeu important pour l'aménagement et la protection de la nature. Dans la commune d'Akanda, les changements d'occupation et d'usage des sols induisent des conséquences au niveau des processus qui les animent. Ce chapitre avait, pour principal objectif, l'analyse des impacts environnementaux et sociaux des changements d'occupation et d'usage des terres dans la commune d'Akanda. Les résultats mettent en évidence l'existence de fronts de pressions qui constituent des vecteurs de l'artificialisation des terres. Leurs évolutions possibles ou futures constituent un risque de dégradation qui menace l'intégrité des aires protégées.

Par ailleurs, l'avancée de l'étalement du bâti ainsi que l'artificialisation des terres qu'il engendre à des effets négatifs sur la vie des populations autochtones. Elle est source de paupérisation par la réduction des terres exploitables, l'altération des services écosystémiques et la transformation de leur milieu et mode de vie. L'analyse des impacts a aussi montré que la protection des forêts est aussi source de conflits. D'abord des conflits liés à sa délimitation, car la forêt protégée intègre les zones d'exploitation villageoise, mais aussi les conflits d'usages caractérisés par une interdiction d'exploitation et d'utilisation.

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

Cette partie tente de représenter ce que pourrait être la structure spatiale du paysage à partir de la connaissance de dynamiques passées et en cours. Elle s'inscrit dans le cadre de l'analyse portant sur les interactions entre l'homme et son milieu. Ces derniers suscitent de nos jours un intérêt de plus en plus important. Ces interactions sont considérées comme des clés qui permettent de comprendre et d'expliquer les processus de changements à l'œuvre. Parmi la panoplie des méthodes qui permettent d'étudier ces processus, la prospective territoriale spatialisée occupe une place de plus en plus importante. Elle s'inscrit dans le cadre des approches de l'anticipation des changements spatiaux en aménagement et en environnement. Le cas particulier de la commune d'Akanda (la presqu'île en général) nécessite que l'on s'intéresse à une approche anticipatrice pour tenter de caractériser le territoire de demain et évaluer les risques ou probabilités de dégradation des écosystèmes par les facteurs anthropiques. Au regard des dynamiques en cours et surtout de la spécificité de la zone d'étude (son mode de gestion), une approche exploratoire basée sur des scénarios tendanciels et d'encadrement a été choisie. Ici, le but de la modélisation est d'améliorer la connaissance des processus de changements d'occupation des sols et d'anticiper les modifications et dégradations futures. De ce fait, la modélisation constitue un outil de compréhension des processus et d'aide à la décision.

Les opérations de modélisation et simulations des changements ont permis de mettre en évidence les règles de transitions des entités d'occupation du sol, lesquelles ont été utilisées pour la simulation des changements futurs à l'aide des sous-modèles de transition. Les résultats cartographiques et statistiques obtenus à partir des scénarios construits, montrent l'importante de l'usage des modèles et de la prospective spatialisée pour la prédiction des effets de l'artificialisation des terres sur écosystèmes forestiers et les aires protégées. Les résultats mettent aussi en évidence des différences sensibles au niveau de la répartition spatiale des risques de dégradations futurs en fonction des classes et des zones. Les risques d'artificialisation sont très intenses dans les secteurs considérés comme étant des fronts de pressions anthropiques. Si les impacts environnementaux des changements d'occupation et d'usage des sols sont connus et visibles, leurs effets sur le plan social sont encore moins. À Akanda, cette analyse à montrer que le cadre de vie des populations autochtones se réduite et se transforme à cause d'une part de la protection d'une importante partie des forêts et de leur réduction par l'étalement du bâti d'autre part. Ces deux facteurs ont pour conséquence la réduction des terres exploitables et la raréfaction des services écosystémiques utiles aux populations locales ainsi que la transformation de leur mode de vie.

Au regard de ces faits, cette étude met aussi en évidence des conflits liés aux usages et à la délimitation de la forêt protégée. Ces conflits, attribuables au mode de gouvernance, sont à l'origine des nuisances et des dégradations à l'intérieur des aires protégées. Globalement, les résultats de cette partie montrent l'importance du renouvèlement des outils et des modes opératoires dans le cadre de l'élaboration des

politiques de gestions et protection de l'environnement. Les analyses sur l'impact de l'artificialisation des terres confirment l'importance de l'observation et du suivi des changements des paysages.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols sont les témoins des interactions hommes-milieux. Ces changements contemporains proviennent, entre autres, de l'influence de l'homme (à l'échelle locale) sur son milieu à travers ses pratiques et ses usages. La caractérisation des changements qui en découlent permet de mieux comprendre les interactions qui ont contribué à l'évolution des paysages. Ces actions sont aussi révélatrices des changements futurs possibles. Or, ces derniers, difficiles à anticiper, sont au cœur d'enjeux d'aménagement et de gestion du territoire tels que la préservation des milieux, de la biodiversité, de l'environnement ou encore du cadre de vie.

Pour analyser ces interactions et les dégradations ou changements qu'ils peuvent engendrer, une approche basée sur deux axes a été élaborée.

Dans un premier temps, l'occupation du sol a été décrite et mesurée à partir des cartes réalisées par télédétection. Les différentes typologies identifiées ont permis de mettre en évidence les principaux changements d'occupation du sol de la presqu'île et de la commune d'Akanda. Les dynamiques de l'artificialisation et de la déforestation varient en fonction de l'échelle d'analyse et des communes. Elle est plus forte dans les zones nord et sud. Cette analyse met en évidence les dynamiques d'urbanisation qui sont en cours dans ces territoires. Elle a permis d'identifier les classes d'occupation du sol au détriment desquelles se produit l'étalement du cadre bâti. Globalement, les surfaces artificielles augmentent aux dépens des forêts.

Les données statistiques des progressions et régressions des classes ont contribué à nourrir les réflexions sur le devenir des paysages périurbains et des écosystèmes forestiers. Ainsi, dans un second temps, des images différenciées du futur du territoire de la presqu'île de Libreville ont été construites à l'aide d'un modèle de simulation. Ces images, issues des scénarios, résultent de l'observation de tendances passées et des jeux d'hypothèses sur des évolutions futures plausibles. L'intérêt de cette démarche, qui consiste à envisager les changements futurs à partir de trajectoires observées, est qu'elle permet d'estimer la probabilité d'évolution des surfaces artificielles, de mesurer l'intensité des changements ainsi que les dégradations qu'elle pourra engendrer. En d'autres termes, la construction des images sur l'évolution de l'occupation de sol de la commune d'Akanda devrait permettre d'éclairer les effets de l'étalement urbain sur les structures paysagères et la société, d'aider à faire des choix en matière de politiques d'aménagement et de gestion sur des espaces encore non contraints par les différentes planifications existantes.

Synthèse des résultats

L'objectif poursuivi par cette thèse était d'identifier les processus qui sous-tendent les changements paysagers par l'analyse des transformations des écosystèmes naturels et aménagés. L'atteinte de cet objectif passe par l'étude des interactions entre les populations locales et leur environnement en vue de comprendre comment leurs pratiques influencent la structure du paysage. Dans un premier temps, nous avons pour cela :

i- Retracé et caractérisé les changements d'occupation et d'usages des terres passés et actuels. Cette analyse a été réalisée à une échelle régionale et locale. La reconstitution des trajectoires d'occupation et d'usage des sols a été faite à partir des données aéroportées aux échelles régionale et communale.

ii- Identifié les facteurs des changements observés ainsi que les pratiques des populations locales afin de définir les activités potentiellement dégradantes des écosystèmes forestiers. Cette étape a été possible grâce à la collecte de données de terrain auprès des populations et des observations *in situ*.

L'analyse spatiotemporelle des structures d'occupation du sol mises en évidence par télédétection a permis d'identifier les patrons spatiaux qui structurent le paysage de la presqu'île. L'étude diachronique des catégories d'occupation du sol a également permis de les quantifier, de mesurer leur rythme de changement et leur ampleur. Dès lors, les grands ensembles de l'occupation du sol ont été caractérisés. Les changements ont été analysés à deux niveaux : une échelle régionale (la presqu'île de Libreville) et une échelle communale (la commune d'Akanda). Ces analyses permettent d'appréhender les trajectoires de changement et leur dynamique en fonction de l'échelle d'analyse et des enjeux. Si l'échelle régionale nous permet d'appréhender les changements de manière globale, l'échelle locale, quant à elle, nous a permis d'évaluer et de caractériser les changements d'une manière fine. Au niveau régional, l'organisation spatiale parait plus homogène alors qu'au niveau local, elle parait très hétérogène. L'identification ou l'étude de la dégradation forestière, par exemple, n'a été possible qu'à cette échelle (locale). Toutefois, quelle que soit l'échelle d'analyse, les dynamiques observées, les logiques et les trajectoires de changements restent les mêmes. Ce constat est le même en ce qui concerne les facteurs de changements observés.

Plusieurs facteurs responsables des changements d'occupation du sol ont été identifiés. Cette analyse repose, pour l'essentiel, sur les données de terrain recueillies auprès des populations. Nous tentons de justifier les dégradations et changements observés par télédétection par une approche terrain. Il s'agit concrètement d'identifier sur le terrain, les activités ou pratiques des populations qui contribuent de manière directe ou indirecte aux changements du paysage et des écosystèmes forestiers. Les facteurs de changement identifiés sont constitués des pratiques des populations locales et des éléments qui relèvent des politiques de gestion du territoire. L'analyse des pratiques des populations locales consiste à identifier les activités qui potentiellement dégradent les écosystèmes forestiers. L'analyse des politiques de gestion a

permis de faire un lien entre ces dernières et les effets des activités des populations sur le territoire. Elle a pour but de déceler les signaux faibles des politiques gouvernementales. Cette analyse nous a permis de valider notre première hypothèse, selon laquelle *« l'agriculture vivrière de transition, l'évolution du cadre bâti, l'occupation anarchique et spontanée des terres, les modes d'appropriation des terres sont les pratiques (sociales) qui expliquent les changements des zones forestières et semi — forestières de la presqu'île de Libreville* ».

L'ensemble des facteurs cités nourrit un élément fondamental à savoir l'artificialisation des terres, dominé par l'étalement du cadre bâti. Ainsi, les processus d'appropriation des terres par les populations ont été analysés pour comprendre l'étalement résidentiel et la modification des structures spatiales du paysage qu'elle induit dans un territoire gouverné. Cette étude a révélé de grosses lacunes dans la gestion foncière de la presqu'île de Libreville. Ce territoire est dominé par les pratiques individuelles, le laissez-faire. Le marché du foncier est d'abord aux mains des populations autochtones, qui en tirent le plus gros bénéfice. L'installation des populations dans les zones forestières très éloignées du centre urbain précède toujours les projets de l'État. Aujourd'hui, toutes les terres de la presqu'île semblent être occupées de telle sorte que l'État a du mal à disposer des réserves foncières, même pour ses propres projets. Les marqueurs spatiaux d'appropriation des espaces, perceptibles en zone forestière et analysés dans le cadre de ce travail, sont une parfaite illustration de ces occupations anticipées.

Les facteurs de changements d'occupation et d'usage des terres ont été par la suite hiérarchisés par les populations locales. Dans un premier temps, les facteurs dont le processus abouti à l'étalement du bâti ont été synthétisés ou regroupés en un seul facteur : l'artificialisation. Puis, d'autres facteurs identifiés par les populations autochtones ont été complétés (l'agriculture, la pêche, l'extraction du sable, etc.). Ces facteurs ont été classés par les populations du plus impactant au moins impactant. De cette analyse, il ressort que deux activités sont particulièrement dévastatrices des forêts, à savoir, le cadre bâti et l'agriculture de transition. L'évaluation du processus d'artificialisation des terres a permis de valider cette analyse par l'étude des indices des pressions sur les écosystèmes forestiers et sur les ressources foncières. En effet, ce territoire subit une très forte pression anthropique. L'étalement du cadre bâti représente un enjeu majeur au regard de ses dynamiques. Ce phénomène est exacerbé par la forte croissance démographique que connait Libreville. Cette croissance induit des pressions sur les écosystèmes ainsi que le foncier à bâtir. Ainsi, le bâti, élément du paysage urbain, détruit la nature soit directement par les constructions diverses soit indirectement par une activité de transition. Ceci se traduit par une modification profonde des zones périphériques forestières à caractère rural. Ces zones sont peu à peu transformées en surface urbaine : c'est le cas des secteurs d'Avorbam, Malibé 1, Bikélé ou Essassa, etc. Ces éléments illustrent parfaitement notre deuxième hypothèse selon laquelle « *le paysage urbain absorbe les paysages ruraux et transforme le paysage forestier* ». Ici, la transformation des paysages forestiers renvoie aux processus d'artificialisation des terres et leur mode d'appropriation par les populations locales, tandis que l'absorption des paysages ruraux par le paysage urbain fait allusion à l'avancée du front urbain. Aujourd'hui, la presqu'île de Libreville est

caractérisée par une artificialisation des terres quasi généralisée. Ce phénomène est si fort que même les zones protégées sont affectées.

Après l'observation, le suivi, la compréhension et l'identification des facteurs de changement d'occupation du sol, le second objectif était l'analyse des transformations futures possible du territoire ainsi que l'évaluation des impacts des changements d'occupation et d'usage des terres. Pour cela, nous avons dans un second temps :

i- Modélisé et simulé les transformations possibles du territoire au regard de ses dynamiques passées et actuelles.

ii- Analysé les impacts des changements observés sur les paysages et le cadre de vie des populations locales.

L'analyse diachronique nous a permis de produire des données de référence sur les dynamiques passées des changements d'occupation et d'usage des sols. Ces données ont été utilisées pour modéliser et simuler les changements probables des catégories d'occupation du sol selon une approche prospective (plus précisément la géoprospective). La simulation repose sur la construction des sous-modèles de changement. Deux dynamiques nous ont principalement intéressées : l'artificialisation (qui englobe la déforestation et la dégradation forestière) et la régénération forestière. La famille des scénarios exploratoires a été retenue pour la simulation des changements. Deux types de scénarios ont été construits, l'un tendanciel et l'autre d'encadrement. Tous les scénarios et leurs hypothèses sont basés sur les transitions historiques de chaque classe. Les transitions qui permettent la reproduction de chaque sous-modèle ont été utilisées pour la simulation selon les différents scénarios. La modélisation repose donc sur une analyse fine du comportement de chaque catégorie d'occupation du sol dans l'espace et dans le temps. Les scénarios explorés avec le modèle *Land Change Modeler* ont produit des résultats cohérents avec les structures spatiales de la presqu'île. L'analyse de l'occupation du sol projeté selon le scénario tendanciel, qui, lui, ne prend en compte aucune contrainte, met en évidence une évolution très marquée du processus d'artificialisation des terres en 2025, 2030 et 2050. Par conséquent, les impacts de cette dynamique sont néfastes pour les écosystèmes forestiers, les zones protégées et même la vie des populations autochtones. Ce dernier élément justifie notre troisième hypothèse qui considère que, « *les changements observés (la déforestation, la dégradation forestière) ont pour conséquences la raréfaction des ressources et services écosystémiques, la paupérisation et le changement radical des modes de vie des populations autochtones* ». En effet, l'avancée du front urbain se fait au détriment des zones d'activités villageoises et affecte leur mode de vie par la réduction des terres agricoles et la raréfaction des services écosystémiques d'approvisionnement.

Les différents états de l'occupation du sol simulée, en 2025, 2030 et 2050, vont dans le sens de notre quatrième hypothèse qui envisage une accélération des dynamiques passée et en cours : « *l'espace libre (non affecté) de la presqu'île est totalement consommé, les zones protégées et sensibles sont mitées* ». La poursuite d'un étalement

du bâti au rythme d'aujourd'hui illustre une forte marge de liberté dans le processus d'occupation et d'utilisation des terres dans la presqu'île de Libreville. Ce scénario constitue donc une aide importante pour prévenir les installations et les occupations anarchiques déjà en cours de ce territoire.

Le scénario d'encadrement quant à lui est construit sur deux hypothèses qui explorent des évolutions probables des catégories d'occupation du sol. La première hypothèse (du scénario d'encadrement) intègre la notion de contrainte, contrairement au scénario tendanciel. Elle tente de projeter le devenir du territoire dans un contexte de strict respect de mesure de protection des aires protégées. Le but est de voir les trajectoires de l'étalement du bâti dans un contexte de restriction du degré de liberté d'occupation et d'utilisation des terres. Ainsi, entre 2030 et 2050, les changements ont été possibles sur l'ensemble du territoire excepté à l'intérieur des aires protégées. Les résultats montrent également de nouvelles zones de propagation et de densification des surfaces artificielles à l'extérieur et autour des zones protégées.

La deuxième hypothèse du scénario d'encadrement, plus expérimentale, tente de simuler les dynamiques d'autorégénération des forêts. Elle est construite sur la base du sous-modèle régénération forestière. Elle a pour but d'analyser la capacité de régénération des forêts laissées à leurs propres dynamiques et sans intervention volontaire. Cette hypothèse montre la capacité des forêts à recoloniser les espaces soit, après leur dégradation, soit après leur déforestation. Elle repose aussi sur les données historiques des changements d'occupation du sol. Ainsi, chacune des transitions aboutissant à ce phénomène a servi de données d'apprentissage au modèle. Les projections réalisées pour 2030 et 2050 montrent que les conditions de cette hypothèse ont été bien prises en compte par le modèle. Les écosystèmes forestiers ont tendance à regagner du terrain. Toutefois, les dynamiques d'autorégénération des forêts sont principalement basées sur la transition *forêt claire vers forêt dense*. Cela signifie que les forêts recolonisent très faiblement les espaces qu'elle a perdus (les espaces totalement déforestés). Seul le processus de densification forestière est important. Par ailleurs, le résultat montre aussi que la capacité d'autorégénération est plus forte à l'intérieur des surfaces protégées qu'à l'extérieur. Ceci démontre aussi que le modèle est fortement dépendant des données d'apprentissage.

L'ensemble des résultats met en exergue l'intérêt de la télédétection pour le suivi, la quantification et la modélisation des changements d'occupation du sol, notamment l'étalement du cadre bâti. Un intérêt particulier est aussi porté sur les données de terrain pour la détermination des facteurs de changements, leurs hiérarchisations, ainsi que l'analyse des impacts socio-environnementaux liés à l'artificialisation des terres (déforestation et dégradation forestière). Une telle étude nécessite une profondeur historique, c'est-à-dire un recours aux évènements passés. Le but est de mieux comprendre et d'expliquer les processus d'artificialisation des terres d'hier et d'aujourd'hui afin de nous permettre de nous projeter vers l'avenir. Au-delà de cet intérêt, la question de l'anticipation du changement, de la maitrise des dynamiques d'occupation et d'utilisation des terres en périphérie des grandes villes au Gabon, reste une préoccupation gouvernementale. La nécessité d'adopter une démarche proactive dans l'aménagement des espaces se pose

avec acuité. C'est pourquoi nous avons adopté une approche à la fois géohistorique (pour l'étude diachronique de l'évolution de la configuration spatiale du territoire) et prospective pour une analyse projective des dynamiques territoriales. L'implémentation de la dimension prospective dans les politiques publiques d'aménagement reste une alternative non négligeable. Cette dimension demeure absente des politiques de gestion territoriale et même dans le champ de la recherche au Gabon. Dans cette thèse, nous avons opté pour une recherche appliquée. Les résultats visent donc à attirer l'attention des gouvernants sur la nécessité d'encadrer le développement des zones périurbaines pour mieux anticiper et contenir les dégradations liées à une forte anthropisation des écosystèmes forestiers. Les simulations ou les cartes projetées ont pour vocation de constituer un outil d'aide à la décision pour mieux orienter et prévenir les possibles actions futures. Les alternatives au scénario tendanciel visent à présenter les conditions opérationnelles de préservation des forêts protégées et de montrer que l'autorégénération des forêts est possible, mais que cette dernière est stoppée par une forte intrusion des actions anthropiques notamment dans les zones protégées.

L'approche modélisatrice que nous avons appliquée dans cette thèse est générique, car, elle permet de simuler les dynamiques d'occupation de sol de toute nature. Elle repose sur la reproduction d'un modèle et des sous-modèles d'évolution historique des changements d'occupation du sol, dont les règles de transitions sont exprimées en probabilité de changements. Ces dernières permettent de simuler les changements futurs à l'aide des chaînes de Markov ou d'automate cellulaires. C'est une démarche déjà éprouvée et facilement reproductible.

La spécificité de cette thèse est qu'elle demeure une thématique d'actualité et non encore explorée dans le contexte scientifique gabonais, particulièrement en géographie. Elle est originale tant sur la thématique que sur la méthode. L'apport de cette thèse est qu'elle contribue à l'amélioration des connaissances des changements d'occupation et d'usage des terres en zone périurbaine, forestière et semi-forestière, par la mise en évidence des processus anthropiques qui engendrent les modifications. Elle met en lumière les enjeux du changement de l'organisation de la structure spatiale des paysages ainsi que les risques de dégradations éventuelles. Ces résultats peuvent être synthétisés dans les points suivants :

- L'identification, la mesure, la quantification, l'intensité des changements passées ainsi que leurs dynamiques.

- La connaissance des trajectoires d'évolution ou des zones d'expansion de l'artificialisation des terres à l'échelle régionale et locale. L'intensité des changements est différenciée en fonction des secteurs et des pressions en cours et est accrue dans les écosystèmes forestiers.
- L'identification des facteurs historiques de dégradation et de changement d'occupation du sol.

- L'étalement du bâti est bimodal, caractérisé par un développement le long des axes et par saute-mouton (ou en tache d'huile). L'intensité est plus forte dans les secteurs disposants d'un réseau de routes et pistes important, avec des activités pionnières. Le calcul des indices a montré que les pressions sur les écosystèmes forestiers ou sur les ressources foncières varient de modérées à fortes. Pour preuve, l'évolution moyenne annuelle de l'étalement de bâti de 2014 à 2018 s'opère quasiment sur le même rythme que celle de 2000 à 2014.

- La mise en lumière des variables motrices de cette dynamique de l'étalement du bâti, que sont, l'agriculture de transition, le type de logement (plein pied), les occupations foncières anticipées, la croissance démographique, le tout adossé au libre accès à la terre dans les zones forestières éloignées du centre urbain. Les changements d'occupation des sols provoquent des modifications de la structure paysagère à travers la fragmentation, la dégradation forestière et la transformation sociale des zones à caractère rural.

- La mise en lumière des processus d'appropriation des terres ainsi que les modes opératoires qui échappent aux pouvoirs publics (l'identification des marqueurs spatiaux et sociaux, des indicateurs de pression anthropique).

- Le retraçage des processus de dégradation forestière et l'identification des actions qui les engendrent. L'identification de l'hétérogénéité du couvert forestier (les différents états du couvert) est révélatrice des dégradations et des pressions en cours. L'étalement du bâti et la pratique des activités pionnières entrainent la fragmentation du paysage et impactent les aires protégées et sensibles. Peu à peu, la structure forestière de la forêt protégée se modifie et se dégrade.
- La mise en lumière des probabilités ou risques de dégradation des forêts, notamment, dans les aires protégées. Ces dernières sont menacées par l'étalement résidentiel au regard de ses probabilités d'évolution et de l'émergence ou la multiplication des fronts de pressions anthropiques.

- L'identification des fronts de pressions et la notion de territoires anticipés. Les indicateurs relevant des activités anthropiques ont servi pour décrire les processus et identifier les zones de pressions. La spatialisation des indicateurs a abouti à une corrélation entre ces derniers et les zones ayant subi une forte artificialisation.
- La nécessité d'anticiper l'artificialisation des terres ou l'étalement du cadre bâti pour préserver l'environnement et les aires protégées. La simulation ou production des cartes projetées représente un enjeu important pour analyser l'impact des changements d'occupation du sol.

Cette thèse vient nourrir des travaux en cours dans ce domaine. Sa spécificité demeure aussi au niveau de l'échelle d'analyse. La majorité des travaux sur la modélisation et la simulation des changements porte sur de vastes territoires, les grandes métropoles, de telle sorte que les travaux à une échelle locale ou de très petites villes sont peu nombreux. Sur le plan méthodologique, les scénarios réalisés ont permis de simuler plusieurs dynamiques à la fois, ce qui démontre l'efficacité du modèle à reproduire ou concevoir plusieurs images du futur. La simulation de l'artificialisation des terres et surtout du processus d'autorégénération des forêts dans un territoire non urbain est aussi une approche originale dans le domaine des *Land Change Sciences*. Nombreux sont les travaux qui portent sur les dynamiques urbaines, l'étalement urbain, les dynamiques agricoles, etc. Très peu de travaux tentent de modéliser les dynamiques de déforestation en zones périurbaines, encore moins les processus de régénération des forêts. Enfin, cette thèse coche également la case de la transversalité, notamment, sur le plan méthodologique. Elle fait appel aux outils et méthodes de la télédétection, la modélisation, la prospective et même l'écologie du paysage.
Toutefois, plusieurs pistes d'amélioration de ce travail, qui sont aussi des perspectives de recherche future, peuvent être énoncées :

- Améliorer les processus de simulation en intégrant plus de données explicatives afin de donner plus de poids et plus de crédibilité aux résultats.
- Améliorer la qualité des données en entrées du modèle pour augmenter la précision des cartes projetées.
- Expérimenter d'autres types de scénarios prospectifs (normatifs, accompagnent, etc.) et intégrer les documents de planification.
- Intégrer dans le processus de modélisation les dires d'acteurs pour répondre à toutes les exigences de la modélisation prospective.

Ces résultats doivent contribuer à l'interpellation des acteurs et des décideurs en charge du territoire. Ils posent l'urgence de développer et d'appliquer des stratégies intégrées et participatives dans la gestion du territoire pour parvenir aussi bien à la préservation des écosystèmes forestiers qu'à la préservation des conditions de vies des populations autochtones par une stratégie concertée d'exploitation durable des forêts.

Difficultés et limites

La simulation des changements d'occupation du sol pose encore de nombreux problèmes méthodologiques. Les modèles de simulation font l'objet de beaucoup de controverse liée à l'incertitude des processus territoriaux. Pour cela, nous avons effectué une évaluation des résultats. Nous estimons qu'un modèle est pertinent dès lors qu'il est capable de reproduire vraisemblablement les patrons spatiaux

du territoire réel à simuler et de reproduire les dynamiques sur une période passée. La modélisation prospective n'a pas vocation à prédire le devenir du territoire avec exactitude. Les cartes simulées d'occupation du sol ne sont pas le territoire, mais un état possible du territoire si et seulement si les dynamiques évoluaient dans le sens de nos hypothèses. C'est d'ailleurs pour cette raison que la simulation prospective est réalisée selon une approche probabiliste et non déterministe.

La validation des résultats des simulations a été réalisée par une approche comparative entre une carte réelle et une carte simulée de la même date (2018). C'est une méthode déjà éprouvée et très utilisée. De cette analyse, il ressort que le modèle est spatialement intelligent, car la localisation des changements a été bien réalisée. Les grands ensembles de la structure du paysage ont été parfaitement reproduits sur la carte simulée de 2018 comparativement à la carte réelle de la même date. Si en termes de localisation le résultat est bon, il l'est cependant moins en ce qui concerne la quantification des changements.

- L'analyse comparative des données statistiques entre la carte réelle et simulée montre des erreurs de surestimation et de sous-estimation des classes. Pour certaines catégories, les écarts entre les changements réels et simulés demeurent trop forts. L'incertitude liée aux résultats des simulations des changements d'occupation du sol demeure donc toujours une question centrale et reste un défi.

- Le modèle ne prend en compte que les données historiques des changements et facteurs d'évolution de l'occupation du sol. Les facteurs sociaux, difficiles à implémenter dans le modèle, n'ont pas été intégrés au processus de simulation. Seules les données quantifiables et spatialisables ont été prises en compte. En effet, la modélisation n'intègre pas de manière explicite les pratiques des populations locales. Le but des modèles n'était pas de reproduire ou de simuler le comportement des individus, encore moins les actions individuelles. Dès le départ, nous nous intéressions aux dynamiques spatiales, aux mouvements des structures du paysage qui résultent de l'interaction collective. On induit dans le raisonnement que le changement paysager observé est le résultat de l'ensemble des actions des populations dès lors qu'ils entrainent une modification de l'occupation du sol. L'approche terrain permet simplement une mise en correspondance des changements observés avec les facteurs identifiés. Aussi, pour certains facteurs de changements (non-application des lois et plans, concentration des activités économique, la pêche, la chasse, bois de chauffe, ceuillette, manque de maitrise des dynamiques foncières), leur influence est difficilement quantifiable dans la mesure où leur nature *aspatiale* ne permet pas de les mesurer. Dans ces conditions, ils peuvent juste être confrontés aux changements observés. Le recours à la dynamique globale des changements paysagers permet donc de prendre implicitement ou indirectement en compte l'ensemble des pratiques qui dégradent les écosystèmes forestiers.

- Les simulations réalisées sont libres, car elle n'intègre pas les documents d'aménagement et de planification. Elles ne s'intéressent qu'à la reproduction des dynamiques d'occupation et d'utilisation du sol. Cela se justifie par le fait que la planification des évènements sur ce territoire n'est pas effective. Le développement de la ville ne suit pas un plan prédéfini. Les documents existants (POS, SDAU, etc.) n'ont été que peu ou pas appliqués. La ville se développe au gré des urgences, des initiatives individuelles ou collectives, de la volonté politique. Dans ce type de territoire, la famille des scénarios exploratoires parait adaptée et le type tendanciel devient le principal ou central.
- Toutefois, les projections pourraient être améliorées par l'apport d'images à très haute résolution spatiale, mais aussi des facteurs d'évolution d'occupation du sol plus précis et mieux calibrés.

Malgré cela, ces limites n'altèrent pas les résultats présentés ici, car, cette thèse a permis d'identifier et de retracer les mécanismes des transformations des paysages forestiers et semi-forestiers des zones périphériques de la presqu'île de Libreville et de modéliser leur évolution possible. La modélisation est un outil efficace, car elle permet la compréhension des processus de changements. La mesure ou l'évaluation des surfaces artificielles est un facteur clé pour analyser et estimer les dégradations futures.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

A*buelgasim A ; Ross D ; Dopals S; Woodcock C.E.*, (1999). Change detection using adaptive fuzzy neural networks: Environmental damage assessment after the Gulf war. Remote Sensing of Environment, vol. 70, n° 2, 208-223.

Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN), (2016). Dynamiques spatiales et impacts environnementaux des extensions urbaines dans l'Arc d'Émeraude. UICN, CEM, WWF, 124 p.

Agence Gabonaise des Études et de l'Observation Spatiale (AGEOS), (2015). Cartographie du couvert forestier du Gabon de 2000 à 2015.

Aguejdad R., (2009). Étalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole. Thèse en géographie, Université Rennes 2, Haute-Bretagne.

Aguejdad R ; Doukari O ; Houet T ; Avner P ; Viguie V., (2016). Modélisation prospective de l'étalement urbain : apports et limites des modèles de spatialisation. Application aux modèles SLEUTH, LCM et NEDUM-2D. Cybergeo : European Journal of Geography, n° 782

Allogho nkoghe F. M., (2006). Politique de la ville et logiques d'acteurs. À la recherche d'alternatives d'aménagements pour les quartiers informels de Libreville (Gabon). Thèse de doctorat, Université de Montpellier III, Paul Valéry.

Allogho-Nkoghe F. (dir.), (2013). Libreville, la ville et sa région 50 ans après Guy Lasserre : Enjeux et perspectives d'une ville en mutation, Paris, Éditions Connaissances et Savoirs, 340 p *(12)*. L'urbanisation à l'assaut du littoral du Gabon. Available from: https://www.researchgate.net/publication/3

Antoni J-P., (2006). Calibrer un modèle d'évolution de l'occupation du sol urbain. L'exemple de Belfort », Cybergéo : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 347.http://journals.openedition.org/cybergeo/2436

Asner G.P; Broadbent E.N; Oliveira P. J ; Keller M. ; Knapp D. E, and. Silva J. N. M., (2006). Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences 103:12947–12950.

Authier J.Y., (2014). Préambule — Les trajectoires résidentielles : un champ de recherche pour saisir le sens des mobilités in : Mobilités résidentielles, territoires et politiques [en linge]. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, disponible sur Internet : http://books.openedition.org/septentrion/3182. ISBN : 9 782 757 414 262.

B*amba, I.,* (2010). Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo, Thèse de doctorat, Belgique, Université libre de Bruxelles.

Baudry J., Burel F., (2000). Écologie du paysage : outils, méthodes et concepts, Lavoisier, Paris.

Bayendi L.S. M ; Ndoutoume Ndong a ; Francis F., (2017). Le maraîchage périurbain à Libreville et Owendo (Gabon) : pratiques culturales et durabilité. Cahiers Agricultures, 26. DOI : 10,105 1/cagri/2 017 026

Beka A.B et Engo Assoumou H.C., (2021). L'aménagement urbain à Libreville : entre initiatives populaires et actions gouvernementales. In DE LA VILLE NON PENSÉE A LA VILLE PANSÉE. Réflexions et critiques géographiques sur Libreville. Sous la direction de R.M Nguéma et J.C Ndong Mba. Collection études africaines, série Urbanisme, aménagement et sociologie urbaine, Harmatan, avril 2021, 342 p.

Belaid A., (2005). Modélisation tridimensionnelle du comportement mécanique de la garniture de forage dans les puits à trajectoires complexes : application à la prédiction des frottements garniture-puits. Géologie appliquée. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2005. Français. ⟨NNT : 2005ENMP1323⟩. ⟨pastel-00579916⟩

Berger G., (1967). « L'attitude prospective », in Darcet J. (dir.). Les étapes de la prospective, Éditions Presses universitaires de France, Paris.

Bertrand G., (1975). « Pour une histoire écologique de la France rurale », in La Formation des campagnes françaises des origines au XIVe siècle*, G. Duby et A. Wallon,* Histoire de la France rurale *,* t. I, Seuil, Paris,

Betsch J.M., (2012). Agriculture itinérante sur brûlis, une menace sur la forêt tropicale humide ? Revue ethnoécologie (en ligne) ; 1/2012, mise en ligne le 30 novembre 2012, consulté le 20 octobre 2019. URL:http://journals.openedition.org/ethnoecologie/768.

Biboutou A. S., (2015). Actions anthropiques et dégradation des écosystèmes de la zone de Bambouchine et Bikélé entre 2000 et 2014 ; mémoire de master recherche, Dynamiques Spatiales Activités et Sociétés, Département de Géographie, Université Omar Bongo.

Bogaert J. & Halleux J. M., (2015). Territoires périurbains. Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud. Gembloux, Belgique : Presses agronomiques de Gembloux

Bogaert J., Bamba I., Kabulu J. P., Koffi K. J., De Canniere C., Visser M. & Sibomana S., (2008). Fragmentation of Forest Landscapes in central Africa : causes, consequences and management. In Patterns and Processes in Forest Landscapes : Multiple Use and Sustainable Management. (Eds. Lafortezza R., Chen J., Sanesi G. & Crow Th.R.), pp. 67-87. Springer, Verlag, New York.

Bogaert J. & Hong S. K., (2004). Landscape Ecology: monitoring landscape dynamics using spatial pattern metrics. In*:* Ecological Issues in a Changing World: Status, Response and Strategy (eds S.-K. Hong, J.A. Lee, B.-S. Ihm, A. Farina, Y. Son, E.-S. Kim & J.C. Choe), pp. 109-131. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Braud I. (coord.), (2011). Rapport final du projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri Urban Rivers), ANR Vulnérabilité Milieu Climat 2007, Lyon, Cemagref, 48 p.

Butler et al., (2007). Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. Sciences, 315:381-384

C*anadell P. et Raupach M.*, (2014). Global carbon report : emissions will hit new heights in 2014. ECOS, 2014 (199).

Chamussy H., Guérin JP., Le Berre M., Uvitta P. (1984). La dynamique des systèmes, une méthode pour la modélisation des unités spatiales. Espace géographique, n° 2, PP 81-93,

Claramunt C., Parent C., Spaccapietra S., Theriault M., (1999). "Data base modelling for environmental and land use changes", in Geertman S., Openshaw S., Stillwell J. (eds.) Geographical Information and Planning : European Perspectives, Berlin : Springer-Verlag, pp. 173-194, 1999.

Claramunt C., Theriault M., (1996). Toward semantics for modelling spatio-temporal processes within GIS", in Kraak M.J., Molenaar M. (eds.) Advances in GIS Research II, and London : Taylor & Francis, pp. 27-43, 1996.

Claramunt C., Theriault M., (1995). Managing time in GIS: an Event-Oriented Approach", in Clifford J., Tuzhilin A. (eds.) Recent Advances in Temporal Data bases., Berlin: Springer-Verlag and British Computer Society, pp. 23-42, 1995.

Clément D., Joliveau T. et Riviere-Honegger A., (2014). « Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 689, mis en ligne le 1er octobre 2014, consulté le 17 juillet 2018. URL : http:// cybergeo.revues.org/26483.

Collin Delavaud A., (2000). L'apport des images satellitaires dans l'étude des dynamiques de l'occupation du sol des villes d'Amérique Latine », Cybergeo : European Journal of Geography, Dossiers, Actes des Journées de Télédétection en Sciences humaines, document 156.

Congalton, R. G., (1991). Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data, Remote Sensing of Environment, Vol. 37, pp. 35–46.

Congalton, R. G., (1996). Accuracy Assessment: A Critical Component of Land Cover Mapping. Gap Analysis. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, pp. 119 – 131.

Contreras-Hermosilla A., (2000). The Underlying Causes of Forest Decline. CIFOR Occasional Paper No. 30, Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.

Coppin P & Bauer, M. E., (1996). Digital Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing Reviews*, *13* (3-4), 207-234. https://doi.org/10.1080/0275

Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lambin E., (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review Int. J. Remote Sens., 25 (9) (2004), pp. 1565-1596.

Coquillard P et Hill D.C.R, (1997). Modélisation et simulation des écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à évènements discrets, Paris, Édition Masson, 273 p.

Corbera E. et Schroeder H., (2011). Governing and implementing REDD+. Environmental science & policy, 14(2): 89-99.

Corgne S., (2004). Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. Géographie. Université Rennes 2, 2004. Français. <Halshs-00005478>

Corgne S., (2014). Étude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par télédétection et fusion d'informations. Géographie. Université Rennes 2

Costanza R., Voinov A., (2004). Landscape simulation Modeling. A spatially explicit, dynamic approach, New York, Springer.

Cottet M., (2019). « Notion en débat : paysage », Géoconfluence, octobre 2019. URL : http//geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/paysage

D*avid K. A.B; François G ; Richard C ; Thompson and Morton B.*, (2008). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 1985–1998 doi:10.1098/rstb.2008.0205

Davranche A, Nuscia Taïbi A., (2015). Les changements d'occupation et d'usage du sol, des processus multidimensionnels complexes qui affectent la biodiversité. Mathevet R. ; Godet L. Pour une géographie de la conservation, Harmattan, 978-2-343-06972-2

De Girardin Emile., (1852). La politique universelle, décrets de l'avenir

De Jouvenel B., (1964). L'art de la conjecture, Monaco, Éditions du Rocher, 369 p.

De Jouvenel Hugues., (1999). « La démarche prospective. Un bref guide méthodologique », Futuribles, No. 247, mise à jour 2002.

De Jouvenel Hugues., (2005). Comment être « artisan du futur » ? Une réflexion sur la méthode. Informations sociales n° 128, p. 6-19.

Découflé A.C., (1972). La prospective, Paris, Presses universitaires de France, 124 p.

Defries R. S., Asner G.P., Houghton R.A. (2004). Ecosystems and Land Use Change, Washington D.C.

Delamarre A., (2002). La prospective territoriale. Paris : La Documentation française, coll, « territoire en mouvement », 110 pages

Délégation à l'aménagement du Territoire et à l'action Régionale (DATAR), (1971). Une image de la France en l'an 2000. Scénario de l'inacceptable. Paris : La Documentation française, coll. « Travaux et recherches de prospective ».

Denoyer M., (2019). La modélisation et la représentation en mathématiques. Éducation.

Desclee B., et al. (2014). Évolution du couvert forestier du niveau national au régional et moteurs du changement. *In* : de Wasseige C. et al, éds. Les forêts du Bassin du Congo : état des forêts *2013*. Neufchâteau, Belgique : Weyrich, 21-46.

Di Gregorio, A., & Jansen, L.J.M., (1996a). Part I — Technical document on the Africover Land Cover Classification Scheme. pp. 4-33; 63-76, *in*: FAO. Africover Land Cover Classification.

Di Gregorio, A. & Jansen, L.J.M., (1997). A new concept for a land cover classification system. Proceedings of the Earth Observation and Environmental Information 1997 Conference. Alexandria, Égypt. 13-16 October 1997.

Di Gregorio, A. Jansen, L. J. M., (2000). Land Cover Classification System, Concepts and User Manual, Food and Agriculture Organization of the United Nations Publishing Service, Rome, 208 p.

Di Méo, G., (2008). Une géographie sociale entre représentation et action. Montagnes Méditerranéennes et développement territorial, 13-23

Di Méo, G., (2016). Une géographie sociale. Cybergeo : European Journal of geography.
Direction Générale de La Statistique et des Études Économiques, (1993). Recensement général de la population et de l'habitat (RGPL 1993). Libreville.

Direction générale des statistiques, (2010). Annuaire statistique du Gabon 2004-2008. Disponible sur http: //www.statgabon.org/documents/PDF/Donnees%20stat/Compteannuaire/Annu04

Direction Générale de La Statistique, (2015). Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL-2013), Libreville. 195 pages.

Djeki J., (2003). Politiques urbaine et dynamique spatiale au Gabon. Cas de Port-Gentil, thèse de doctorat en Géographie, université Laval, Québec

Donadieu P., (2007). « Le paysage, un paradigme de médiation entre l'espace et la société ? ». Introduction au dossier, *Économie rurale,* vol. 297-298, p. 5-9.

Dubreuil V., Delahaye C et Le Strat A., (2010). « Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil ». Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia, nº 10 (novembre). https://doi.org/10.4000/confins 6845.

Dubreuil V., Laques, A., Nedelec, V., Arvor, D. & Gurgel, H. (2008). Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso. L'Espace géographique, tome 37 (1), 57-74.

Dusseux P ; Corpetti T et Hubert-Moy L., (2019). L'usage de séries temporelles d'images de télédétection pour une gestion durable des territoires : Application à l'étude des prairies dans l'Ouest de la France. Cybergeo *:* European Journal of Geography [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 919

E*astman, J. R., Solorzano L and Van Fossen M.*, (2005). "Transition Potential Modeling for Land-Cover Change." In GIS, Spatial Analysis and Modeling, edited by David J. Maguire, Michael Batty and Michael F. Goodchild, 357-385. Redlands, CA: ESRI Press.

Edou Edou G., (2009). Le système de suivi technico-économique en 2008 : analyse des indicateurs de l'activité maraîchère en zone urbaine et périurbaine de Libreville. Gabon : IGAD Libreville, 81 p. [Google Scholar]

Essono Edoh Sossou F.E., (2020). Restructuration urbaine à Libreville (Gabon). Politique de la ville et logiques d'acteurs » Thèse de Doctorat, Université Omar Bongo

***F**AO,* (2020). Évaluation des ressources forestières mondiale

FAO, (2015). Évaluation des ressources forestières mondiales : Comment les forêts de la planète changent-elles ? 2e édition. URL : http://www.fao.org/docrep/013/i1757f/i4793f.pdf

F*AO*, (2010). Évaluation des ressources forestières mondiales 2010 : Rapport principal. [En ligne]. URL : http://www.fao.org/docrep/013/i1757f/i1757f00.htm

FAO, (2005). Foresterie urbaine et périurbaine en Afrique. Quelles perspectives pour le bois-énergie, Document de travail sur la foresterie urbaine et périurbaine. Rome, n° 4. 95 p.

FAO, (1999). State of the world forests. Rapport technique, FAO, 154 p.

Ferber J., (2006). Introduction aux concepts et méthodologies de conception multi-agent in : Amblard F. Phan D. eds. (2006). Modélisation et simulation multi-agent pour les Sciences de l'Homme et de la Société : une introduction, Londres, Hermes-Sciences, 414 p. ISBN : 2-7462-1310-9. Chapitre 1, p.11-36

Ferchichi A., (2017). Propagation et réduction des incertitudes dans les modèles de changement d'occupation des sols. Intelligence artificielle [cs.AI]. Université de la Manouba 2017. Français. ⟨tel-01667936⟩

Ferka Zazou N., (2006). Impact de l'occupation spatiotemporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier : Cas de la commune de Tessala, wilaya de Sidi-Bel-Abbès, Algérie, Mémoire de Magister, Algérie, Université de Tlemcen

Forrester J.W., (1968). Principles of Systems. Portland, Oregon: Productivity Press

Fourneau, F., Luginbuhl, Y. & Bernard, R., (1991). Évolution des paysages et aménagement du territoire en Andalousie occidentale. Ed. Casa de Velázquez, Madrid

***G**alet*, (2000). Une agriculture de subsistance face aux cultures commerciales : cas du Woleu Ntem (Gabon). Thèse de doctorat en géographie et écologie tropicales, Université de Bordeaux III

Galster G. Et al., (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. Housing Policy Debate, 12(4), pp. 681-717.

Gao, B.C., (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment 58: 257-266.

Gardia C., Montanarella A. D; Arrouaysc A; Bispob P.; Lemanceaud C; Jolivetc C. Muldere L; Ranjardd J; Rombke F. M; Rutgerse & Mentag C., (2007). Soil biodiversity monitoring in Europe: ongoing activities and challenges

Geist H. & Lambin E., (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience, 52(2), 143-150.

Geist, H. J., & Lambin, E. F., (2001). What Drives Tropical Deforestation. LUCC Report Series No. 4, 116.

Gomez-Pompa, A. Vasquez-Yanes and Guevara, S., (1972). The Tropical Rain Forest: A Nonrenewable Resource. Science 7 : 762–5.

Gordon et Al., (2008), Agricultural modification of hydrological flows create ecological surprises. Trends in Écologie and Évolution, 23 : 211-219

Gourmelon F ; Houet T ; Voiron C ; Joliveau T., (2012). La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective. Espace Géographique, Éditions Belin, 2012, pp.97-98. ⟨halshs-00750968⟩.

Gutman et Al., (2004) Chapter 26: Land Use and Land Cover Change Pathways and Impacts. Land Change Science : Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on Earth's Surface. Netherlands: Kluwier

H*ägerstrand T.*, (1952). "The propagation of innovation waves", Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography, 4: 3-19

Hasan A., (2019). Évaluation de la dégradation des forêts primaires par télédétection dans un espace de front pionnier consolidé d'Amazonie orientale (Paragominas). Géographie. Le Mans Université, 2019. Français. fftel-02081519f

Hornsby K., Yuan M. (2008). *Understanding Dynamics of Geographic Domains*. Boca Raton, FL : CRC Press, 2008.

Houet T., (2015). Prospective environnementale et géographie : Apports de la dimension spatiale. Géographie. Institut National Polytechnique de Toulouse

Houet T., (2015). Usages des modèles spatiaux pour la prospective. *Revue internationale de Géomatique*, vol. 25, n° 1, p. 123-143.

Houet T., Gourmelon F, (2014). La géoprospective — Apport de la dimension spatiale aux démarches prospectives. Cybergeo : Revue européenne de géographie/European journal of geography, UMR 8504 Géographie-cités, 7 p.

Houet T., Hubert-Moy L., Tyssot C., (2008). « Modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale : approche méthodologique », Revue internationale de Géomatique, vol. 18, n° 3, 345-373

Houet T., Gaucherel C. (2007). « Simulation dynamique et spatialement explicite d'un paysage agricole bocager : Validation sur un petit bassin versant breton sur la période 1981-1998 », Revue internationale de Géomatique, vol. 17, n° 3-4, 491-516.

Houet T., Verburg P., Loveland T. (2010 b) « Monitoring and modelling landscape dynamics ». Landscape Ecology, vol. 25, n° 2, 163-167,

Hubert-Moy L., (2004). « Occupation des sols et Télédétection : de l'inventaire à la modélisation prédictive », *Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Rennes 2, dir. Marchand J. P.

Hubert-Moy L., Corgne S., Houet T., Tissot C., (2006). « Modélisation prédictive et prospective des changements de l'occupation des sols ». Actes du colloque international « interactions Nature-Société, analyse et modèles ». La Baule : UMR 6554 LETG, 3-6 mai 2006, 6 p.

Hung P. T., (2000). Suivi de l'utilisation du sol à l'aide de l'image TM de Landsat et de la géomatique : Le cas du district de Bao Loc, Province de Lam Dong, Viet Nam (1992-1998), mémoire de maitrise, Département de géographie et géomatique, Sherbrooke : Université de Sherbrooke, 2000

I*ndjieley M.,* (2013). « Exploitation de ressources naturelles et risques environnementaux à la périphérie de Libreville », Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne], 261 | Janvier-Mars 2013, mis en ligne le 1er janvier 2015, consulté le 19 avril 2019.

J*ahnson R.L.*, (2001). Networks of predictions; futures vol.36, 1095-1102.

Julien, P. — A., Lamonde P. et Latouche D (1975). La méthode des scénarios : une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective. Groupe de recherches sur le futur, l'université du QUÉBEC.

K*ennedy, H. and Björk M.,* (2010). Seagrasses, in The Management of Natural Coastal Carbon Sinks in Coastal Ecosystems: Investigating and Realising the Potential, edited by D. d'A Laffoley and G. Grimsditch, pp. 23–30, IUCN, Gland, Switzerland.

L*acaux J-P., Tourre Y., Vignolle C.M, Ndione J-A, Lafaye M.*, (2006). "Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal," Remote Sensing of Environment 106 66–74

Lambin, E. F., and Strahler, A., (1994). Remotely sensed Indicator of Land-Cover Change for Multi-Temporal Change-vector Analysis. International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No.10, pp.2099-2119.

Lambin, E. F., Baulies, X., (1999). Land use and land cover change (LUCC) : implementation strategy. IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) Report 48, IHDP (International Human Dimensions Programme) Report 10, Stockholm

Lambin, E. F., (2001). The causes of land-use and land cover change : moving beyond the myths; Global Environmental change, vol.11 N° 4,261-269

Lambin E., (2004). Modeling land-use change, in WainWright J et Mullingan M. (eds), Environmental modeling: finding simplicity in complexity, London UK, John Wiley and sons Ltd 245-254.

Lambin, E. F., Geist H., (2006). Land Use and Land Cover Change. Local Processes, Global Impacts. Berlin : Springer-Verlag

Lambin et Geist H., (2007). Causes of land-use and land cover change ; Cutler J. Cleveland.

Langlois A., Phipps M., (1997). Automates cellulaires : applications à la simulation urbaine, Hermès, Paris.

Langlois P et al., (2005). La place du modèle et de la modélisation en science humaine et sociale. Ln Germond y (dir), modélisation en géographie. Déterminisme et complexité, Paris Elservier 35-48

Lassere G., (1959). Libreville : La ville et sa région. Sciences Politiques, Cahiers de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, Librairie Armand Colin, no 98, Paris, 347 p

Le Ber, F. Et Benoit, M., (1998). Modelling the spatial organisation of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. Agronomie : Agriculture and Environment, 18, 101-113.

Le Moigne JL., (1978). La théorie du système général. Presse Universitaire de France, Paris

Le Roux G, Bonvalet C, Bringe A. (2020). Trajectoires contextuelles et inégalités spatiales d'une génération de franciliens (1940-1950) à partir de données d'enquête, ffhal02974239

Lecerf R., (2008). Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (application à la Bretagne). Sciences de la Terre. Université Rennes 2.

Leveau P., (2020). « PAYSAGE HISTOIRE », Encyclopédia Universalis [en ligne], consulté le 09 mars 2021. URL : http://www.universalis-edu.com/enclopedie/histoire-du-paysage/

Loungou S., (2014). La destruction des villages de pêcheurs au sud de Libreville. Une opération entre impératif sécuritaire et spéculation foncière. *L'Espace Politique*. DOI : 10,400 0/espacepolitique.2997

Longaretti P.Y ; Vannier C ; Lasseur R ; Lavorel S., (2016). La modélisation des changements d'usage et de couverture des sols comme outil d'aide à la planification territoriale. Sciences Eaux & Territoires, INRAE, 2016, 21, pp.52-57. Ffhal-01685718f

Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E. (2004). Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing [En ligne], vol. 25, n° 12, p. 2365-2401.

M*aestripieri N., Houet T., Paegelow M., Selleron G., Toro Balbontin D., Saez Villalobos N.*, (2017). Dynamic simulation of forest management normative scenarios: the case of timber plantations in the southern Chile. *Futures*, 87.

Mabiala, A.P.F., (2010). *La périphérie nord de Libreville, espace de l'immigration clandestine d'origine ouest-africaine,* Mémoire de Maitrise en Géographie, Université Omar Bongo

Madébé D., (2014). Urbanisation et perspectives d'aménagement du territoire national. In Loungou S. (dir.), Les enjeux et défis du Gabon au XXIe siècle, réflexions critiques et prospectives des géographes, Paris, Éditions Connaissances et Savoirs, pp. 79-100.

Maloba Makanga, J. D., (2011). Les précipitations au Gabon : climatologie analytique en Afrique, Paris, Harmattan

Manembe S.M., (2001). Cartographie évolutive de l'occupation du sol à partir des données de télédétection multisources. (Application à la forêt classée de la Mondah), Mémoire de fin de cycle DESS TMGIE, Gabon, Université Omar Bongo/École Nationale des Eaux et Forêts.

Martin P., (2008). Influence de la fragmentation forestière sur la régénération des espèces arborées dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat : Université de Genève, Suisse, 2008.

Mas F., Kolb M., Houet T., Paegelow M., Camacho Olmedo M.-T. (2011). Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols. Une approche comparative. Revue internationale de Géomatique, p. 405-430.

Mas, J. F. (2000). Monitoring Land-Cover Changes : A Comparison of Change Detection Techniques. International Journal of Remote Sensing, 20(1), pp.139 - 152. [25]

Maud Loireau et al., (2007). Système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (Siel) pour évaluer le risque de désertification : situations comparées circumsahariennes (réseau Roselt), Sécheresse 2007 ; 18 (4) : 328-35

Mbana, D. M. C., (2001). Mise en place d'un système d'Information à références spatiales pour l'aide à la prise de décision (application à la forêt classée de la Mondah), Mémoire de fin de cycle DESS TMGIE, Gabon, Université Omar Bongo/École Nationale des Eaux et Forêts.

Moine A., (2007). Le territoire : comment observer un système complexe, Paris, Éditions L'Harmatan. 176 p

Montembault D., Geisler E., Romain F., Leconte L., Davodeau H., Toublanc M., (2016). « Participation citoyenne dans les projets de paysage : quel renouvèlement démocratique ? », Colloque Eclips - Université de Tours,

Morgane R., (2018). « Le *Leucaena leucocephala* et les Bas de l'Ouest à l'île de La Réunion », Retracer la trajectoire paysagère du *mosa* pour questionner un phénomène invasif. *Projets de paysage* [En ligne], 19 |URL : http://journals.openedition.org/paysage/413

Moussa, M. S. & Amadou, B., (2014). Indicateurs de mesure de la pression anthropique sur les ressources naturelles : exemple de la périphérie du Parc « W » dans la commune rurale de Tamou au Niger. VertigO, 14 (1).

Mpié Simba, C., (2015). Évaluation des changements de l'occupation du sol à l'aide des images satellitaires dans la zone de Bambouchine-Bikélé entre 1990 et 2014, Mémoire de Master, Gabon, Université Omar Bongo, Département de Géographie.

Mücher C.A ; Wascher D.M; Klijn J.A; Koomen A.J.M. and. Jongman R.H.G., (1993). A new European Landscape Map as an integrative framework for landscape character assessment. Alterra, Green World Research, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, the Netherlands

Nguéma R. M., (2005). « Développement de la ville, découpage et appropriation des territoires urbains au Gabon : le cas de Libreville », *Belgeo* [En ligne], 4 | 2005. URL : http://journals.openedition

Nguéma R. M., (2006). Les déguerpis, les expropriés et les autres : rénovation urbaine et extension périphérique à Libreville (Gabon), in Géopolitique, Mosella Tome XXI n° 14, 196 p.

Nguéma R. M., (2014). Politique de déguerpissement et processus de restructuration des territoires de Libreville (Gabon). ESPACE POLITIQUE, 22/2014-1. Les déplacements forcés dans les villes du sud : les déguerpissements en question.

Nivet C. ; Gosselin M. ; Chevalier, (2012). Évaluation des indicateurs nationaux de biodiversité forestière. Les indicateurs de biodiversité forestière. Synthèse des réflexions issues du programme de recherche » Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques » GIP Ecofor, p. 41 — p. 55, 2012, 978-2-914770-05-7. ffhal-00794558f

Ntsebe Onono Minko D., (2010). Processus d'urbanisation et aménagement de la province de l'Estuaire au Gabon, Université Omar Bongo — Maitrise en géographie

O*kanga Guay M.*, (2013). « Cartographie de l'extension urbaine et de la pression sur l'environnement : le cas de la périphérie nord de Libreville, Gabon », Revue gabonaise de géographie. N° 5, LANASPET, Université Omar Bongo, Gabon, pages 5-23

Okanga Guay M., Mpié Simba C., Ndonghan Iyangui N., Moussavou G., Obiang Ebanega M., Biboutou A. S., Nkoumakali B. et Mintsa Nguéma R., (2018). Transformations des paysages périurbains de Libreville (Gabon) : dynamiques de l'occupation du sol par télédétection de la zone de Bambouchine — Bikélé, 1990-2014. Revue canadienne de géographie tropicale/Canadian journal of tropical geography [En ligne], 5(2): 25-33.

Oloukoï J., (2013). Scénario socioéconomique et écologique des changements de l'occupation des terres au Bénin. [Vertigo] 131.

Oloukoï J., Mama V. J., Agbo F. B., (2006). Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des collines au Bénin. Télédétection, 6 (4), 305-323.

Orange Ravachol D., (2016). Problèmes, modélisations et modèles dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences de la nature à dimension historique : le cas des sciences de la vie et de la Terre, *in* Tréma *n° 45*

Ouoba, P. A., (2013). Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans la Sahel Burkinabè. Thèse de doctorat en géographie, Université de Ouagadougou, 305 p

P*aegelow M.*, (2004). Géomatique et géographie de l'environnement : de l'analyse spatiale à la modélisation prospective ; Habilitation à diriger la recherche, Université de Toulouse Le Mirail, 201 p.

Paegelow M., Camacho Olmedo M.T., (2005). Possibilities and limits of prospective GIS land cover modeling - a compared case study: Garrotxes (France) and Alta Alpujarra Granadina (Spain). International Journal of Geographical Information Science

Paegelow M et Camacho O., (2007). Modélisation géomatique rétrospective des paysages par évaluation multicritère et multiobjectif ; Cybergeo : European journal of geography

Paegelow M., (2008). Influence de la fragmentation forestière sur la régénération des espèces arborées dans le sud-ouest de la Cote d'Ivoire. Thèse de doctorat : Université de Genève, Suisse.

Paegelow M, Villa N, Cornez L, Ferraty F, Louis Ferre et Pascal S., (2017). Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 295.

Peiser, B. J., (2001). Comparative Analysis of Late Holocene Environmental and Social Upheaval', in Peiser, B. J., Palmer, T. and Bailey, M. E. (eds), Natural Catastrophes during Bronze Age Civilisations. British Archaeological Reports S728, Archaeopress: Oxford, pp. 117–39.

Pelissier P., (2000). « Les interactions rurales-urbaines en Afrique de l'Ouest et Centrale », *Bulletin de l'APAD*, Online since 12 July 2006

Pielke R.A., (2002). Mesoscale meteorological modeling. Academic Press, San Diego.

Popper K., (1973). La logique de la découverte scientifique. Paris : Payot, 480 p.

Pouchin, T. (2001). Filtres et Indices. Disponible auprès de : http://tpouchin.dub.fr/chapitre/filtres.htm ». Consulté en Avril 2021.

Pottier P., Allogho Nkoghe F.M., Koumba J.P., Ntsame Ondo. (2017). L'urbanisation à l'assaut du littoral du Gabon, in Les régions littorale du Gabon, élément de réflexion pour une planification stratégique du territoire. Édition : Geolittomer (France) et Raponda-Walker (Gabon)

Pourtier R., (1980). La crise de l'agriculture dans un État minier : le Gabon, Études rurales

R*apinel S.*, (2012). Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des zones humides : de l'observation à la modélisation prospective. Thèse de doctorat en Géographie, Université Rennes 2

Reidsma P, Tekelenburg T, Van Den Berg M, Alkemade R., (2006). Impacts of land-use change on biodiversity : an assessment of agricultural biodiversity in the European Union. Agriculture, Ecosystems and Environment ; 114:86–102.

Ridah L, (2008). Croissance démographique et dynamiques migratoires récentes des grandes villes tunisiennes, Les cahiers d'EMAM, 16 | 51-75

Robert S et Chenorkian R., (2014). Étudier les interactions hommes-milieux, pourquoi et comment p. 9-22. Dans « Les interactions Hommes-milieux », questions et pratiques de recherche en environnement, 182 p. Collection, indisciplines ; Editions Quae

Rosière. S., (2008). Dictionnaire de l'espace politique. Géographie politique et géopolitique, Paris, Armand Colin, 2008.

Rouse J., Haas R., Schell J., Deering D., Harlan J., (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final report, Greenbelt, MD, États-Unis, 371 p.

Rousseaux F., (2015). « Simulation spatiale de l'évolution des enjeux sur l'Île de La Réunion dans un contexte de risques naturels » Université de La Rochelle, UMR LIENSS

***S**almane H.,* (2013). Reconstruction et analyse de trajectoires 2D d'objets mobiles par modélisation markovienne et par la théorie de l'évidence à partir de séquences d'images monoculaires — Application à l'évaluation du danger aux passages à niveau. Traitement des images [eess. IV]. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2013.

Schlaepfer, M.A., M.C. Runge, and P. W. Sherman, (2002). Ecological and evolutionary traps. Trends in Ecology and Evolution 17:474-480.

Sensevy G et Santüini J., (2006). Modélisation : une approche épistémologique, in Aster n° 43

Simbou Mbadinga G., (2016). Politique d'aménagement urbain dans la périphérie de Libreville : cas de Bikélé. Mémoire de Master en Aménagement et Gouvernance des territoires. Département de Géographie, Université Omar Bongo, Libreville, 2016.

Steffen W. A ; Sanderson P.D. ; Tyson J.; Jäger P; Matson B; Moore Iii F; Oldfield K; Richardson, (2004). Global change and the earth system : A planet under pressure. The IGBP global change series. Berlin : Springer-Verlag

***T**abutin Dominique*, (1991). La croissance démographique de l'Afrique. Bilan et perspective. In : Tiers-monde, tome 32, n° 125, pp.159-173

Tedjoumessi Fonda P. D., (2018). État des lieux de la gestion côtière au Gabon et occupation du sol de la frange littorale de la commune d'Akanda. Mémoir de master, Gestion intégrée des Environnements Littoraux et Marins, parcours Aménagement, Département de Géographie, Université Omar Bongo

Tchamie, T. et Bouraima, M., (1997). Les formations végétales du plateau Soudou-Dako dans la chaîne de l'Atacora et leur évolution récente (Nord Togo). Journal botanique de la Société botanique de France, n° 3

Tchibozo, C. F., (1981). Contribution à l'étude biogéographique de la région de l'Atacora : étude typologique des unités de paysage du versant oriental de la chaîne de l'Atacora (à la hauteur de Natitingou). Thèse de doctorat, Université de Paris VII–Jussieu, Paris.

Theriault M ; Sparfel L ; Gourmelon F ; Iwan Le Berre, (2011). Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Cadres formels et exemple d'application. Revue internationale de géomatique DOI : 10,316 6/geo.21.267-295

Thompson J., (2009). Des fragments de nature : éléments d'une hétérogénéité paysagère façonnée par l'homme. In Garnier, L. (sous la dir). Entre l'Homme et la nature, une démarche pour des relations durables. Réserves de Biosphère. Paris : UNESCO, Notes techniques 3, p.50-53.

Turner B., Lambin E., Reenberg A., (2007). « The emergence of land change science for global environmental change and sustainability », Proceedings of the National Academy of Science of the USA, vol. 104, n° 52, 20666-20671

Turner, B. L., Clark, W.C., Kates, R. W., Richards, J. F., Mathews, J.T., Meyer, W.B., (1990). The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years, CUP Archive

***V**ande Weghe J.P.*, (2005). Les parcs nationaux du Gabon : Akanda et Pongara, Plages et mangroves, Gabon, WCS.

Vannier C Lasseur. R et al., (2017). Analyse des dynamiques paysagères dans le bassin de vie de Grenoble entre 1998 et 2009. Aide à la décision en matière d'usage des sols et de protection des écosystèmes N° 26

Vannier C., (2011). Observation et modélisation spatiale de pratiques agricoles territorialisées à partir de données de télédétection : application au paysage bocager. Géographie. Université Rennes 2. URL : http://norois.revues.org/3399 ; DOI : 10,400 0/norois.3399

*Veschambre V., (*2016). Introduction in : Paysages et patrimoines [en ligne], Tours : Presses universitaires François Rabelais. Disponible sur Internet : http://books.openedition.org/pufr/18357

Violaine J., (2007). « La notion de trajectoire en géographie, une clé pour analyser les mobilités ? », *EchoGéo* [En ligne]. URL: http://journals.openedition.org/echogeo/1704;

Voiron C; Dutozia J., (2017). Anticipating and simulating the change dynamics to diagnose and improve the resilience of an urban territorial system. Risques urbains, ISTE Ltd., 2017, 2 (1). ⟨halshs-02046694⟩

Voiron C ; Dutozia J ; Basse R.M ; Dubus N ; Maignant G et al., (2014). L'imbrication spatiale dans l'analyse des territoires : formalisation, modélisation, simulation. Revue d'économie régionale et urbaine, Armand Colin, 2014, ⟨10.3917/reru.104.0707.⟩. ⟨hal-01306315⟩

Voiron C., (2012). « L'anticipation du changement en prospective et des changements spatiaux en géoprospective », L'Espace géographique 2012/2 (Tome 41), p. 99-110. DOI 10.3917/eg.412.0099

Voiron C., (2006). L'espace dans la modélisation des interactions Nature-Société. Colloque international Nature-Société : Analyse et modèle, 3-6 mai 2006, La Baule.

Voisin L (Dir.) ; Servain S (dir.). (2016). Paysages et patrimoines. Nouvelle édition [en ligne]. Tours : Presses universitaires François-Rabelais. http://books.openedition.org/pufr/18327.

***W**achowicz, M.*, (1999) Object-oriented Design for Temporal GIS, London: Taylor & Francis,

Walyers G ; Ngagnia E ; Ikabanga D ; Biteau Jp ; Hymas O ; White Ljt ; Ndong Obiang A M ; Ndong Ondo P ; Jeffrey K L ; Lachenaud O ; Stevart T., (2015). Peri-urban conservation in the Mondah forest of Libreville, Gabon: Red List assessment of endemic plan species, and avoiding protected area downsizing, published online by Cambridge University

Watteaux M., (20011) (dir.). Les nouvelles de l'archéologie, no 125 : « L'archéogéographie. Un état des lieux et de leurs dynamiques »

Wieber J.C., Griselin M. et Ormaux S., (2008). « Le paysage, objet de recherche scientifique ? », dans Brossard Thierry et Wieber Jean-Claude (dir.), Paysage et information géographique. Lavoisier, Paris, p. 25.

Weber J., (1995), Gestion des ressources naturelles : fondements théoriques, CIRAD, 13 p

Y*engue J. L*., (2017). « Introduction au dossier "Les espaces verts urbains : éclairages sur les services écosystémiques culturels" », Environnement Urbain/Urban Environment [Online], Volume 11 | 2017, Online since 27 July 2017. URL : http://journals.openedition.org/eue/1940

Yuan D., Elvidge C.D., Lunetta R.S., (1998). Survey of Multispectral Methods for Land Cover Change Analysis. In: Lunetta, R. S. and Elvidge, C.D., Eds., Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring. Methods and Application, Taylor and Francis Ltd., 21-39.

Liste des figures

Figure 1 : Situation et emprise globale de la zone d'étude 6
Figure 2 : Évolution du pourcentage des évènements annoncés par le site Calenda de 2000 à 2015 17
Figure 3 : Schéma conceptuel des dynamiques d'anthropisation des zones périurbaines 22
Figure 4 : Schéma conceptuel du système Land cover/land use change 27
Figure 5 : Représentation graphique de deux réseaux de neurones de type perceptrons multicouche 35
Figure 6 : La géoprospective, une démarche à l'interface de plusieurs approches de modélisation 45
Figure 7 : Organisation administrative du Gabon 54
Figure 8 : Carte de localisation de la zone d'étude 55
Figure 9 : Altitudes de la presqu'île de Libreville 56
Figure 10 : Les limites de la Forêt classée de la Mondah de 1951 à 2012 58
Figure 11 : Emprise du parc Akanda 59
Figure 12 : Cartes des espèces de mangroves dans le grand Libreville 60
Figure 13 : Évolution de la population totale du Gabon entre 1960 et 2015 62
Figure 14 : Répartition de la population du Gabon en 2013 62
Figure 15 : Évolution de la population rurale et urbaine (en %) de 1960, 1993 et 2013 63
Figure 16 : Les étapes de la croissance spatiale de Libreville de 1880 à 1985 64
Figure 17 : Exemple d'organisation spatiale des projets d'aménagements gouvernementaux 67
Figure 18 : Exemple de cohabitation du spontané et aménagé au sud de Libreville 67
Figure 19 : Installation précaire des câbles électriques et des tuyaux d'eau par les populations 69
Figure 20 : Exemple d'organisation spatiale des quartiers spontanés d'initiative populaire 69
Figure 21 : Indentification (non exhaustive) des plantations sur brûlis de site maraîcher dans la presqu'île 78
Figure 22 : Activité agricole paysanne de type itinérante sur brûlis à Essassa 79
Figure 23 : Synthèse des principales étapes de la démarche méthodologique 87
Figure 24 : Images satellitaires utilisées. Landsat 4, 7 et 8 de la presqu'île de Libreville 89
Figure 25 : Illustration des données aériennes haute résolution prise par drone au sud de Libreville (2019) 90
Figure 26 : Spatiocarte de localisation des secteurs et parcours d'enquêtes de terrain. Réalisation 99
Figure 27 : Principales étapes méthodologiques du traitement des images pour la classification de l'occupation du sol 102
Figure 28 : Présentation générale du fonctionnement du modèle LCM (Aguejdad et Houet, 2008) 109
Figure 29 : Les grands ensembles d'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville 120
Figure 30 : Variation de l'indice de végétation entre 2000, 2014 et 2018 121
Figure 31 : Cartographie de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 1990 et en 2000 125
Figure 32 : État des superficies de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 1990 et 2000 126

Figure 33 : Cartographie de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 2014 et en 2018 127
Figure 34 : Évolution des superficies de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville en 2014 et 2018 128
Figure 35 : Évolution des proportions des catégories d'occupation du sol de 1990 à 2018. 128
Figure 36 : Taux d'évolution des catégories d'occupation du sol de 1990 à 2000 130
Figure 37 : Taux de changement des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014 131
Figure 38 : Taux de changement des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014 132
Figure 39 : Taux de changement global des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2018 133
Figure 40 : Dynamiques des catégories d'occupation de sol entre 2000 et 2014. 136
Figure 41 : Dynamiques surfaces naturelles 140
Figure 42 : Habitations construites dans les zones de mangrove au quartier Soduco à Libreville 141
Figure 43 : Destruction des surfaces de mangrove pour la construction de logement individuel 142
Figure 44 : Évaluation du taux d'artificialisation des terres par commune 149
Figure 45 (a et b) : Illustration de l'évolution de la fragmentation forestière dans un site de front pionnier 152
Figure 46 : Illustration de la Différence entre le MNT et le MNS. (Source : Google) 155
Figure 47 : Estimation des hauteurs du couvert forestier de la commune d'Akanda au nord de Libreville 156
Figure 48 : Classification des hauteurs des mangroves de la commune d'Akanda au nord de Libreville 156
Figure 49 (a, b et c) : État du couvert forestier de la commune d'Akanda en 2000, 2014 et 2018 159
Figure 50 : Forêt secondaire mature à canopée fermée (dans la forêt classée) 160
Figure 51 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2000 163
Figure 52 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2014 163
Figure 53 : Carte d'occupation du sol fine de la commune d'Akanda en 2018 164
Figure 54 : Écosystème de forêt très dégradée par les activités anthropiques autour de l'ARW 165
Figure 55 : Écosystème de forêt dégradée par les activités agricoles de transition dans la zone nord de Libreville 165
Figure 56 : États et types des mangroves à Akanda 167
Figure 57 : Cycle de dégradation des écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville 168
Figure 58 : Causes et conséquence des changements d'occupation et utilisation du sol 174
Figure 59 : Les principaux facteurs de changement passés qui ont influencé le territoire et son environnement 176
Figure 60 : Les principaux facteurs de changement actuels qui influencent le territoire et son environnement 177
Figure 61 : Facteurs de changements de l'occupation du sol et leurs conséquences. Réalisation : Cédric Mpié Simba 178
Figure 62 : Flux migratoires à destination de Libreville 179
Figure 63 : Développement de quartiers spontanés d'initiative populaire dans les zones périphériques nord 181
Figure 64 : Les pistes et les routes comme facteurs de propagation du cadre bâti 185
Figure 65 : Les arbres fruitiers comme mode ou marqueur d'appropriation des parcelles 188

Figure 66 : Processus d'appropriation des terres dans les zones de développement de front pionnier 190
Figure 67 : Agriculture de transition vers le bâti pratiqué sur les parcelles acquises par les populations 191
Figure 68 : Illustration du caractère itinérant des parcelles agricoles de l'agriculture traditionnelle..... 192
Figure 69 : Nombre moyen d'années d'occupation et d'installation par secteur 194
Figure 70 : Effectifs d'occupation et d'installation définitive par secteur par rapport aux occupations. 194
Figure 71 : Les principales activités pratiquées par les populations dans les zones forestières..... 195
Figure 72 : Carte des surfaces attractives et répulsives au cadre bâti (niveau 1) 198
Figure 73 : Cartographie des terres constructibles (aedificandi) et non constructibles (non aedificandi)..... 199
Figure 74 : Hiérarchisation des activités dégradant potentiellement les écosystèmes forestiers par les populations locales . 204
Figure 75 : Transitions entre toutes les classes d'occupation du sol de 2000 à 2018 215
Figure 76 : Représentation graphique du modèle de transition des entités d'occupation du sol entre T1 à T2...... 216
Figure 77 : Représentation graphique du modèle de transition des classes d'occupation du sol 217
Figure 78 : Représentation graphique du sous-modèle Artificialisation..... 218
igure 79 : Représentation graphique du sous-modèle régénération et restauration forestière 220
Figure 80 : Organigramme méthodologique pour la prédiction des changements d'occupation du sol avec LCM...... 221
Figure 81 : Représentation spatiale des facteurs testés pour le calcul de l'indice V de Cramer...... 230
Figure 82 : Facteurs de conversion des catégories d'occupation du sol..... 233
Figure 83 : Cartes prédictives de l'occupation du sol pour 2025, de la commune d'Akanda 237
Figure 84 : Cartes prédictives de l'occupation du sol en 2030 de la commune d'Akanda 238
Figure 85 : Cartes prédictives de l'occupation du sol en 2050 de la commune d'Akanda..... 238
Figure 86 : Transitions impliquant les processus de déforestation et dégradation forestières 242
Figure 87 : Cartes de potentialité de transition des catégories d'occupation du sol à l'horizon 2030 (pour H2)..... 243
Figure 88 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h1(2030) 244
Figure 89 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h1(2050) 245
Figure 90 : Transition impliquant le processus d'autorégénération des écosystèmes forestiers 247
Figure 91 : Carte des potentialités de transition des catégories d'occupation du sol à l'horizon 2030 (pour H2) 248
Figure 92 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h2 (2030) 249
Figure 93 : Cartes prédictives de l'occupation du sol d'après l'hypothèse h2 (2050) 249
Figure 94 : Comparaison de l'étalement des surfaces artificielles réelles et simulées pour l'année 2018 251
Figure 95 : Comparaison de l'état d'occupation du sol réel et simulé en 2018 254
Figure 96 : Risque d'artificialisation du territoire par les activités anthropiques 264
Figure 97 : Dynamique de la dégradation des écosystèmes forestiers dans l'ARW entre 2000 et 2018 265
Figure 98 : Évolution de la dégradation forestière dans l'Arborétum Raponda Walker en 2000, 2014 et 2018 266

Figure 99 : Analyse comparative des dynamiques de dégradation et de densification forestière 266
Figure 100 : Dynamiques d'autorégénération des forêts de la commune d'Akanda en 2030 et 2050 269
Figure 101 : Dynamiques d'artificialisation autour et à l'intérieur du parc Akanda en 2000 271
Figure 102 : Dynamiques d'artificialisation autour et à l'intérieur du parc Akanda en 2014 271
Figure 103 : Sites d'Angondjé Village (A) et de Okala-Mikolongo (B) 272
Figure 104 : Activités anthropiques dans les surfaces de mangrove 273
Figure 105 : Impacts des changements d'utilisation du sol sur les populations des zones semi-rurales d'Akanda 274
Figure 106 : Identification de ressources prélevées dans les aires protégées 276
Figure 107 : Identification des activités pratiquées dans les forêts au nord de Libreville 278
Figure 108 : Identification des usages de la forêt à but culturel au nord de Libreville 280
Figure 109 : Estimation de la part des populations déclarant un conflit lié aux limites du parc 281

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des méthodes de détection des changements selon Jensen (1996, 2005) ; Mas (2000) 30
Tableau 2 : Tableau synthétique décrivant les différents types de scénarios 41
Tableau 3 : Évolution du processus d'intégration de la dimension spatiale à la démarche prospective 46
Tableau 4 : caractéristiques des images satellitaires utilisées 88
Tableau 5 : Description des différentes classes d'occupation du sol retenues 93
Tableau 6 : Classification des valeurs de l'indice Kappa 94
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des variables d'analyse ainsi que leurs intérêts scientifiques 96
Tableau 8 : Classification des valeurs des indices de pressions anthropiques. 103
Tableau 9 : Caractéristiques des outils de modélisation 107
Tableau 10 : Caractéristiques et description des indices utilisés 119
Tableau 11 : Correspondance des valeurs du NDVI par catégories d'occupation du sol 122
Tableau 12 : Synthèse des résultats sur la fiabilité des cartes d'occupation du sol produites 122
Tableau 13 : Superficies des catégories d'occupation du sol en 1990 et 2000 124
Tableau 14 : Superficies des catégories d'occupation du sol en 2014 et 2018 126
Tableau 15 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 1990 et 2000 129
Tableau 16 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2000 et 2014 131
Tableau 17 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2014 et 2018 132
Tableau 18 : Variation des catégories de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 2000 et 2018 133
Tableau 19 : Différence périodique des taux d'évolutions entre (1990-2000) (2000-2014) et (2014-2018) 134
Tableau 20 : Matrice de transition des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014 137
Tableau 21 : matrice de transition des catégories d'occupation du sol entre 2014 et 2018 138
Tableau 22 : Traduction des mutations spatiales des catégories d'occupation du sol 139
Tableau 23 : Dynamiques de l'occupation du sol et du couvert forestier d'Akanda en 2000, 2014 et 2018 162
Tableau 24 : Classification des valeurs des indices de pressions anthropiques. 200
Tableau 25 : Indice de pression sur les ressources foncières par catégorie 200
Tableau 26 : Synthèse de l'indice de pression par catégorie et bilan ressource-usage 202
Tableau 27 : Les variables explicatives des changements utilisées pour la simulation de l'occupation du sol 229
Tableau 28 : Coefficients de l'indice V de Cramer des variables explicatives de changements d'occupation. 230
Tableau 29 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2025 236
Tableau 30 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030 236
Tableau 31 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050 237

Tableau 32 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres (en km²) de 2000 à 2018 et pour les scénarios tendanciels 2025, 2030 et 2050. 239
Tableau 33 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030 243
Tableau 34 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050 244
Tableau 35 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres (2000 à 2018) et pour l'hypothèse 1 du scénario d'encadrement en 2030 et 2050 245
Tableau 36 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2030 248
Tableau 37 : Matrice de probabilité des transitions pour la période 2050 248
Tableau 38 : Statistiques des catégories de l'occupation des terres pour l'hypothèse 2 en 2030 et 2050 250
Tableau 39 : Matrice de probabilité de transition des classes d'occupation du sol en 2018 253
Tableau 40 : Données statistiques de l'occupation du sol réelle et simulée de 2018 255
Tableau 41 : Quelques services environnementaux offerts par les écosystèmes forestiers du nord de Libreville 277

Annexes

Annexe 1. Questionnaire

15/07/ 2018 au 02 /11/2018 - CITERES

Questions Rétrospectives	
1	Au cours des 30 dernières années, quels ont été les principaux changements qui ont influencé le territoire et son environnement ?
Réponses	
2	Au cours des 30 dernières années, quelles ont été les principales inerties qui ont influencé le territoire ?
Réponses	
3	Quelles ont été les conséquences de ces changements ?
Réponses	
4	Parmi ces changements, quels sont ceux que les responsables du territoire ont bien anticipés ?
Réponses	
5	Quels sont les au contraire, les changements que les responsables du territoire n'avaient pas prévus ?
Réponses	
6	Avec le recul, face à ces changements, pouvez-vous dire si les réponses apportées par les responsables du territoire étaient appropriées ou au contraire inadaptées ?
Réponses	

Questions sur les dynamiques actuelles et prospectives	
7	Aujourd'hui, à quels enjeux d'aménagements le grand Libreville fait-il face ?
Réponses	

8	Selon vous, quels sont les facteurs de changements actuels ?
Réponses	
9	Quelles hypothèses pouvez-vous émettre sur l'évolution possible du grand Libreville ?
Réponses	
10	Quelles conséquences cette évolution peut-elle admettre ?
Réponses	
11	Quels sont selon vous les moteurs actuels de l'étalement urbain autour de Libreville ?
Réponses	
12	Quelles sont les activités dégradant potentiellement des écosystèmes forestiers ?

Réponses	
13	Sur la base de ces enjeux et des facteurs de changements identifiés, quels scénarios d'évolution possible pouvez-vous élaborer ?
Réponses	
14	Depuis quand occupez-vous cette parcelle ?
Réponses	
15	Depuis quand êtes-vous installé ?
Réponses	
16	Quelle est la première activité pratiquée sur la parcelle ?
Réponses	

Annexe 2. Guide d'entretien

Protocole d'entretien semi-directif

Je vous sollicite pour un entretien car dans le cadre de ma thèse dont le titre est : **Dynamique des paysages périurbains de la presqu'île de Libreville. De la caractérisation des trajectoires à la modélisation prospective.**

L'entretien portera sur les dynamiques paysagères et environnementales de Libreville et ses environs. Je cherche à décrire et à caractériser le déroulement dans le temps et dans l'espace de l'ensemble des activités et des processus qui ont entrainés des changements paysagers et les dégradations que l'on observe. Le but pour moi est aussi d'avoir votre point de vue et les conclusions que vous tirez concernant la transformation du territoire et son évolution d'identifier les enjeux et les conséquences sur le plan social.

Pour cela, je rencontre les différentes administrations compétentes, les gestionnaires territoriaux, les chercheurs afin d'avoir une vision globale des processus qui sou tendent les dynamiques paysagères dans la presqu'île.

Au cours de cet entretien, nous aborderons les grands thèmes suivant :

1- **Les interactions homme-milieu et les enjeux d'aménagement du territoire**
2- **La gestion foncière**
3- **Les facteurs de changement d'occupation du sol**
4- **Les enjeux environnementaux et leurs conséquences sociales**
5- **Les conflits liés à l'occupation du sol (conflits foncier, conflits d'usages, conflits de compétence)**
6- **Votre vision du devenir des zones périurbaines.**

Les données issues des entretiens seront généralisées et anonymes. Aucune information diffusée ne permettra de vous identifier personnellement.

Annexe 3. Land Change Modeler MLP Model Results

General Model Information (sous modèle Artificialisation)

(Created: 09/07/2020 18:10:41)

1) Input Files

Independent variable 1	Transitions 2000-2014
Independent variable 2	Artificialisation 2000-2014
Independent variable 3	EviLikelihoodLC-2000-2014
Training site file	LCM-1_Train_Artificialisation

2) Parameters and Performance

Input layer neurons	3
Hidden layer neurons	5
Output layer neurons	9
Requested samples per class	474
Final learning rate	0.0095
Momentum factor	0.5
Sigmoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	211
Training RMS	0.1641
Testing RMS	0.1641
Accuracy rate	100.00%
Skill measure	1.0000

3) Model Skill Breakdown by Transition & Persistence

Class	Skill measure
Transition : Forêt dense to Forêt claire	1.0000
Transition : Forêt dense to Surface artificielle	1.0000
Transition : Forêt claire to Surface artificielle	1.0000
Transition : Mangrove to Surface artificielle	1.0000
Transition : Surface en eau to Surface artificielle	1.0000
Persistence : Forêt dense	1.0000
Persistence : Forêt claire	1.0000
Persistence : Mangrove	1.0000
Persistence : Surface en eau	1.0000

Weights Information of Neurons across Layers

1) Weights between Input Layer Neurons and Hidden Layer Neurons

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2	h-Neuron 3	h-Neuron 4	h-Neuron 5
i-Neuron 1	-0.7717	3.0280	5.1382	-8.7223	-2.2474
i-Neuron 2	-1.7758	-11.1272	0.7520	10.9267	-4.0110
i-Neuron 3	9.3120	-0.3772	-6.6081	2.2140	-1.0942

2) Weights between Hidden Layer Neurons and Output Layer Neurons

Neuron	o-Neuron 1	o-Neuron 2	o-Neuron 3	o-Neuron 4	o-Neuron 5	o-Neuron 6	o-Neuron 7	o-Neuron 8	o-Neuron 9
h-Neuron 1	-1.3037	1.5918	-4.9797	4.8600	-7.7436	-0.6933	-3.6384	5.9063	-7.0457
h-Neuron 2	0.0885	-5.2760	-8.3783	-7.9027	-5.3689	-0.4958	0.3961	-1.0652	5.9999
h-Neuron 3	-1.9034	1.8981	3.9492	-6.2576	-2.1197	-7.6614	-0.7709	-6.8317	0.3230
h-Neuron 4	-2.9277	-10.6153	-5.1795	2.7291	6.1914	3.8928	-4.5180	-8.4613	-6.5571
h-Neuron 5	3.5348	-1.9143	-1.7193	-4.3911	-3.2296	6.8089	7.0951	-2.9196	-3.8877

Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant

1) Forcing a Single Independent Variable to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence order
With all variables	100.00	1.0000	N/A
Var. 1 constant	55.40	0.4983	3 (least influential)
Var. 2 constant	11.59	0.0054	1 (most influential)
Var. 3 constant	44.88	0.3798	2

2) Forcing All Independent Variables Except One to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	100.00	1.0000
All constant but var. 1	11.59	0.0054
All constant but var. 2	44.51	0.3757
All constant but var. 3	22.85	0.1321

3) Backwards Stepwise Constant Forcing

Model	Variables included	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	All variables	100.00	1.0000
Step 1: var.[1] constant	[2,3]	55.40	0.4983
Step 2: var.[1,3] constant	[2]	44.51	0.3757

General Model Information (Sous modèle déforestation)

(Created: 20/09/2020 21:02:18)

1) Input Files

Independent variable 1	EvidenceLikehooh2000_2018
Training site file	LMC-1_Train_Déforestation

2) Parameters and Performance

Input layer neurons	1
Hidden layer neurons	3
Output layer neurons	6
Requested samples per class	2258
Final learning rate	0.0003
Momentum factor	0.5
Sigmoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	10000
Training RMS	0.2920
Testing RMS	0.2920
Accuracy rate	50.11%
Skill measure	0.4013

3) Model Skill Breakdown by Transition & Persistence

Class	Skill measure
Transition : Forêt dense to Forêt claire	1.0000
Transition : Forêt dense to Surface artificielle	1.0000
Transition : Forêt claire to Surface artificielle	1.0000
Transition : Mangrove to Surface artificielle	-0.2000
Persistence : Forêt dense	-0.2000
Persistence : Forêt claire	-0.2000

Weights Information of Neurons across Layers

1) Weights between Input Layer Neurons and Hidden Layer Neurons

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2	h-Neuron 3
i-Neuron 1	3.3504	15.5527	-12.0141

2) Weights between Hidden Layer Neurons and Output Layer Neurons

Neuron	o-Neuron 1	o-Neuron 2	o-Neuron 3	o-Neuron 4	o-Neuron 5	o-Neuron 6
h-Neuron 1	-29.2921	-1.2603	4.7364	-29.0548	-1.3408	4.8364
h-Neuron 2	22.0136	-5.5872	-3.9579	21.8157	-5.5232	-4.0442
h-Neuron 3	-18.9742	28.0167	-24.1486	-18.8201	27.9276	-24.0193

3. Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant

1) Forcing a Single Independent Variable to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence order
With all variables	50.11	0.4013	N/A
Var. 1 constant	16.70	0.0004	1 (most influential)

2) Forcing All Independent Variables Except One to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	50.11	0.4013
All constant but var. 1	50.11	0.4013

3) Backwards Stepwise Constant Forcing

Model	Variables included	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	All variables	50.11	0.4013

Annexe 4 : Les matrices de transitions

Matrice des transitions des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2014

		2000								
		Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Sol nu	Surface bâtie	Surface en eau	Masque	Total 2014	Surface gagnée
2014	Forêt dense	**149.57**	23.45	12.79	0.06	0.45	0.01	0.00	186.32	36,76
	Forêt claire	83.50	**98.24**	21.11	1.95	13.85	0.09	0.00	218.75	219.12
	Mangrove	3.98	0.12	**216.75**	0.60	1.85	1.66	0.00	224.96	225.20
	Sol nu	3.65	6.62	12.45	**6.28**	3.78	0.88	0.00	33.67	34.03
	Surface bâtie	7.34	45.69	6.45	3.56	**88.11**	0.43	0.00	151.58	153.44
	Surface en eau	0.09	0.03	2.32	0.36	0.30	**38.06**	0.00	41.16	41.80
	Masque	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95	1.95	
Total 2000		248.15	174.21	272.23	12.90	108.39	42.10	1.95	0.00	
Changements de classes		**98.58**	**75.96**	**55.48**	**6.63**	**20.28**	**4.04**	0.00	0.00	
Surface muté		**-61.81**	**44.91**	**-47.03**	**21.12**	**45.05**	**-0.30**	0.00	0.00	

Matrice des transitions des catégories d'occupation du sol entre 2014 et 2018

		2014								
		Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Sol nu	Surface bâtie	Surface en eau	Pixels Masqués	Total 2018	Surface gagnée
2018	Forêt dense	143.63	24.92	1.76	0.21	0.03	0.00	-	170.55	170.55
	Forêt claire	31.59	144.79	2.59	20.77	3.14	0.01	-	202.88	202.88
	Mangrove	7.70	11.78	209.82	2.98	8.40	0.25	-	240.93	240.93
	Sol nu	0.01	0.42	0.12	3.62	0.46	0.00	-	4.62	4.62
	Surface bâtie	1.50	31.68	0.61	14.37	125.99	0.16	-	174.31	174.31
	Surface en eau	0.17	0.37	5.96	0.77	2.75	40.68	-	50.70	50.70
	Pixels masqués	1.75	5.16	4.33	2.27	1.72	0.69		15.91	15.91
Total 2014		186.34	219.12	225.19	34.03	153.44	41.81	0.00	0.00	
Changements de classes		**42.71**	**74.33**	**15.37**	**30.41**	**27.45**	**1.12**	0.00	0.00	
Surface muté		**-15.79**	**-16.24**	**15.74**	**-29.41**	**20.87**	**8.89**	0.00	0.00	

Matrice des transitions des catégories d'occupation du sol entre 2000 et 2018

		2000								
		Forêt dense	Forêt claire	Mangrove	Sol nu	Surface bâtie	Surface en eau	Masque	Total 2018	Surface gagnée
2018	Forêt dense	142.23	18.76	9.08	0.41	0.05	0.00	0.00	170.53	170.55
	Forêt claire	78.04	92.81	16.11	1.78	13.69	0.08	0.32	202.82	202.88
	Mangrove	8.75	1.43	225.69	1.59	2.23	1.02	0.15	240.87	240.94
	Sol nu	0.07	0.06	1.32	2.99	0.14	0.04	0.00	4.62	4.62
	Surface bâtie	16.53	55.55	5.39	4.62	89.86	0.47	1.48	173.89	174.31
	Surface en eau	0.48	0.22	7.84	1.41	0.88	38.91	0.01	49.75	50.69
	Masque	2.05	5.32	6.44	1.23	0.26	0.61	0.00	15.91	15.91
Total 2000		248.15	174.21	272.23	12.90	108.39	42.10	1.96	0.00	0.00
Changements de classes		**105.92**	**81.40**	**46.54**		**18.53**	**3.19**	**1.96**	0.00	0.00
Surface muté		**-77.60**	**28.67**	**-31.29**	**-8.28**	**65.92**	**8.59**	**13.96**	0.00	0.00

Annexe 5 : les matrices de confusion

Matrice de confusion de l'occupation du sol en 2000

Couverture du sol		Fd	Fc	Mv	Sn	Sb	Se	TOTAL	**Précision du réalisateur**
Forêt dense	Fd	**98.75**	7,12	0,41	0,00	6,15	0,00	133,09	**98.75**
Forêt claire	Fc	0,69	**92,13**	0,05	0,66	3,41	0,00		**46.52**
Mangrove	Mv	0,51	0,02	**99,31**	1,99	0,01	0,20		**99.31**
Sols nus	Sn	0,00	0,66	0,12	**76,45**	0,00	0,00		**76.45**
Surfaces bâties	Sb	0,04	0,07	0,07	20,56	**90,44**	0,14		**90.44**
Surfaces en eau	Se	0,00	0,00	0,05	0,33	0,00	**99,66**		**99.66**
TOTAL		100	100	100	100	100	100		
Précision de l'utilisateur (%)		**71.97**	**92.13**	**99.50**	**92.20**	**98.51**	**99.78**		
Précision globale: 88,96									
Indice Kappa : 0,85									

Matrice de confusion de l'occupation du sol en 2014

Couverture du sol		Fd	Fc	Mv	Sn	Sb	Se	TOTAL	**Précision du réalisateur**
Forêt dense	Fd	**97,98**	21,23	0,31	0,00	0,00	0,00		**97.98**
Forêt claire	Fc	2,00	**78,06**	0,32	0,19	0,16	0,00		**78.06**
Mangrove	Mv	0,01	0,00	**99,28**	0,00	0,00	0,71		**99.28**
Sols nus	Sn	0,00	0,00	0,04	**98,73**	0,16	0,09		**98.73**
Surfaces bâties	Sb	0,01	0,71	0,00	1,07	**99,68**	1,07		**99.68**
Surfaces en eau	Se	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	**98,12**		**98.12**
TOTAL		100	100	100	100	100	100		
Précision de l'utilisateur (%)		**92.57**	**92.25**	**99.81**	**98.26**	**97.93**	**99.78**		
Précision globale: 96,06									
Indice Kappa : 0,94									

Matrice de confusion de l'occupation du sol en 2018

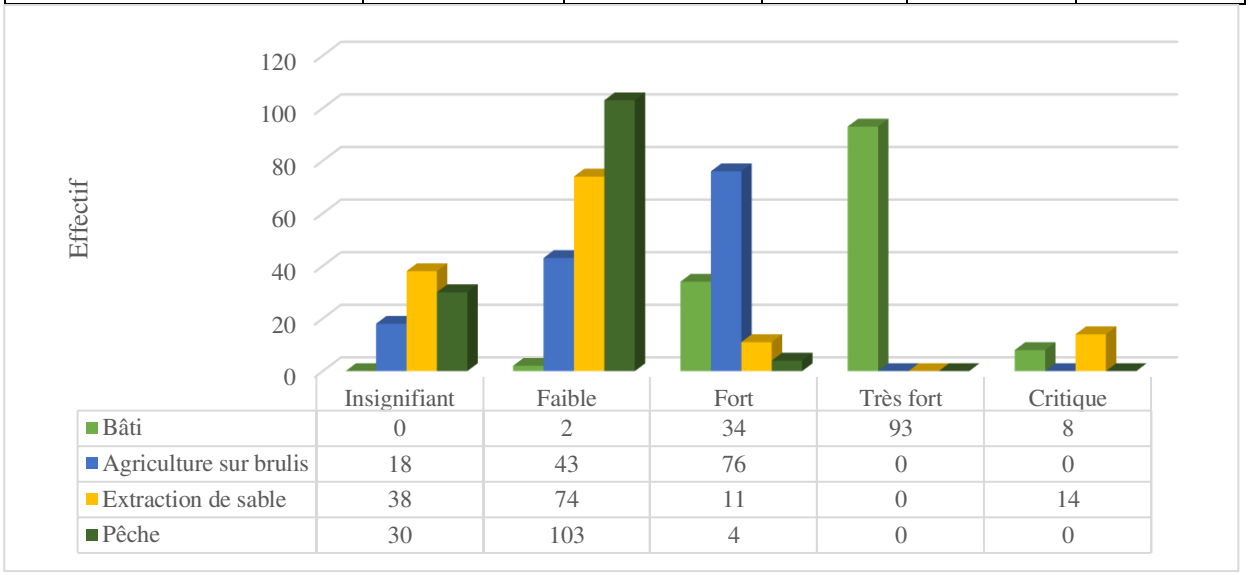
Couverture du sol		Fd	Fc	Mv	Sn	Sb	Se	TOTAL	**Précision du réalisateur**
Forêt dense	Fd	**96,10**	18,03	0,06	0,00	0,00	0,13		**96.10**
Forêt claire	Fc	3,45	**80,90**	0,05	1,07	1,44	0,03		**80.90**
Mangrove	Mv	0,45	0,12	**99,82**	2,13	0,00	1,00		**99.82**
Sols nus	Sn	0,00	0,00	0,07	**73,56**	0,00	0,00		**73.56**
Surfaces bâties	Sb	0,00	0,95	0,00	23,24	**98,56**	0,00		**98.56**
Surfaces en eau	Se	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**98,84**		**98.84**
TOTAL		100	100	100	100	100	100		
Précision de l'utilisateur (%)		**96.29**	**79.02**	**98.40**	**100.00**	**98.79**	**99.89**		
Précision globale: 96,41									
Indice Kappa : 0,95									

Matrice de confusion de l'occupation du sol en 1990

Couverture du sol		Fd	Fc	Mv	Sn	Sb	Se	TOTAL	**Précision du réalisateur**
Forêt dense	Fd	**90,96**	8,97	0,00	0,18	0,05	0,00		**90,96**
Forêt claire	Fc	6,44	**90,86**	0,00	0,00	2,00	0,00		**90,86**
Mangrove	Mv	2,40	0,03	**100**	3,35	0,00	0,00		**100**
Sols nus	Sn	0,00	0,00	0,00	**70,02**	0,00	0,00		**70,02**
Surfaces bâties	Sb	0,02	0,13	0,00	26,46	**97,95**	0,00		**97,95**
Surfaces en eau	Se	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**100**		**100**
TOTAL		100	100	100	100	100			
Précision de l'utilisateur (%)		**94,65**	**87,06**	**93,56**	**?**	**90,44**	**91,47**		
Précision globale: 91,68									
Indice Kappa : 0,89									

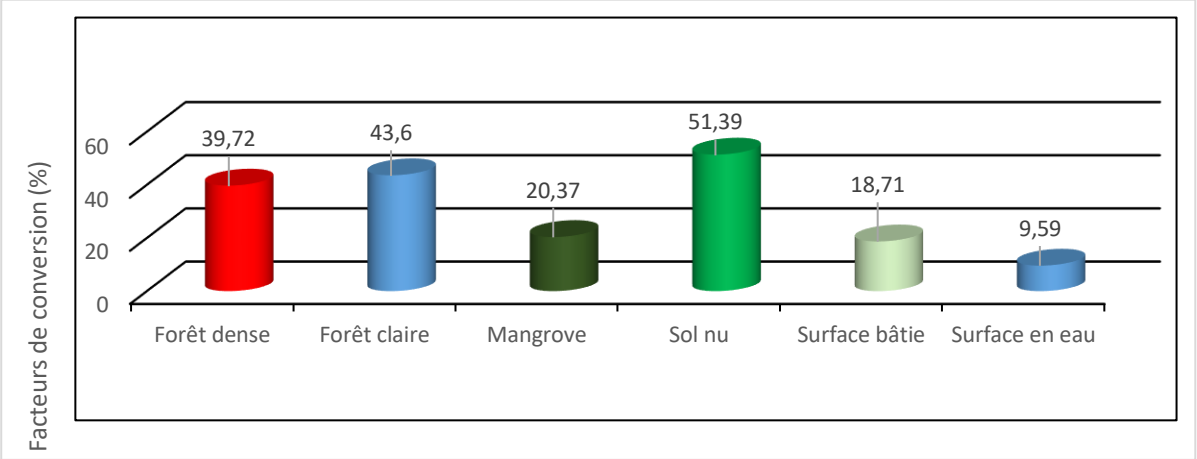
Annexe 6 : Grille d'hiérarchisation des impacts des activités anthropiques par les populations

Activités	**Insignifiant**	**Faible**	**Fort**	**Très fort**	**Critique**
Bâti					
Agriculture sur brulis					
Extraction de sable					
Pêche					
TOTAL					

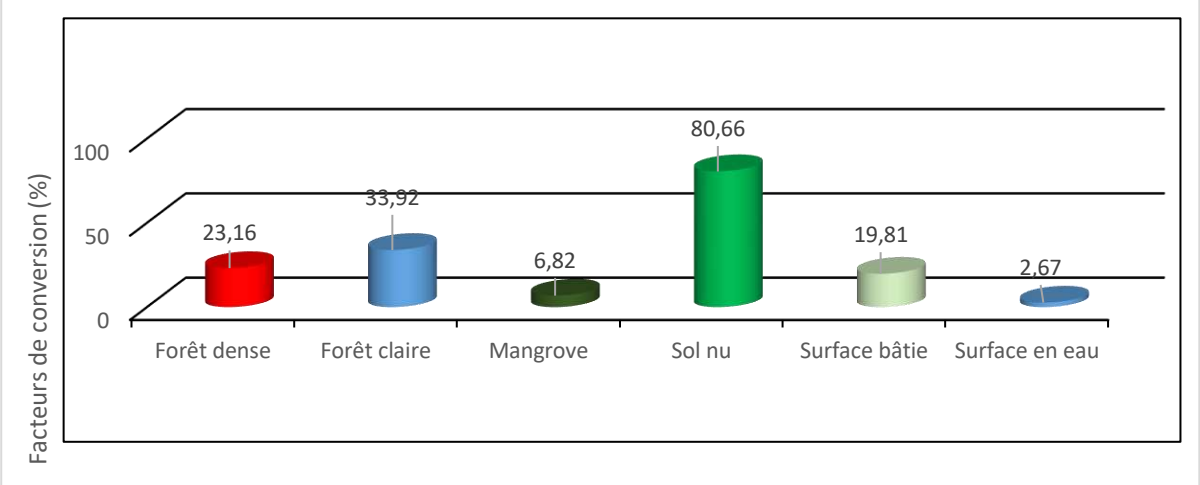


Annexe 7 : Facteurs de conversion des catégories de l'occupation du sol

Période 2000-2014



Période 2014-2018



Période 2000-2018

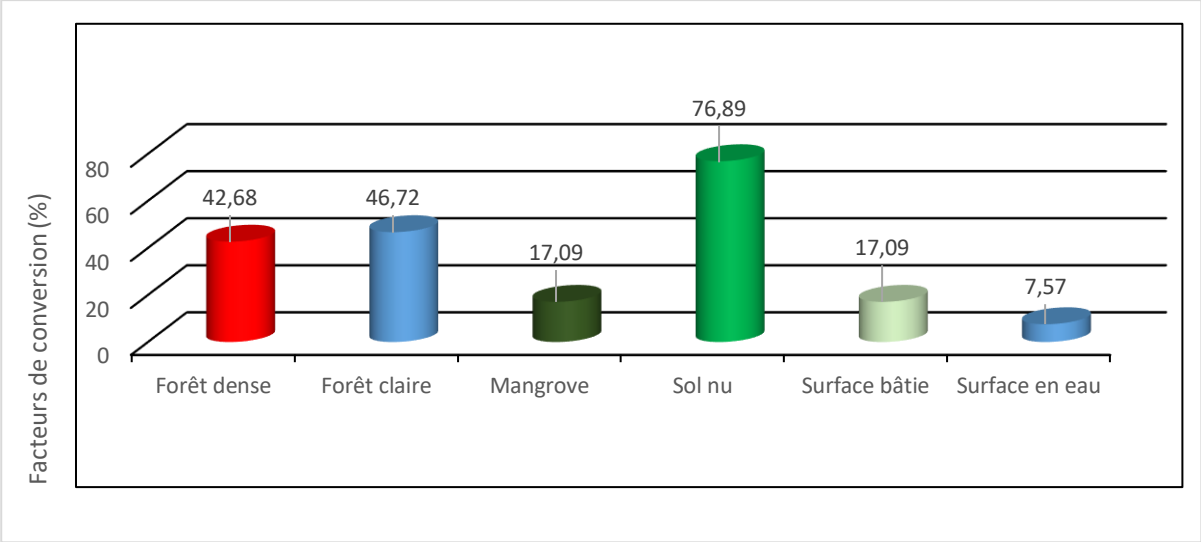


Table des matières

REMERCIEMENTS I

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES II

SOMMAIRE IV

INTRODUCTION GÉNÉRALE 3

Problématique 4

Objectifs et hypothèses 9

Structure de la thèse 11

PARTIE I : TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES PAYSAGES PÉRIURBAINS, MODÉLISATION PROSPECTIVE, DONNÉES ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 15

CHAPITRE I : COMPRENDRE, CARACTÉRISER ET MODÉLISER LES DYNAMIQUES PAYSAGÈRES : QUELLES APPROCHES ? 16

1.1. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de l'analyse des dynamiques paysagères **16**

1.1.1. Paysage, trajectoire, déforestation et dégradation forestière : éléments de définition 16

1.1.1.1. Du paysage 16

1.1.1.2. Des trajectoires d'occupation du sol 18

1.1.1.3. De la déforestation et la dégradation forestière 20

1.1.2. Aperçu des approches de l'analyse des dynamiques d'occupation du sol 23

1.1.2.1. Occupation et utilisation du sol : éléments de définition 24

1.1.2.2. L'analyse systémique 26

1.1.2.3. La télédétection pour le suivi des changements d'occupation et d'usage des sols 28

1.2. Appréhender les éléments conceptuels et méthodologiques de la modélisation prospective des changements d'occupation des sols **32**

1.2.1. Modélisation et simulation des changements en géographie : état de l'art 33

1.2.1.1. De la modélisation et la simulation 33

1.2.1.2. Les modèles de simulation de changements : état de l'art 34

1.2.2. De la modélisation prédictive et prospective de l'occupation du sol 36

1.2.2.1. La modélisation prédictive de l'occupation du sol 37

1.2.2.2. La modélisation prospective de l'occupation du sol 37

1.2.3. De la prospective, la prospective territoriale et la géoprospective 39

1.2.3.1. De la prospective (générale) 39

1.2.3.2. La prospective territoriale 42

1.2.3.3. La géoprospective, une nouvelle approche 44

Conclusion du chapitre 1 ..... **49**

CHAPITRE 2 : COMPRENDRE LE CONTEXTE SOCIOGÉOGRAPHIQUE DU SITE D'ÉTUDE ET SON ÉVOLUTION 53

2.1. Géographie de la presqu'île de Libreville 53

2.1.1. Les caractéristiques physiques du site 53

2.1.2. Les écosystèmes forestiers de la presqu'île de Libreville 57

2.1.2.1. Les forêts de terre ferme 57

2.1.2.2. Les surfaces de mangrove 59

2.2. Évolution démographique et urbanisation 61

2.2.1. Croissance démographique 61

2.2.2. Description des conditions de développement urbain de Libreville 64

2.2.1.1. Aperçu historique du développement urbain de Libreville 64

2.2.1.2. Un dualisme urbain et une densité urbaine inégalement répartie 65

2.2.1.3. La périurbanisation, un phénomène qui s'amplifie 68

2.3. Gouvernance territoriale et activités socioéconomiques 70

2.3.1. Une gestion foncière opaque, dominée par les pratiques individuelles 70

2.3.1.1. La régularisation foncière 74

2.3.1.2. La viabilisation des parcelles 74

2.3.1.3. La lutte contre les constructions illégales et irrégulières (l'occupation anarchique des sols) 75

2.3.2. Les activités socioéconomiques 76

2.3.2.1. L'activité agricole 76

2.3.2.2. La pêche 79

2.3.2.3. Les autres activités socioéconomiques 80

Conclusion du chapitre 2 ..... **81**

CHAPITRE 3 : DESCRIPTION DU PROCESSUS DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES ET DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE 85

3.1. Description du processus de collecte et de traitement des données utilisées 86

3.1.1. Collecte, traitements, analyse des données de télédétection 88

3.1.1.1. Collecte et description de données aéroportées 88

3.1.1.2. Méthode de traitements et analyses des données de télédétection 91

3.1.2. Collecte et traitement des données d'entretiens et d'observations terrain 94

3.1.2.1. Collecte des données de terrain et justification du choix des secteurs d'enquête 95

3.1.2.2. Méthode de traitement et d'analyse des données d'entretien et d'observations terrain 100

3.2. Prospective territoriale spatialisée appliquée à la presqu'île de Libreville 101

3.2.1. Approche mobilisée pour le suivi des dynamiques paysagères 102

3.2.1.1. Méthode de description et caractérisation des trajectoires du milieu 102

3.2.1.2. Méthode pour la détermination d'indices de pression anthropiques sur les écosystèmes naturels 103

3.2.2. ***Approche mobilisée pour la modélisation prospective de l'occupation du sol*** 105
3.2.2.1. Modélisation spatiotemporelle des changements observés 106
3.2.2.2. Simulation spatiale des changements possibles : le choix de la méthode 106
3.2.2.3. Approche pour l'évaluation des quantités et des probabilités de changement 110
Conclusion du chapitre 3 ..... **112**
CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE **113**

PARTIE II : ANALYSE MULTISCALAIRE DES TRAJECTOIRES D'OCCUPATION ET D'USAGE DES TERRES ETDÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS OBSERVÉS 117

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES CHANGEMENTS PAYSAGERS PAR TÉLÉDÉTECTION À L'ÉCHELLE DE LA PRESQU'ÎLE DE LIBREVILLE 118

4.1. Identification spatiale des entités d'occupation du sol 118
4.1.1. Traitements des images et validation des résultats des classifications 119
4.1.1.1. Les prétraitements : création des néo-canaux 119
4.1.1.2. Validation de la précision des classifications 122
4.1.2. États de l'occupation du sol de la presqu'île de Libreville entre 19 990 et 2018 123
4.1.2.1. États de l'occupation du sol en 1990 et 2000 124
4.1.2.2. État de l'occupation du sol en 2014 et 2018 126
4.1.2.3. Analyse des proportions d'occupation des sols entre 1990, 2000, 2014 et 2018 128
4.2. Détection multi-dates des changements de l'occupation du sol dans la presqu'île de Libreville 129
4.2.1. Analyse des dynamiques des changements d'occupation du sol 129
4.2.1.1. Dynamiques de changements entre 1990 et 2000 129
4.2.1.2. Dynamiques des changements entre 2000 et 2014 130
4.2.1.3. Dynamiques des changements entre 2014 et 2018 132
4.2.1.4. Dynamiques des changements entre 2000 et 2018 133
4.2.2. Les modifications d'occupation et d'usage des sols : Analyses et interprétations 134
4.2.2.1. Analyse de la stabilité/instabilité du territoire 134
4.2.2.2. Dynamiques des surfaces artificielles 135
Conclusion du chapitre 4 ..... **143**
CHAPITRE 5 : CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE 147
5.1. Analyse des trajectoires de changements d'occupation du sol 147
5.1.1. L'intensité des changements par site à l'échelle locale 148
5.1.1.1. Évaluation du taux d'artificialisation par site 148
5.1.2. Analyse de la fragmentation forestière dans les sites de fronts pionniers 150
5.2. Analyse des changements des écosystèmes forestiers à l'échelle locale 153
5.2.1. Évaluation de la dégradation du couvert forestier à l'échelle locale, cas de la zone nord 153
5.2.1.1. Processus d'évaluation de la dégradation forestière 154
5.2.2. Cartographie détaillée de l'occupation du sol de la commune d'Akanda 162

Conclusion du chapitre 5 170

CHAPITRE 6 : DÉTERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENT OBSERVÉS 173

6.1. Détermination des facteurs de changement d'occupation du sol observés 174

6.1.1. Résultats des enquêtes sur l'identification des facteurs de changements 175

6.1.1.1. Les facteurs de changement passés et actuels identifiés par les populations enquêtées 175

6.1.1.2. Le rôle du réseau routier 184

6.1.1.3. L'ex-urbanisation, un facteur émergent 185

6.1.2. Analyse des processus de changements et d'appropriation des espaces par le bâti 186

6.1.2.1. Les marqueurs spatiaux d'appropriation des terres 187

6.1.2.2. Analyse du lien entre les marqueurs spatiaux et degré de constructibilité dans les zones d'enquête 193

6.2. Indices de pressions anthropiques et hiérarchisation des facteurs de changements 196

6.2.1. Indices de pression anthropique 196

6.2.1.1. Indices de pressions anthropiques sur les ressources foncières 197

6.2.1.2. Indices de pressions anthropiques sur les écosystèmes forestiers 201

6.2.2. Hiérarchisation du niveau d'impacts des activités anthropiques par les populations locales 203

Conclusion du chapitre 6 206

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE 207

PARTIE III : MODÉLISATION PROSPECTIVE DES CHANGEMENTS D'OCCUPATIONS DU SOL ET ÉVALUATION DE LEURS IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX 211

CHAPITRE 7 : CHANGEMENTS FUTURS D'OCCUPATION DU SOL SELON LES SCÉNARIOS À L'ÉCHELLE LOCALE 212

7.1. Modélisation des changements de l'occupation du sol réellement observés 213

7.1.1. Construction de la base de connaissance des dynamiques d'occupation du sol 214

7.1.1.1. Le modèle général de transition des classes d'occupation du sol 215

7.1.1.2. Les sous-modèles de transition de l'occupation du sol 218

7.1.2. Processus de traitement des données dans Land Change Modeler 220

7.1.2.1. Cheminement des traitements dans Land Change Modeler 220

7.1.2.2. Les données utilisées pour la modélisation de l'occupation du sol 229

7.1.2.3 Les facteurs de conversion des catégories d'occupation du sol 232

7.2. Simulation des changements futurs d'occupation du sol selon les scénarios à l'échelle locale 234

7.2.1. Description des scénarios et résultats de la simulation des changements 235

7.2.1.1. Le scénario tendanciel 235

7.2.1.2. Le scénario d'encadrement 241

7.2.2. Validation des cartes simulées de l'occupation du sol 251

7.2.2.1. Évaluation de la précision des cartes 251

7.2.2.2. Les limites 255

Conclusion du chapitre 7 257

CHAPITRE 8 : IMPACTS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DU SOL À L'ÉCHELLE LOCALE 261

8.1. Impacts liés à l'intensification du processus d'artificialisation des terres à l'échelle locale 261

8.1.1. Impacts environnementaux des scénarios et des changements sur les paysages 262

8.1.1.1. La progression des fronts de pressions 262

8.1.1.2. Analyse des impacts de l'artificialisation des terres dans les aires protégées 265

8.1.2. Impacts sociaux de la réduction des forêts sur la vie des populations locales 274

8.1.2.1. La réduction des terres exploitables et la raréfaction des services écosystémiques 275

8.1.2.3. La paupérisation des populations autochtones 276

8.2. De la protection des forêts à l'émergence des conflits 277

8.2.1. *Analyse des conflits d'usages liés aux ressources et aux espaces* 277

8.2.1.1. Ce qu'apporte la forêt aux populations autochtones sur différents aspects 277

8.2.1.2. La forêt classée (Arborétum Raponda Walker) comme source de conflits 280

8.2.2. Repenser les outils et stratégies de gestion des forêts protégées face à l'anthropisation 283

8.2.2.1. Une politique de gestion durable des forêts (concertative) basée sur la convergence d'intérêts 284

Conclusion du chapitre 8 ..... **287**

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE **288**

CONCLUSION GÉNÉRALE 293

BIBLIOGRAPHIE 306

Liste des figures **322**

Liste des tableaux **326**

Annexes **328**

Table des matières **340**

Résumé **345**

Résumé

Les zones périurbaines de la presqu'île de Libreville sont soumises à des dynamiques fortes et rapides qui, souvent, entrainent des déséquilibres spatio-environnementaux importants. Dans cette région, les changements ont, pour moteur principal, l'usage incontrôlé des terres. Les modifications qui découlent de ces usages ont des facteurs variés selon l'échelle : l'exploitation des forêts par les citadins, la spéculation foncière, l'approvisionnement en biens et services écosystémiques ou les pratiques agricoles, etc.
Au regard de ce qui précède, cette thèse a pour objectif, l'analyse rétroactive et prospective des transformations des écosystèmes naturels et aménagés de la presqu'île de Libreville et de développer une méthodologie de suivi des processus qui sous-tendent les dynamiques paysagères, au moyen d'images de télédétection et des données de terrain afin d'évaluer le risque de dégradation des écosystèmes. Sa spécificité est qu'elle s'intéresse aux pratiques (des populations) qui contribuent à la modification de la structure spatiale des paysages forestiers. Ces pratiques sont constituées d'un faisceau d'actions et d'activités dont, pour certains, les premiers signes datent d'une dizaine d'années. Ainsi, la thèse tente de démontrer que le paysage urbain absorbe les paysages ruraux et transforme le paysage forestier, que l'agriculture vivrière de transition, l'évolution du cadre bâti, l'occupation anarchique et spontanée des terres, les modes d'appropriation des terres sont des facteurs contributifs à la modification de la structure spatiale des paysages, qu'ils génèrent des impacts tels que la raréfaction des ressources et services écosystémiques, la paupérisation et le changement radical des modes de vie des populations autochtones et qu'en simulant les dynamiques à l'horizon 2030 ou 2050, l'espace libre (non occupé) de la presqu'île sera totalement consommé, les zones protégées et sensibles sont mitées. Pour atteindre ces objectifs et valider nos hypothèses, deux axes méthodologiques ont été proposés.

Le premier axe retrace les trajectoires d'évolution de l'occupation du sol sur plusieurs dates et échelles à partir des données de télédétection. Il a permis de mettre en évidence une très forte dynamique de l'étalement du bâti et la régression continue du couvert végétal. De 1990 à 2018, le territoire est caractérisé par une importante instabilité de ses structures. La tendance à l'artificialisation des terres domine et a pour conséquence la fragmentation forestière, la dégradation et la déforestation qui, à leur tour, ont des effets sur la vie des populations autochtones. Les pressions sont si fortes que même les zones protégées en sont impactées et mitées. Ces résultats ont un lien direct avec les causes locales de ces mutations qui mettent en évidence des pratiques foncières et des stratégies d'acteurs (modes opératoires) qui fragilisent les milieux. Les stratégies foncières ou processus d'occupation des terres correspondent à des logiques, parfois nouvelles, qui agissent sur le couvert forestier, transforment les paysages (ruraux) et changent le mode de vie des populations autochtones. Les changements observés sont révélateurs de la coexistence de plusieurs facteurs de pressions parmi lesquels l'agriculture de transition, les pratiques foncières localisées (processus d'appropriation des terres), les activités pionnières et quelques facteurs d'ordre institutionnel. Les

modifications paysagères qui découlent de ces facteurs portent donc l'empreinte des activités anthropiques et correspondent à des processus complexes et dynamiques. Les cartes d'occupation du sol produites à l'échelle régionale et communale montrent la gravité des dégradations qui se sont opérées entre 1990 et 2018.

Dans le second axe, à partir des résultats du suivi de l'occupation du sol, la modélisation et la simulation de changements des états possibles de l'occupation du sol ont été réalisées à l'aide d'un modèle spatialement explicite intégrant les chaines de Markov et les automates cellulaires. L'évolution des catégories d'occupation du sol a été simulée selon différents scénarios en 2025, 2030 et 2050. L'élaboration des sous-modèles de transitions basés sur les dynamiques passées des surfaces artificielles et du couvert végétal ont permis de simuler les changements à l'aide de la plateforme Land Change Modeler (LMC). Une approche probabiliste basée sur un scénario tendanciel et d'encadrement est choisie pour la simulation des changements aux horizons 2025, 2030 et 2050. Les cartes simulées produites montrent une continuité de la dynamique régressive de la forêt dense, peu dense et de la mangrove, au profit des surfaces artificielles, avec des impacts très significatifs sur les zones protégées et sensibles. Cette tendance à l'artificialisation accélérée s'explique par le fait que les territoires périurbains de la presqu'île sont dominés par les pratiques individuelles, caractérisés par la logique du laisser-faire et du laisser-aller.

Les impacts environnementaux et sociaux de l'évolution des surfaces artificielles et de chaque scénario sont analysés à travers un certain nombre de facteurs explicatifs ou d'indicateurs de pressions anthropiques issues pour l'essentiel des données collectées sur le terrain. Les résultats qui en découlent permettent de connaitre et de retracer les processus d'appropriation des terres, de modification du couvert végétal et peuvent constituer un outil d'aide à la gestion de ces milieux. Les dynamiques futures de l'étalement du bâti dans les zones protégées et sensibles témoignent d'une forte marge de liberté dans le processus d'occupation et d'utilisation des terres dans la presqu'île de Libreville. Ce scénario constitue donc une aide importante pour prévenir les installations et les occupations anarchiques toujours en cours. Ces résultats doivent aussi contribuer à l'interpellation des acteurs et des décideurs en charge du territoire. Ils posent l'urgence de développer et d'appliquer des stratégies intégrées et participatives dans la gestion du territoire pour parvenir aussi bien à la protection des écosystèmes forestiers qu'à la préservation des conditions de vie des populations autochtones par une stratégie concertée d'exploitation durable des forêts.

Mots clés *: Dynamique d'occupation du sol, Paysage, Artificialisation, Télédétection, Modélisation, Simulation, Zone périurbaine, presqu'île de Libreville, Gabon.*