

## Evaluation de l'impact de l'urbanisation sur les ressources végétales de la commune de Bingerville à l'horizon 2040: Contribution de la géomatique

### [ Contribution of geomatics in the assessment of the impact of urbanization on Bingerville municipality's plant resources by 2040 ]

*Sako Mariétou Diarra, Adonis Krou Damien Kouame, and N'Da Hyppolite Dibi*

Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, Université Félix Houphouët-Boigny, UFR STRM, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Côte d'Ivoire, like most African countries, is suffering the full force of the phenomenon of urban sprawl, which in its manifestation causes many environmental problems. In Bingerville, the gradual disappearance of plant resources in favor of ever-increasing urbanization and the problems posed by the cohabitation of man and nature raise questions.

The objective of this work is to analyze the environmental changes linked to urban dynamics in the commune of Bingerville using remote sensing and GIS and to model changes in land use in order to assess the impact of urban sprawl on the plant resources of Bingerville by 2040.

The methodological approach focused first on the processing of multispectral and multitemporal Landsat images: 1989 ETM, 1999 ETM, 2008 ETM+, 2016 and 2020 OLI TIRS for the analysis of the spatio-temporal dynamics of land cover and a modeling of land cover in 2040 using the CA\_Markov model.

From 1989 to 2020, the area of urban sprawl has increased from 8% to 39%, the vegetation registers during the same period a regression of its area by -3.06%.

The results of the modeling of land use changes by 2040 confirm the trends illustrated by the classification results, the «built-up» class will be the most important land use unit with 49.49%, while vegetation will represent only 10.69% of the total area of the city.

The agglomeration of the urban municipality of Bingerville is a perfect illustration of the constraint that urban dynamics exerts on the vegetation cover.

**KEYWORDS:** Urban sprawl, vegetation, land use, modelling, remote sensing, GIS.

**RESUME:** La Côte d'Ivoire comme la plupart des pays africains subit de plein fouet le phénomène de l'étalement urbain qui dans sa manifestation engendre de nombreux désagréments sur le plan environnemental. A Bingerville, la disparition progressive des ressources végétales au profit de l'urbanisation de plus en plus croissante suscite des interrogations.

L'objectif de ce travail est d'analyser les mutations environnementales à l'aide de la télédétection et des SIG et modéliser les changements d'occupation du sol afin d'évaluer l'impact de l'étalement urbain sur les ressources végétales à l'horizon 2040.

La classification supervisée des images multispectrales et multitemporales de Landsat: 1989 ETM, 1999 ETM, 2008 ETM+, 2016 et 2020 OLI TIRS a permis de faire l'analyse de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol. La modélisation de l'occupation du sol à l'horizon 2040 a été effectuée à l'aide du modèle CA\_Markov.

Les résultats de la classification montrent que de 1989 à 2020, la superficie de la tâche urbaine est passée de 8% à 39%. La végétation enregistre pendant la même période une régression de sa superficie de -3.06%.

La modélisation de l'occupation du sol à l'horizon 2040 confirme les tendances illustrées par les résultats de la classification. Ainsi, la classe « bâti » sera l'unité d'occupation du sol la plus importante avec 49.49% alors que la végétation ne représentera plus que 10.69% de la superficie totale de la ville.

L'agglomération de la commune urbaine de Bingerville est une illustration parfaite de la contrainte qu'exerce la dynamique urbaine sur le couvert végétal.

**MOTS-CLEFS:** Etalement urbain, végétation, occupation du sol, modélisation, télédétection, SIG.

## 1 INTRODUCTION

Le monde connaît une dynamique urbaine dont la rapidité et l'intensité ne laissent personne indifférent. En 1950, un peu moins de 30 % des habitants de la planète vivaient dans des villes.

Aujourd'hui c'est un habitant sur deux qui vit sur cet espace. Selon les Nations Unies, les citadins représenteront plus de 70 % de la population mondiale en 2050. L'étalement urbain n'est plus un phénomène localisé, mais il concerne pratiquement toutes les villes du monde [1].

Cette expansion continue de susciter l'intérêt de plusieurs auteurs, qui lui ont attribué plusieurs qualificatifs: la ville éparpillée [2], la ville émiettée [3], la ville diffuse [4], etc. Pumain considère l'étalement comme un « processus d'accroissement important des zones urbanisées en périphérie des villes, qui s'accompagne généralement d'un desserrement des populations et des activités urbaines » [5].

Les nouveaux investissements dans l'immobilier à la faveur de la reprise économique du milieu de la décennie 90 provoquent une modification progressive de l'équilibre entre l'espace urbain et l'espace forestier environnant si bien que les perturbations subies par les forêts périphériques sont importantes [6].

La relative disponibilité en espaces urbanisables, sa proximité d'Abidjan et l'existence d'un réseau routier facilitant son accès, sont les principales raisons qui font de Bingerville une ville très sollicitée.

L'anticipation des impacts de l'étalement urbain sur la biodiversité permet d'aider à la prise de décision dans le cadre d'opérations d'aménagement du territoire qui répondent aux enjeux de « durabilité » de la faune et de la flore urbaine [7]. Cela implique l'élaboration de scénarios prospectifs de changements d'occupation et d'usage des sols.

C'est dans ce contexte marqué par une disparition progressive des ressources végétales au profit d'une urbanisation de plus en plus croissante et les problèmes posés par la cohabitation homme-nature que cette étude a été menée.

## 2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Située à 18 kilomètres sur un site de plateau à l'Est d'Abidjan au bord de la lagune Ébrié entre 5°16' ET 5° 21' Nord et 3° 54' et 3,43' Ouest. Bingerville couvre une superficie de 2 119 km<sup>2</sup> (figure 1).

La ville de Bingerville se situe dans le domaine guinéen. Le climat correspondant est de type subéquatorial caractérisé par des températures de faibles amplitudes de 24 °C à 28 °C, et des précipitations abondantes, qui atteignent 1 547 mm en 2009. Cette zone connaît deux saisons sèches et deux saisons humides.

Le paysage végétal de Bingerville est composé de mangroves, de forêts marécageuses, de savane pré lagunaires d'Eloka, de savanes herbeuses et de plantations. Soumises à une activité agricole très intense, ces espaces forestiers sont en constante mutation. Cependant, des superficies terrestres de Bingerville possèdent une végétation fortement dégradée par les activités humaines antérieures.

Depuis 1975, la population de Bingerville n'a cessé de croître. Elle est passée de 18 000 habitants à 35 000 en 1998, soit un accroissement moyen annuel de 2,96 %. On l'estime en 2014 à 91 919 habitants selon l'INS (RGPH, 2014).

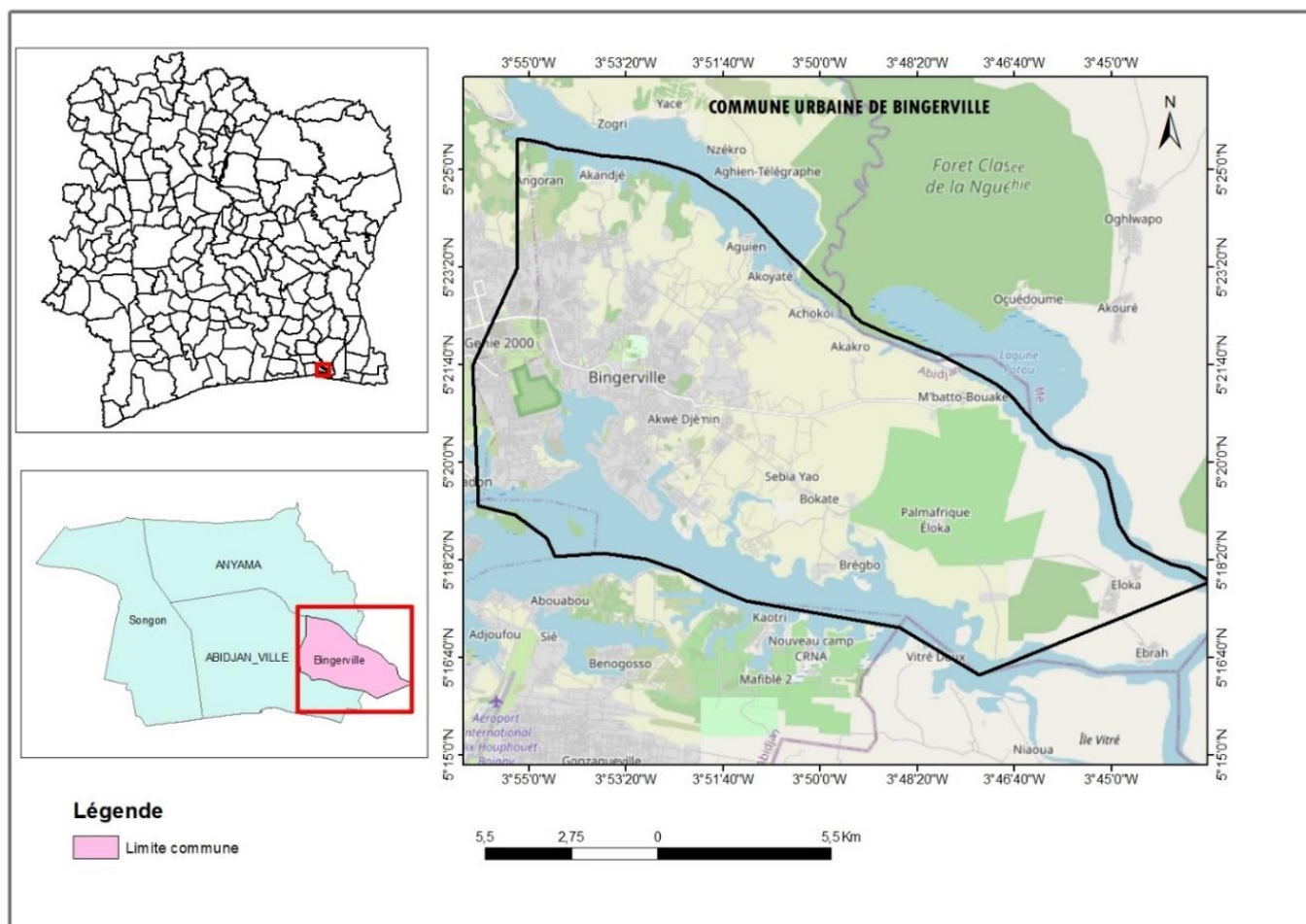


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

### 3 DONNÉES, MATÉRIEL ET LOGICIELS

#### 3.1 DONNÉES

- **Données satellitaires**

Pour mieux appréhender le phénomène de l'étalement urbain et démontrer qu'il impacte négativement la couverture végétale, les Images à Très Haute Résolution Spatiale issues de Landsat: TM5, ETM et OLI ont été mises à contribution. Afin d'avoir un meilleur contraste entre les végétaux, les bâtis, l'eau et les sols nus la période idéale fut entre le 01 janvier et 30 avril ou entre le 01 octobre et le 31 décembre, périodes où la couverture nuageuse est supposée moins dense sur Bingerville. Pour mieux suivre la dynamique de l'occupation du sol et en fonction de la disponibilité des images, les années 1989, 1999, 2008, 2016 et 2020 ont été retenues. Toutes ces images ont été téléchargées sur le site internet USGS (<http://earthexplorer.gov>).

- **Données cartographiques**

Les données cartographiques issues de Global Administrative Areas ou GADM, base de données des contours vectoriels en extension shapefile des frontières administratives ont été utilisées.

#### 3.2 MATÉRIEL

Toutes ces données ont été collectées et traitées à partir de matériel et de logiciels.

Ainsi pour la validation des résultats sur le terrain, les outils suivants ont été utilisés:

- Un GPS récepteur Garmin (MAP 64st) pour la vérification des points de contrôle et pour la prise d'autres points sur le terrain;
- Des fiches de collecte de données;
- Un appareil photographique numérique pour les prises de vue

### 3.3 LOGICIELS

Les logiciels utilisés pour le traitement des données sont les suivants:

- ENVI 5.3 a servi aux traitements des images, à l'extraction de la zone d'étude et des statistiques et à la classification des images;
- QGIS 3.8 a été utilisé lors de la phase cartographique;
- Idrisi selva 17.0 a permis de faire la modélisation

Arcgis 10.5 a servi à la cartographie et aux calculs statistiques

- Google earth pour le prélèvement des points de contrôle pour la validation de la classification des années 1989, 1999, 2008 et 2016

## 4 MÉTHODES

### 4.1 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

#### 4.1.1 PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES

- **Affinage spectral (Sharpening spectral PC)**

Le modèle Sharpening spectral PC est utilisé pour affiner une image multi bandes à résolution spatiale basse en utilisant une bande panchromatique à résolution spatiale élevée. La méthode d'affinage spectral PC suppose que la première bande PC est une bonne estimation des données panchromatiques [8].

- **Composition colorée**

Pour une meilleure discrimination des différents objets de l'image, les compositions colorées 4-3-2 ont été retenues pour TM et ETM+ et 5-4-3 pour OLI8 car elle présente les meilleures discriminations des types d'occupation du sol [9], [10], [11].

- **Fonction Tasseled Cap**

La transformation Tasseled Cap [12] est conçue pour analyser et apparier les modifications liées au développement urbain et à la végétation détectée par différents capteurs satellitaires. L'indice Tasseled cap a été généré sur la base des informations spectrales du satellite Landsat. Les coefficients Tasseled Cap utilisés dans l'équation linéaire de la transformation Tasseled Cap sont spécifiques au capteur et ont donc été dérivés pour chaque système de capteurs. L'indice est lié à l'analyse des principales composantes et aux indices de végétation.

#### 4.1.2 ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DU COUVERT VÉGÉTAL ET DE L'ÉTALEMENT URBAIN

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal et de l'étalement urbain de 1989 à 2020 dans la commune urbaine de Bingerville a été possible grâce aux données statistiques de la post-classification. Une comparaison de superficies des classes d'occupation du sol a déterminé les changements qui sont survenus à Bingerville entre 1989 et 2020. Ces mêmes données ont été mises à contribution pour calculer le taux moyen annuel d'expansion spatiale. La méthodologie repose sur la délimitation des classes d'occupation du sol, la classification orientée objet et l'analyse des statistiques issues des différentes classes d'occupation du sol. La dynamique spatiale est mesurée à partir de l'appréciation de l'évolution des états de surface fondée sur la comparaison des valeurs de superficie des différentes unités d'occupation du sol entre les périodes d'étude [13].

Différents graphes ont été réalisés avec les statistiques de la totalité des classes ou avec quelques classes spécifiques pour une meilleure illustration de l'évolution des classes d'occupation du sol.

- **Classification d'image et procédure cartographique**

Dans le cadre de cette étude, la classification orientée objet a été retenue pour la réalisation de la carte d'occupation du sol car cette méthode s'avère plus pertinente en milieu urbain.

Le processus implique la catégorisation des pixels en fonction de leurs caractéristiques spectrales, de leur forme, de leur texture et de leur relation spatiale avec les pixels environnants. Après l'observation, l'identification et la reconnaissance spectrale des classes d'occupation du sol sur la zone de Bingerville à partir de l'image de 1999, les classifications de l'occupation du sol en 1989, 1999, 2008, 2016, 2020 ont pu être réalisées selon la méthodologie présentée plus haut. Cependant, plus l'on remonte dans le temps, plus la qualité des images diminue, de ce fait le degré de précision est moins important et peut engendrer des erreurs [14].

Enfin, la précision des classifications obtenues a été évaluée à travers l'utilisation d'une matrice de confusion. Pour ce faire, elles ont été confrontées à des relevés terrains extraits d'images Google Earth ou de notre mission de terrain.

Deux indices de validation de classification sont employés: la précision globale caractérisant la proportion de pixels bien classés, calculée en pourcentage et l'indice de Kappa caractérisant le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés [8], [15]. De plus, une étude portant sur l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50% et 75% [16].

Après les différents traitements et la classification des cinq (5) images, il a été procédé à leur segmentation

- **Analyse des superficies et taux moyen de changement**

Pour mieux évaluer la dynamique de l'occupation du sol sur le site de Bingerville des unités d'occupation du sol de 1989 à 2020 une comparaison a été effectuée. Une classification est fiable et exploitable si, et seulement si les pourcentages sont supérieurs à 80%.

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale été calculé à l'aide de la formule suivante [17]:

$$T = [(\ln S_2 - \ln S_1) / ((t_2 - t_1) \times \ln e)] \times 100$$

S1 et S2: Superficie d'une unité paysagère à la date t1 et t2 respectivement; t2 – t1: Nombre d'années d'évolution; ln: Logarithme népérien; e: Base du logarithme népérien (e = 2,71828) suivi de l'évolution de la superficie des bâtis et de la végétation et à réaliser des graphes pour schématiser les chiffres.

#### 4.2 MODÉLISATION DE L'OCCUPATION DU SOL À L'HORIZON 2040

La modélisation a été effectuée sur la base d'une matrice de transition: l'hypothèse de base considère que chaque catégorie d'occupation des terres est constituée d'un nombre de cellule, chaque cellule a plus ou moins changé d'état pendant la période considérée (1989-2020). Ce changement a été traduit sous forme d'un facteur de conversion qui prend en compte l'ampleur des changements par rapport à la situation de départ (1989):

$$\text{Facteur de conversion} = (S_c / S_{i1}) * 100$$

**S<sub>c</sub>**: Superficie totale des changements au sein d'une catégorie vers d'autres

**S<sub>i1</sub>**: Superficie de la même catégorie en 1989 [18].

Afin de modéliser la dynamique de l'occupation du sol à Bingerville et de simuler l'occupation du sol à l'horizon 2040, il convient au préalable de valider le modèle sur des données connues. L'image de 2020 étant la plus récente, elle fera l'objet d'une première simulation-test, calibrée par deux dates antérieures (t0 = 1989 et t1 = 1999) (chaîne de Markov d'ordre 2). Les images de 1989 et 1999 servent de base pour extrapoler les quantités de la future occupation du sol. Il s'agit d'une extrapolation linéaire car la simulation se base sur deux points dans le temps afin de calibrer le modèle. La comparaison entre les simulations et l'observation 2020 permettra, d'une part, de quantifier les erreurs des deux modèles, et, d'autre part, de localiser ces erreurs à l'échelle de la commune. Les deux modèles présentés sont implémentés sous le logiciel de géostatistique IDRISI 15.0 (Eastman, 2006).

## • Choix du modèle

Le choix la chaine de markov [19] comme a été guidé principalement par le souhait d'utiliser un modèle dynamique et spatialement explicite, peu gourmand en données d'entrée (par exemple, un modèle tel que UrbanSim, dédié à la simulation urbaine, nécessite de nombreuses données économiques qui ne sont pas disponibles dans notre cas), et l'accessibilité du modèle.

Ca Markov est un modèle stochastique qui fait appel au calcul de probabilité, l'information que nous voulons modéliser est une information géographique dont la progression n'est pas linéaire.

Dans le contexte des données géographiques, ces caractéristiques sont présentes dans les images (incertitude) ou dans les données recueillies auprès des experts (incertitude, imprécision). Les causes d'incertitude proviennent généralement des défauts sur les capteurs, des mauvaises conditions de prise de vue, des données redondantes ou conflictuelles issues de différents capteurs et des opinions contraires données par les experts. Un processus stochastique  $X = \{X_t: t \in T\}$  est une suite de variables aléatoires indexées et prenant leurs valeurs dans un unique espace des observations  $X$ . Le processus  $X$  est lui-même une variable aléatoire. Il est courant de considérer un processus à temps discret où l'ensemble  $T$  est à valeurs discrètes [20].

## 5 RÉSULTATS

### 5.1 EVOLUTION DU COUVERT VÉGÉTAL ET DE LA TÂCHE URBAINE DE 1989 À 2020

#### 5.1.1 ANALYSE GLOBALE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

L'analyse des images satellitaires après composition colorée fait apparaître plusieurs types d'occupation du sol composés de la végétation, des plantations, des zones de culture/ jachère, la tâche urbaine, l'eau et le sol nu.

Les matrices de confusion de la classification des différentes images donnent une précision globale variant entre 85.16 et 89.29 ainsi que des indices de Kappa allant de 0.81 à 0.88.

Les changements ont affecté diverses parties de la zone d'étude, mais ils se sont plus fait sentir sur les végétaux qui ont perdu peu à peu de leur superficie au détriment de la tâche urbaine qui n'a fait que croître (figure 2).

Ce territoire connaît une dynamique importante visible d'abord à la superficie des terres qui a changé d'utilisation avec une expansion spatiale moyen annuel de 7.96 entre 1989 et 2020 (figure14) et à la pluralité des changements qui se sont opérés entre les dates de référence (1989 et 2020). Le classement des types d'occupation du sol selon leur superficie (figure 2) révèle que la végétation était prédominante en 1989 suivi de l'eau du sol nu, du bâti et enfin les zones de culture ou jachère, cette tendance s'inverse progressivement.

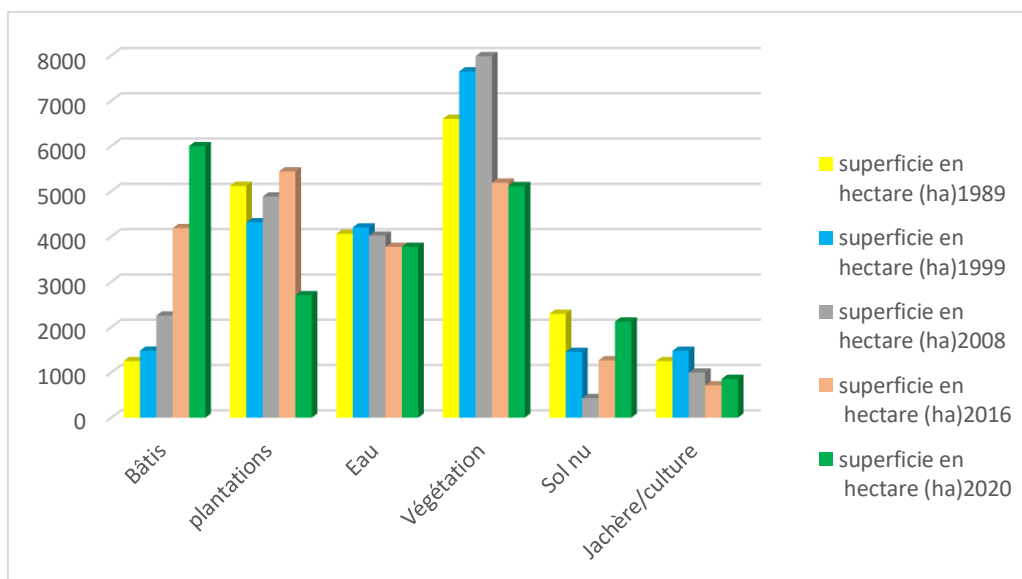


Fig. 2. Répartition des classes d'occupation du sol de 1989 à 2020

L'analyse des modes d'occupation du sol au cours de la période 1989 à 2020, montre de grandes disparités entre les classes. La zone se caractérise ainsi par un très fort étalement urbain marqué par l'augmentation du bâti au détriment des autres classes (figure 2)

Le calcul du taux d'expansion spatiale moyen annuel nous a permis d'évaluer les différents changements survenus entre 1989 et 2020. L'analyse de la figure 3 montre que sur la période de 1989 à 2020, toutes les unités d'occupation du sol ont connu des changements sous forme de pertes et de gains par rapport à leur superficie initiale. Le couvert végétal est la classe d'occupation du sol ayant subi le plus perte. Ainsi entre 1989 et 2020, Bingerville enregistre une perte de 2531.66 ha de son espace végétalisé au profit des surfaces urbanisées, soit d'un taux d'expansion spatial moyen annuel de 1.48% en 1989 à -0.82% en 2020.

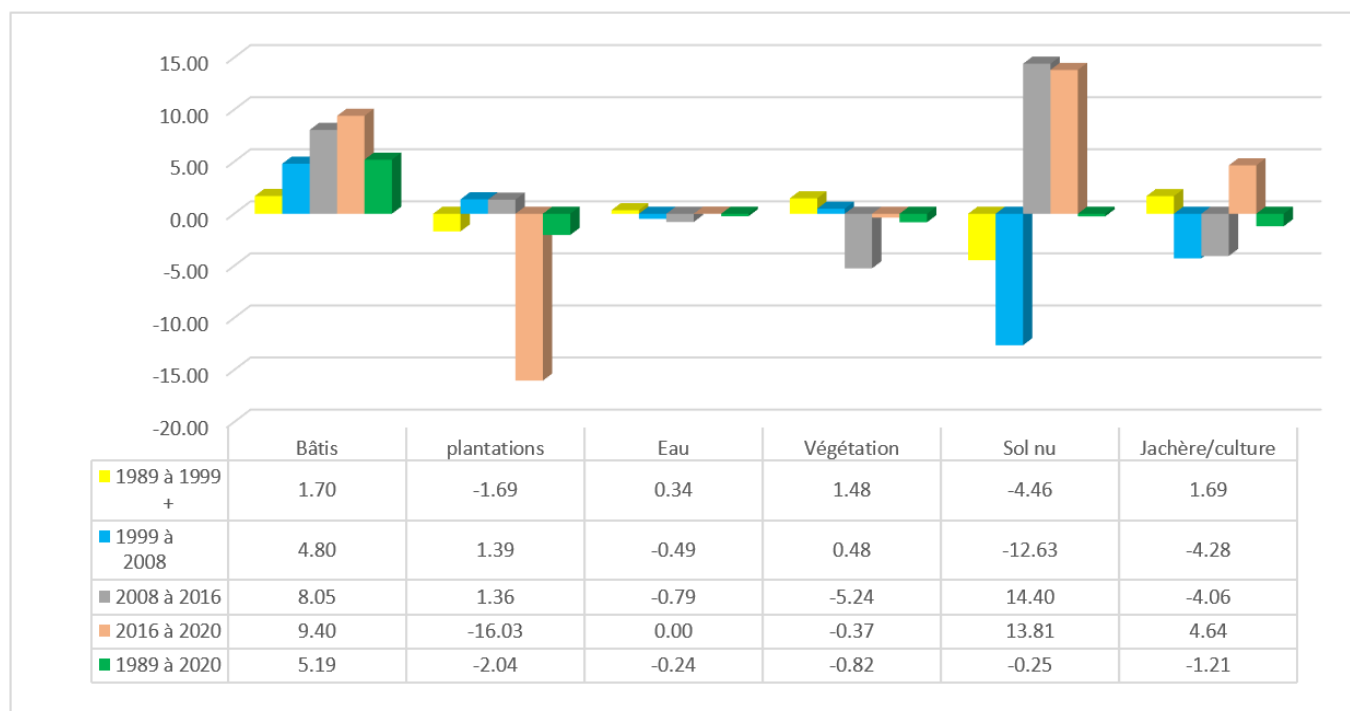


Fig. 3. Taux d'expansion spatiale moyen annuel

### 5.1.2 ANALYSE SPÉCIFIQUE DE L'ÉVOLUTION DU COUVERT VÉGÉTAL ET DE LA TÂCHE URBAINE

- **De 1989 à 1999:** Les classes ayant enregistrées un grand changement au cours de cette période sont celles des « bâtis » et « végétation ». En 1989 la classe « bâtis » ne couvrait que 1248.89 ha, soit 6,07% de la superficie totale elle passe à 1475.64 ha en 1999 soit 1.1% de plus qu'en 1989. La végétation en 1989 avec 37.17%superficie représentait la plus grande couverture surfacique, en 1999 elle a connu une régression de sa surface de 7%. L'artificialisation tend à se faire par extension des surfaces déjà urbanisées et non pas par la création de nouvelles surfaces bâties isolées, ce qui limite la fragmentation du paysage par les surfaces artificialisées

Il ressort de l'analyse de la matrice de transition que pendant la décennie 1989-1999, seulement 0.03 % l'espace urbanisé n'a pas connu de variation. A la même période 0.31 % du couvert végétal est resté inchangé

- **De 1999 à 2008:** l'on enregistre une progression de l'expansion de la tâche urbaine, elle est passée de 10% en 1999 à 15% en 2008 soit un gain de 5%. La végétation a vu sa superficie augmenter durant cette période en passant de 20 à 25%. Les autres classes n'ont pas connu de variation significative. Durant cette période les taches de surfaces bâties s'évalent de l'Est vers l'Ouest, la diffusion de fait autour du noyau central en poursuivant la distance centre-périphérie

Entre 1999 et 2008, 0.50 % de l'espace bâti n'a pas connu de variation contre 0.64% pour la superficie de la végétation.

L'évolution de l'occupation du sol sur la période de 1989 à 2008 est traduite par les carte de l'occupation du sol de 1989, 1999 et 2008 présentées à la figure 4.

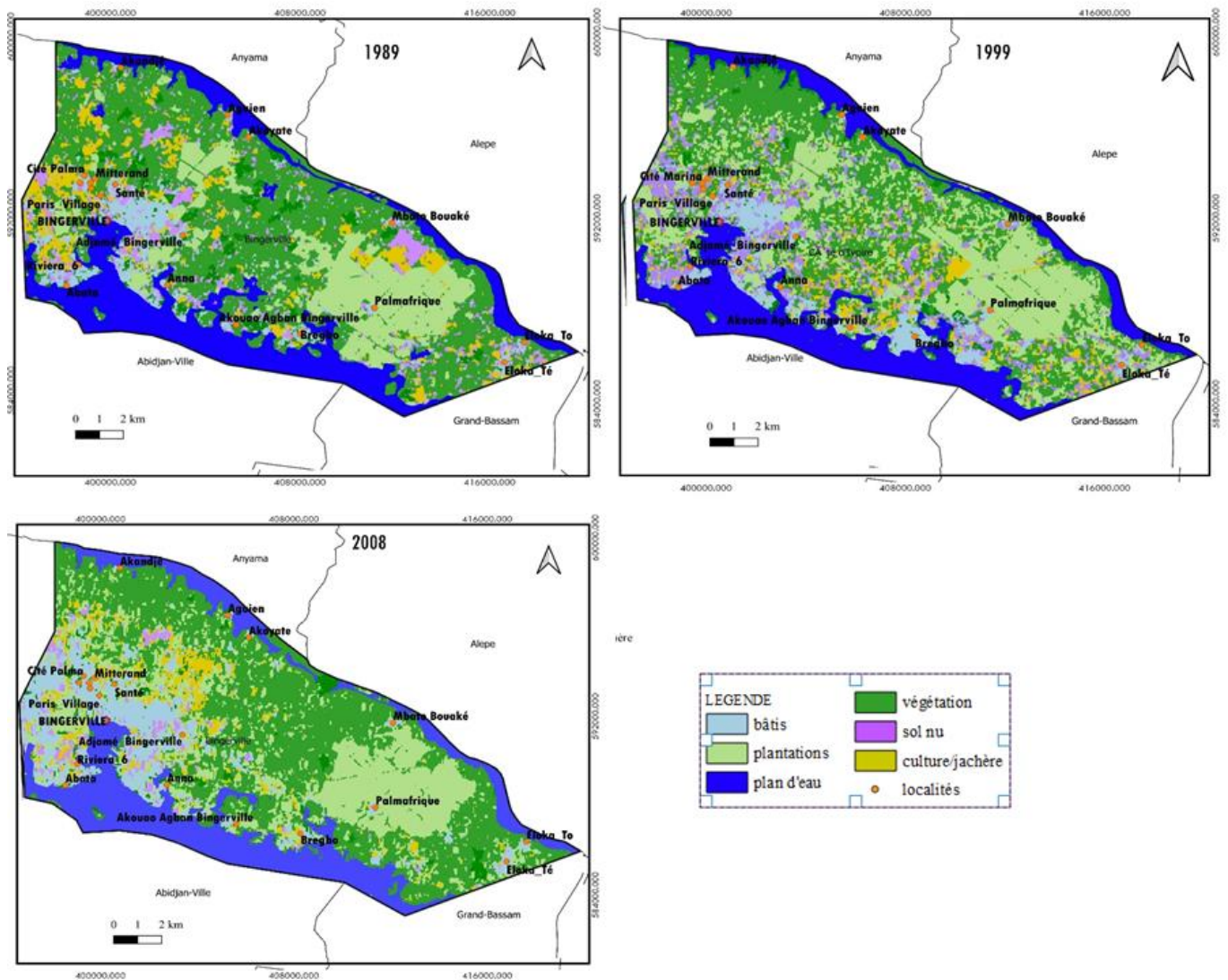


Fig. 4. Cartes de l'occupation du sol des années 1989, 1999 et 2008

- **De 2008 à 2016:** L'étendue des bâtis continue à croître. De 2008 à 2016 elle est passée de 1478.01 ha à 2253.87 ha soit un taux d'augmentation de 13%. La classe de la végétation est celle ayant perdu le plus de surface avec -5.24%. L'artificialisation croissante de l'espace est accompagnée d'une augmentation progressive de la distance moyenne séparant le centre et les nouvelles surfaces bâties entre elles

Durant la période de 2008 à 2016, 0.74 % des superficies bâties n'ont connu aucune variation. Les formations végétales ont conservé 0,49 % de leur superficie.

- **De 2016 à 2020:** La progression la plus fulgurante de l'espace urbanisé au cours de l'étude a été constatée pendant cette période. En l'espace de quatre (4) ans on note une augmentation de plus de 1843 ha à l'espace bâti soit 23% de l'espace total. Le couvert végétal note une stagnation. La classe « plantations » est celle ayant subi le plus de perte durant cette période en passant de 5438.7 ha à 2704.32 ha soit plus de la moitié de sa superficie

Cette dynamique est illustrée par la figure 5.

La surface bâtie est de plus en plus fragmentée, c'est-à-dire constituée de taches nombreuses et isolées les unes des autres. Pendant ces quatre (4) dernières années 0,83% de l'espace urbain n'a pas connu de variation contre 00,60% pour le couvert végétal.



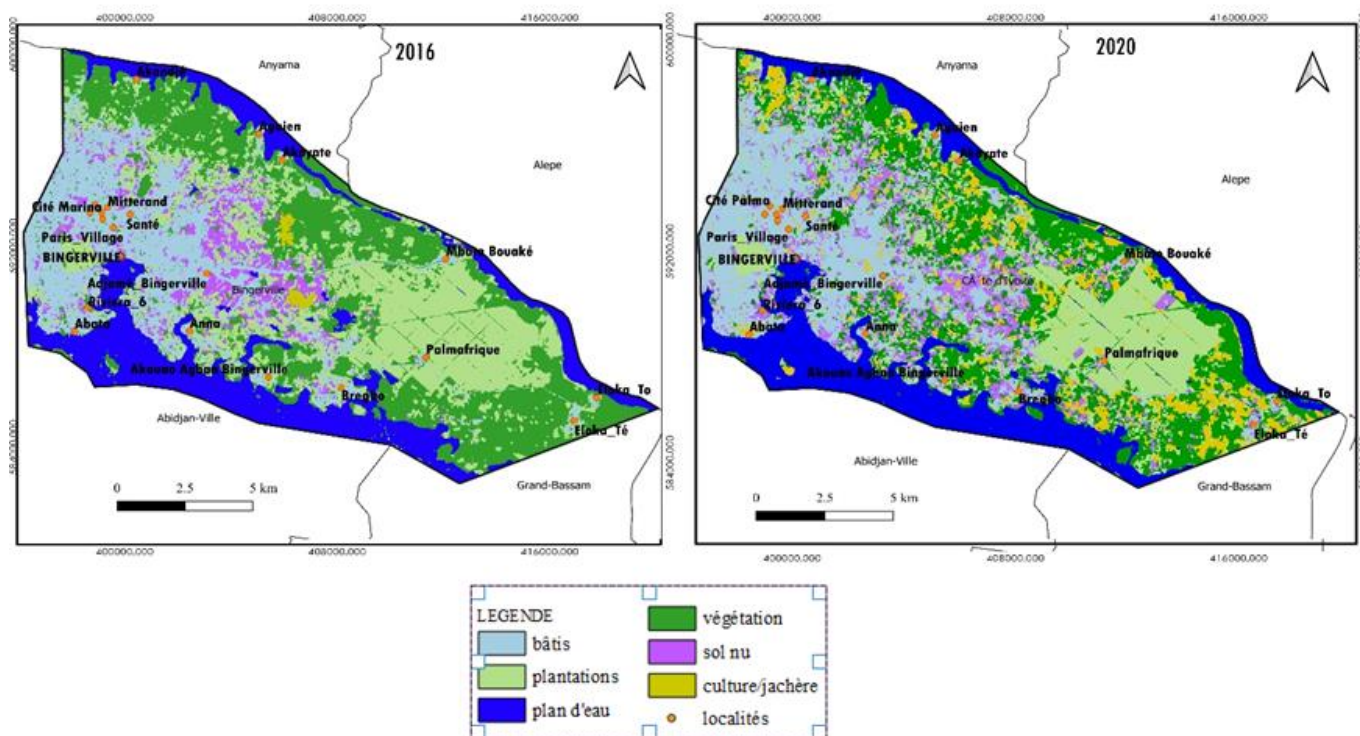


Fig. 5. Cartes de l'occupation du sol de 2016 et 2020

Toutefois, en comparant les cinq (5) cartes (figures 4 et 5) l'on constate une nette diminution du couvert végétal remarquable en 2016 et 2020 par rapport à 1989, 2008 et 1999. Cela se justifie par la progression de la classe 'bâtis' avec un taux de +30% entre 1989 et 2020.

On observe qu'en 1989, seulement 8% du territoire était occupé par les bâtis, en 1999 ce taux semble stagné avec seulement une augmentation de 2%, 2008 est marquée par une progression plus remarquable avec une évolution de 5%.

En 2016, soit en l'espace de huit (8) ans, la progression la plus spectaculaire est enregistrée avec un accroissement de 13%.

Bingerville enregistre une croissance urbaine de 11% en 2020 d'après l'analyse de notre image de la même date, le phénomène de l'étalement urbain gagne du terrain dans la commune.

La végétation qui était la couverture surfacique la plus importante en 1989 est passée de 23% en 1989 à 12% en 2020 (Figure 6).

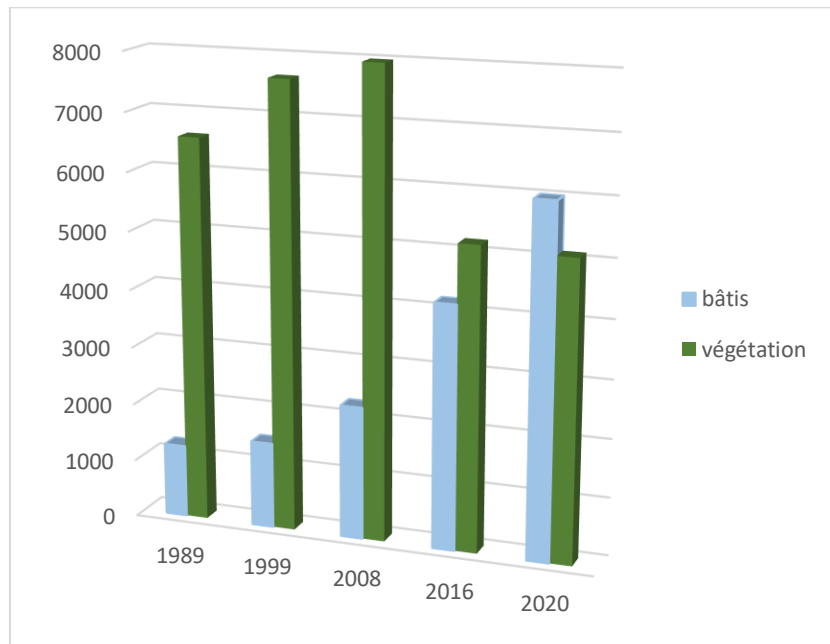


Fig. 6. Représentation graphique de l'évolution des bâti et de la végétation

## 5.2 MODÉLISATION CARTOGRAPHIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL À L'HORIZON 2040

### 5.2.1 ETALONNAGE ET SIMULATION

La calibration ou l'étalonnage avec les cartes d'occupation du sol de 1989 et de 2016 a permis la génération d'une matrice de probabilité de transition. Cette matrice servira de base de transition lors de la simulation de l'occupation du sol en 2020. Elle indique que les classes « bâti » avec 0.39%, « végétation » 0.57% et « plantation » 0.45 sont celles susceptibles de garder le plus fort taux de stabilité. Le résultat de la modélisation de l'occupation du sol en 2020 est illustré par la figure 7.

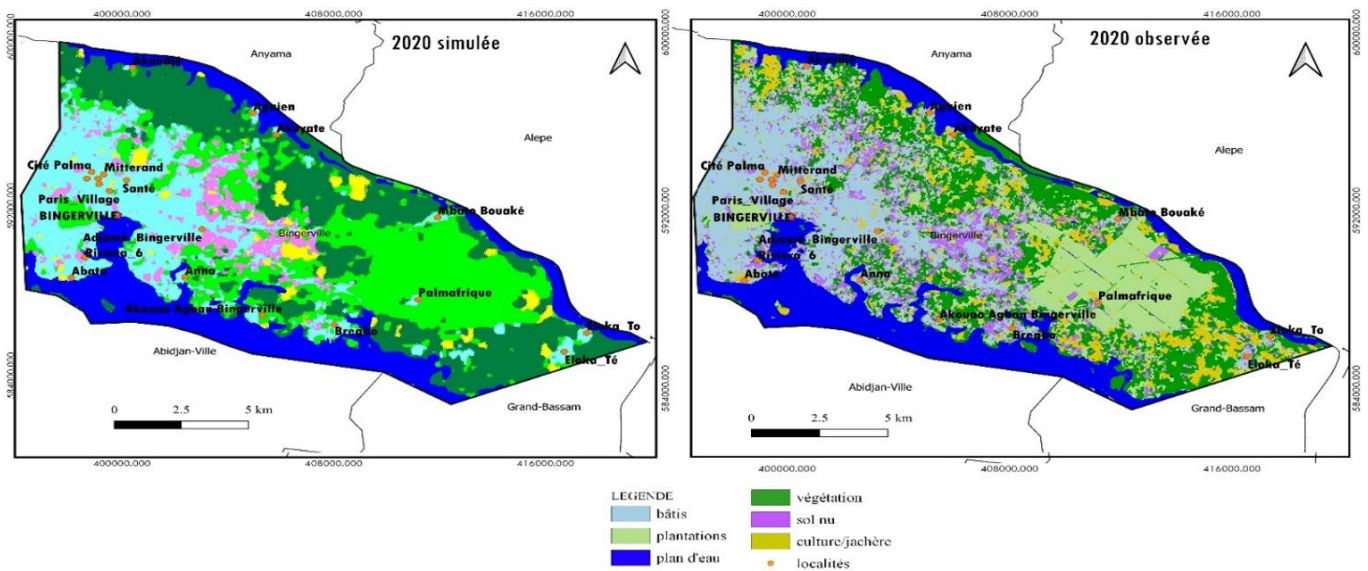


Fig. 7. Superficie des cartes d'occupation du sol de référence et de la carte simulée

Les cartes d'occupations du sol de 1989 et de 2016 ont servi à faire une première simulation pour produire une carte d'occupation du sol de 2020. Les résultats de ce test ont été comparés à la carte d'occupation de 2020. Les résultats de la simulation prouvent que le modèle est probant, les variations entre la carte de référence et celle simulée sont négligeables (Figure 7).

### 5.2.2 PROJECTION DE L'OCCUPATION DU SOL À L'HORIZON 2040

La calibration pour la projection de l'année 2020 réalisée avec les cartes de 1989 et 2020, a permis la génération d'un rapport établissant les gains et les pertes de superficie des différentes unités d'occupation du sol de 1989 à 2020 (figure 8) et les variations de superficies subies entre 1989 et 2020 (figure 9).

L'examen des résultats issus de la modélisation note une stabilité relative pour les classes: « plan d'eau », « sol nu » et « culture/jachère ».

L'interprétation visuelle de la carte fait constater que le tissu urbain s'étend de l'ouest vers l'est en englobant l'espace naturel, les villages Elokaté et Elokaté se confondent, les plantations affichent une perte de leur superficie en passant de 2704.32ha en 2020 à 1920.72ha en 2040. A l'analyse de la figure 8, la classe « bâtis » a la plus forte tendance progressive tandis que la classe végétation affiche la plus forte tendance régressive.

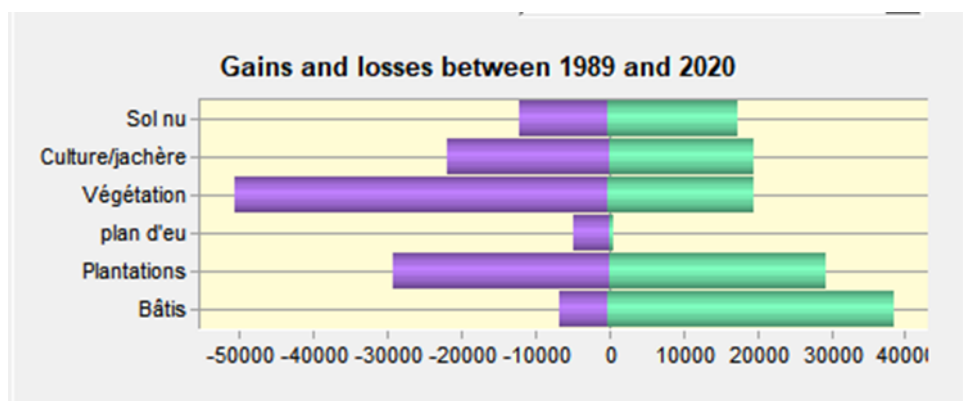


Fig. 8. Rapport de perte et de gain après modélisation

L'interprétation visuelle de la carte fait constater que le tissu urbain s'étend de l'ouest vers l'est en englobant l'espace naturel, les villages Elokaté et Elokaté se confondent, après la végétation qui ne sera plus que de 10.69%, les plantations suivent en passant de 2704.32ha en 2020 à 1920.72ha en 2040 soit 9.42% de la superficie totale (figure 10).

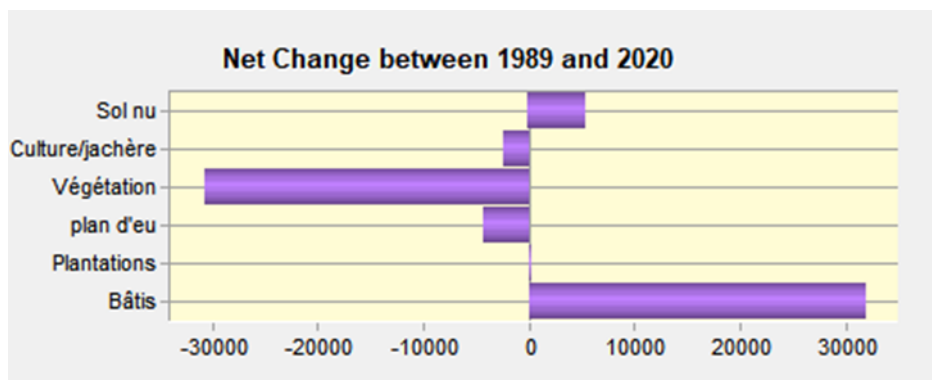


Fig. 9. Changement entre 1989 et 2020

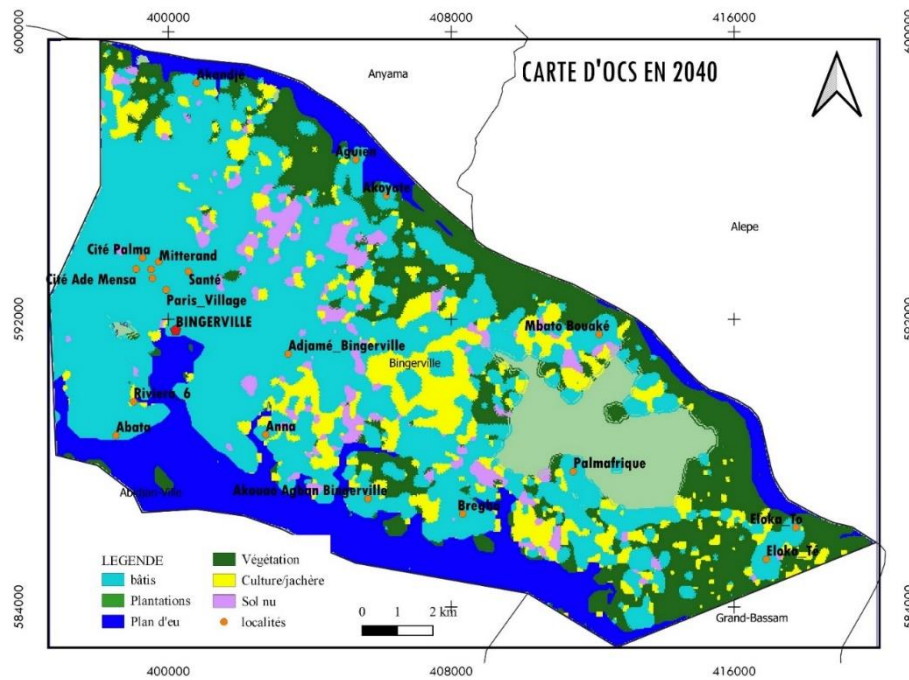


Fig. 10. Carte de la projection de l'occupation du sol à l'horizon 2040

L'examen de la carte d'occupation du sol issue de la projection note une stabilité relative pour les classes: « plan d'eau », « sol nu » et « culture/jachère ». La classe « bâtis » a une dynamique progressive avec le plus fort taux: 0.66% de superficie inchangée.

## 6 DISCUSSION

Les pays africains souffrent d'un manque de planification du développement des zones périurbaines [21]. La ville semble s'étendre sans aucun souci de préservation ou de restauration du patrimoine naturel. Cette extension pose non seulement le problème de la préservation de la biodiversité, mais aussi et surtout celui de la restriction de l'espace agricole des populations riveraines.

Il ressort de cette étude que le problème de l'étalement urbain qui est la cause de la perte de la végétation dans la commune de Bingerville est lié d'une part « aux forces économiques et sociales qui supportent le mouvement d'urbanisation et d'autre part, à une sorte de déficit de planification urbaine ». L'effet cumulatif des impacts de l'Homme sur la nature est plus grave là où la proximité de l'Homme avec la nature est grande [22]. L'espace terrestre d'Abidjan est aujourd'hui pris dans l'étau de la croissance rapide de son économie et des activités anthropiques [6].

L'analyse multitemporelle de l'occupation du sol dans le secteur d'étude de Bingerville, révèle que sur le plan spatial, les changements dans l'occupation du sol se sont opérés de façon progressive. Les résultats issus de la classification par la méthode orientée objet sont de qualité suffisante, la précision globale pour l'ensemble des images cartographiées est de 86,04%.

La classification dite orientée objet peut s'avérer difficile dans sa mise en œuvre, notamment dans la manipulation des paramètres d'échelle. Mais cette tâche a permis d'avoir des résultats satisfaisants. En effet, cette méthode a été utilisée dans une étude sur la dynamique forestière et la pression urbaine dans le Parc national du Banco. Comme le cas de cette étude, la pression anthropique a réduit la surface des ressources forestières [23].

Les objectifs de cette recherche s'insèrent dans une approche thématique identifiant des unités paysagères à partir de la relation entre le bâti et le non bâti pour identifier, analyser et évaluer l'état des lieux et transformations spatiales en relation avec la croissance urbaine. L'approche méthodologique utilisée s'appuie sur celle utilisée pour faciliter l'utilisation de la télédétection dans des études de suivi des milieux urbains. Les résultats de notre étude ont aussi permis la description de l'état des lieux d'une agglomération, sur la situation du bâti (constructions et densités) et du non bâti (sol nu, végétation, eau) [24].

À l'analyse des cartes d'occupation du sol, nous constatons la tendance régressive de l'espace végétalisé et l'augmentation progressive des surfaces urbanisées. Cette progression de la tâche urbaine s'est vue renforcée au fil des années. Ces résultats

sont conformes à ceux obtenus par Koumoï et *al.*, (2013). Toutefois dans le cadre la présente étude la régression des superficies forestières s'explique beaucoup plus par l'étalement urbain alors que chez ces auteurs cela était dû aux activités agricoles [25].

L'analyse de ces différents résultats issus des traitements, classification, et post classification des images satellitaires révèle une dynamique progressive de l'étalement urbain dans la commune de Bingerville. Cela est en conformité avec d'autres résultats qui ont démontré que l'urbanisation du grand Abidjan s'est faite au détriment du couvert forestier [6].

La projection de l'occupation du sol dans le cadre de ce travail a été faite grâce à la chaîne de Markov. La modélisation prospective de l'occupation du sol à l'horizon 2040 vient renforcer les résultats obtenus grâce à l'analyse des cartes d'occupation du sol qui ont démontré que la commune est sujette à une déforestation progressive en faveur de l'espace anthropisé. Elle confirme les tendances d'évolution observée lors de l'étude diachronique entre 1989 et 2020. Certains auteurs ont plutôt opté pour la méthode de l'automate cellulaire pour la simulation de l'étalement urbain à la Réunion [26]. Antoni (2006) a aussi utilisé la chaîne de Markov pour la modélisation prospective de l'occupation du sol en milieu urbain. Comme dans notre cas, les 3 étapes que sont la visualisation, la quantification, localisation et la différenciation des dynamiques urbaines ont été observées. Cela lui a aussi permis de générer rapidement des simulations simples et opérationnelles quant à l'avenir des territoires urbains [27].

Les résultats obtenus dans cette recherche pourraient être utiles à la réflexion prospective pour les projets territoriaux qui doivent répondre aux enjeux des zones à forte pression d'urbanisation comme Bingerville. C'est qu'ont tenté Abrantes et *al.*, (2010) [28].

Au chapitre des limites, il nous semble important de distinguer des contraintes liées à l'utilisation d'un tel outil dans une démarche de prospective territoriale: la première est liée à la sensibilité du modèle, la seconde limite concerne la complexité du paramétrage du modèle qui nécessite un investissement théorique et technique minimal pour comprendre le fonctionnement de l'outil.

## **7 CONCLUSION**

L'exploitation de l'imagerie satellitaire a permis de réaliser la cartographie diachronique, la modélisation et l'analyse des changements de l'occupation du sol dans la commune de Bingerville.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence grâce à la télédétection et les SIG que l'étalement urbain est le principal facteur de réduction des ressources végétales dans la commune de Bingerville.

La démarche mise en œuvre dans ce travail a privilégié l'application de méthodes de suivi déjà éprouvées et facilement reproductibles. Elles ont montré que l'étalement urbain, qui touche aussi des agglomérations péri-urbaine telle que Bingerville entraîne des modifications importantes des structures paysagères qui à leur tour impactent la biodiversité. Il ressort de cette étude que l'étalement urbain dans la commune urbaine de Bingerville de 1989 à 2020 est un fait et qu'il s'amplifie d'année en année.

L'agglomération de la commune urbaine de Bingerville est une illustration parfaite de la contrainte qu'exerce la dynamique urbaine sur le couvert végétal.

## **REFERENCES**

- [1] United Nations (2019), Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights.
- [2] Bauer G. et Roux J.M., (1976). La Rurbanisation ou la ville éparpillée. Paris: Seuil, 189 p.
- [3] CHARMES E., 2011, La ville émietlée - Essai sur la clubbisation de la vie urbaine, Paris, PUF, Collection La ville en débat, 288 p.
- [4] Pinson.D and S.Thomann (2002), Vivre dans une campagne... urbaine, in Sciences Humaines, Hors Série n°39: « La France en débats», Auxerre, p. 24-27.
- [5] Pumain D., (1985). Dynamique des villes pp341-342.
- [6] Koffi A. (2007). Etude comparée de la dynamique de l'espace urbain à Bingerville et à Anyama. Abidjan, Université de Cocody, mémoire de maîtrise, IGT, 117 p.
- [7] Herold M., Goldstein N.C. and Clarke K.C., (2003). The spatiotemporal form of urban growth: Remote Sensing of Environment. pp 1-17.

- [8] Derdjini H. (2017). Cartographie des changements de l'occupation du sol dans la plaine de la mitidja à partir des images landsat, Mémoire de Master, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah, 79 p.
- [9] Chatelain, C. (1996) Possibilités d'application de l'imagerie à haute résolution pour l'étude de la transformation de la végétation en Côte d'Ivoire. Thèse Doc.ès-Sc., Univ. Genève, 206p.
- [10] Girard, M.-Claude et Girard, M.-Colette (1999) Traitement des données de télédétection, Interprétation physique des données, les comportements spectraux. 529 p.
- [11] Oszwald J. (2005). Dynamique des formations agroforestières en côte d'ivoire (des années 1980 aux années 2000): suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, Lille, France, 304 p.
- [12] Kauth R.J., Thomas G.S. (1976). The Tasselled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. Symposium LARS, document 159.
- [13] Oloukoi, J. (2006). Dynamique de l'occupation du sol dans le département des collines et impact sur l'utilisation des bas-fonds. Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, 84.
- [14] OSZWALD J., LEFEBVRE A., ARNAULD DE SARTRE X., GOND V., THALES M., FRETAS R. L., 2010. Analyse des directions de changement des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Brésil) entre 1997 et 2006. *Télédétection*, 9 (2): 97-111.
- [15] Skupinski G. Binhttran D. et Weber C. (2009). Les images satellites Spote - et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain- les cas de la vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France) *Cybergeo European journal of geography*.
- [16] Pontius, R. G., (2000), Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. Vol. 66, n° 8, pp. 1011-1016.
- [17] Bernier B. 1992. Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 217 p.
- [18] Aguejad R. (2009). Etalement 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 de doctorat, Université Rennes 2 HAUTE BRETAGNE. 375 p.
- [19] Eastman. (2006) - IDRISI Andes. Tutorial. April 2006. Worcester (MA, USA), Clark University, 284 p.
- [20] Essid H. (2012). Modélisation spatio-temporelle à base de modèles de Markov cachés pour la prévision des changements en imagerie satellitaire: cas de la végétation et de l'urbain. Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal - Clermont II, 99 p.
- [21] Oloto E. et A. Adebayo, (2012), La nouvelle Lagos - Les défis des zones périurbaines et de sa relation avec son centre-ville, Département d'architecture, Université de Lagos, Akoka, l'État de Lagos, au Nigeria, 74p.
- [22] Forman, R., (2009), Arrangements of Nature and People: Using Landscape-Ecology, Coastal-Region, and Urban-Region Lenses, Irish National Lands cape Conference 2009, pp. 28-38.
- [23] Sako N. Beltrando G. Koffi L A. N'Da H D. (2013). Dynamique forestière et pression urbaine dans le Parc national du Banco (Abidjan, Côte d'Ivoire), 12p.
- [24] Collin-Delavaud A. (1996). L'évolution démographique des villes d'Amérique latine. *L'information géographique*, volume 60, n°1-2pp1-9.
- [25] Koumoi Z, Alassane A, Minkilabe D, Tchaa B, Ama-Edi K. (2013) Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le centre-togo, *Revue de Géographie du LARDYMEs*, 16p.
- [26] Lajoie G. Hagen-Zanker A. (2007). La simulation de l'étalement urbain à La Réunion: apport de l'automate cellulaire *Metronamica pour la prospective territoriale*, Cybergeo: European Journal of Geography, 16p.
- [27] Antoni J-P, (2006), Calibrer un modèle d'évolution de l'occupation du sol urbain. L'exemple de Belfort, *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- [28] Abrantes P, Soulard C, Jarrige F et Laurens L. (2010). Dynamiques urbaines et mutations des espaces agricoles en Languedoc-Roussillon (France). *Cybergeo: European Journal of Geography* pp11-20.