

APPORT DES IMAGES SATELLITAIRES À L'ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DES ESPACES URBANISÉS DANS LE GRAND ABIDJAN : CAS DE LA COMMUNE DE BINGERVILLE (1987-2022)

CONTRIBUTION OF SATELLITE IMAGES TO THE SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN AREAS IN GREATER ABIDJAN : THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF BINGERVILLE (1987-2022)

Habal Kassoum TRAORE, Sébastien LEBAUT, Gilles DROGUE, Eugène Kouadio KONAN

Résumé

La dynamique urbaine des métropoles africaines constitue un sujet d'étude de plus en plus exploré, notamment à Abidjan (Côte d'Ivoire), où la croissance urbaine s'accélère au fil des années. Ce phénomène engendre un étalement urbain important, favorisant la périurbanisation, en particulier dans des communes périphériques comme Bingerville. Pour analyser cette évolution, des algorithmes de classification supervisée ont été appliqués à une série d'images satellitaires Landsat couvrant plusieurs décennies. Cette méthodologie a permis de détecter et de cartographier les changements d'occupation du sol, dans le but de quantifier précisément l'extension du bâti. Les résultats mettent en évidence une urbanisation rapide et parfois non maîtrisée, liée à la pression croissante des projets immobiliers. Ces observations soulignent l'urgente nécessité d'une planification urbaine adaptée, visant à encadrer le développement de manière durable et à éviter l'émergence d'une urbanisation anarchique qui expose les habitants aux dangers des aléas naturels.

Mots-clés

télédétection, étalement urbain, Grand Abidjan, Bingerville, Random Tree

Abstract

The urban dynamics of African metropolises have become an increasingly explored subject of study, particularly in Abidjan (Côte d'Ivoire), where urban growth continues to accelerate over the years. This phenomenon has resulted in significant urban sprawl, promoting peri-urbanization, especially in peripheral municipalities like Bingerville. To analyze this evolution, supervised classification algorithms were applied to a series of Landsat satellite images spanning several decades. This methodology enabled the detection and mapping of land-use changes, with the aim of precisely quantifying the expansion of built-up areas. The results highlight rapid and sometimes uncontrolled urbanization, driven by increasing pressure from real estate projects. These findings underscore the urgent need for suitable urban planning to guide development sustainably and to prevent the emergence of chaotic urbanization that exposes residents to natural hazard risks.

Keywords

remote sensing, urban sprawl, Greater Abidjan, Bingerville, Random Tree

INTRODUCTION

La dynamique urbaine s'accélère de manière exponentielle dans de nombreuses métropoles ouest-africaines, à l'instar d'Abidjan, Dakar et Kinshasa, les trois plus grandes villes francophones du continent (OCDE et Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2020). Ces agglomérations incarnent un microcosme africain du phénomène mondial de métropolisation, largement étudié par les géographes et urbanistes (Borderon *et al.*, 2014 ; Messina Ndzomo *et al.*, 2019 ; Oura,

2012). Sous l'effet combiné de la mondialisation, de la croissance démographique naturelle et des migrations internes, ces villes ont vu leurs contours se redessiner de façon spectaculaire. Selon AFRICAPOLIS (2023), « *L'Afrique compte désormais au moins 8 500 agglomérations urbaines de plus de 10 000 habitants. En outre, les agglomérations existantes - y compris les villes et métropoles - ont vu leur superficie augmenter de 16 % entre 2015 et 2020* ». La transformation rapide des agglomérations en Afrique de l'Ouest, et particulièrement l'intégration des communes

périphériques aux grandes capitales, soulève ainsi plusieurs enjeux essentiels. Ces enjeux incluent : un étalement urbain non maîtrisé, un déficit d'infrastructures, une pression sur les espaces naturels ainsi que des inégalités socio-spatiales.

Les métropoles de cette région connaissent une expansion désordonnée et une forte croissance démographique (E-Geopolis, 2011). L'intégration des périphéries, souvent caractérisées par un développement informel et un manque d'infrastructures, est une problématique cruciale (Nyalewo *et al.*, 2023). En effet, ces communes périphériques deviennent des extensions fonctionnelles des grandes villes, mais sans bénéficier toujours d'une planification adéquate. Cela crée des défis en termes de gestion des services urbains (eau, électricité, voirie, etc.) et de cohésion socio-spatiale, ce qui est observé dans de nombreuses villes africaines où la fragmentation est une réalité courante. Cela soulève en outre d'importantes questions sur l'intégration des espaces péri-urbains aux capitales et sur les impacts socio-économiques et environnementaux de cet étalement. Cette problématique est largement étudiée par la communauté scientifique, à l'image des travaux de Fèvre (2013) ; Trefon et Kabuyaya (2016) montrent que ces espaces périurbains sont des zones dynamiques où les acteurs locaux réinventent constamment leur rapport à la ville et à la nature (Kemajou Mbianda et Chenal, 2019).

Parmi ces espaces, la commune périphérique de Bingerville située au sud-ouest de la ville d'Abidjan, autrefois simple bourg rural, se positionne désormais comme un espace hybride (Loba, 2010). D'une superficie d'environ 164 km² et d'une population estimée à 204 656 habitants, les données démographiques de l'INS-CI, (2021) montrent que le développement de la commune se situe aujourd'hui à mi-chemin entre modernité et quelques fragments de ruralité. Joutant la capitale économique ivoirienne, cette commune en absorbe une partie des flux migratoires liés aux crises politiques et à l'explosion démographique (OCDE, (2022)). Néanmoins, pendant de longues années, Bingerville n'a pas bénéficié des mêmes investissements en infrastructures que certaines communes de la ville d'Abidjan, ce qui en fait un excellent cas d'étude pour évaluer l'impact de l'urbanisation rapide sur les villes secondaires en Afrique de l'Ouest.

Les recherches récentes de Nyalewo *et al.* (2023) soulignent le manque de planification systémique et l'absence de politiques d'urbanisation harmonisées, un problème qui touche de nombreuses grandes villes africaines. Cependant, l'un des problèmes majeurs pour la gestion urbaine et environnementale en Afrique est le manque de données chiffrées fiables. Ce déficit entrave la planification, la gestion des infrastructures et la mise en place de politiques publiques adaptées. Les outils traditionnels de collecte de données, comme les recensements et les relevés sur le terrain, sont souvent coûteux, chronophages et sujets à des erreurs, ce qui aggrave la situation dans des contextes où les ressources sont limitées.

Les données issues des satellites d'observation de la Terre rendent désormais possible le suivi précis et régulier de la dynamique de l'occupation des sols, de l'étalement urbain, de la déforestation, et des changements environnementaux en temps quasi réel.

En sus de ces éléments, l'un des problèmes majeurs en Côte d'Ivoire tout comme dans de nombreux pays d'Afrique est lié à l'adoption d'une nomenclature d'occupation du sol adapté à ce pays. En présence de ce vide technique, ces recherches se référeront à la classification proposée par Anderson *et al.* (1976).

La commune de Bingerville a connu de nombreuses reconfigurations administratives au fil du temps. Elle fut la deuxième capitale de la colonie de Côte d'Ivoire entre 1900 et 1934, après Grand-Bassam et avant Abidjan. Bingerville, l'une des communes de la région du Grand Abidjan, a été intégrée dans un premier temps au District Autonome d'Abidjan (DAA) en vertu de la loi n° 2014-453 du 5 août 2014. Le district regroupe treize communes, dont Bingerville, Anyama et Songon. Bingerville a été incluse dans le Grand Abidjan en raison de son développement et de sa proximité avec la capitale économique de la Côte d'Ivoire.

L'intégration de Bingerville dans le Grand Abidjan s'inscrit dans une stratégie de planification urbaine visant à faire de cet espace «un pôle de développement sous-régional» (Schéma directeur d'urbanisme du Grand Abidjan, 2015). Autrefois isolée, la commune bénéficie

aujourd'hui de projets de modernisation des infrastructures, tels que la création de nouvelles lignes de transport, comme la ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BRT) Yopougon-Bingerville, qui vise à fluidifier la mobilité urbaine (Projet de mobilité urbaine d'Abidjan, 2024). Ce type d'initiative montre l'effort pour l'intégration complète de la commune dans la dynamique urbaine et économique de l'agglomération du Grand Abidjan.

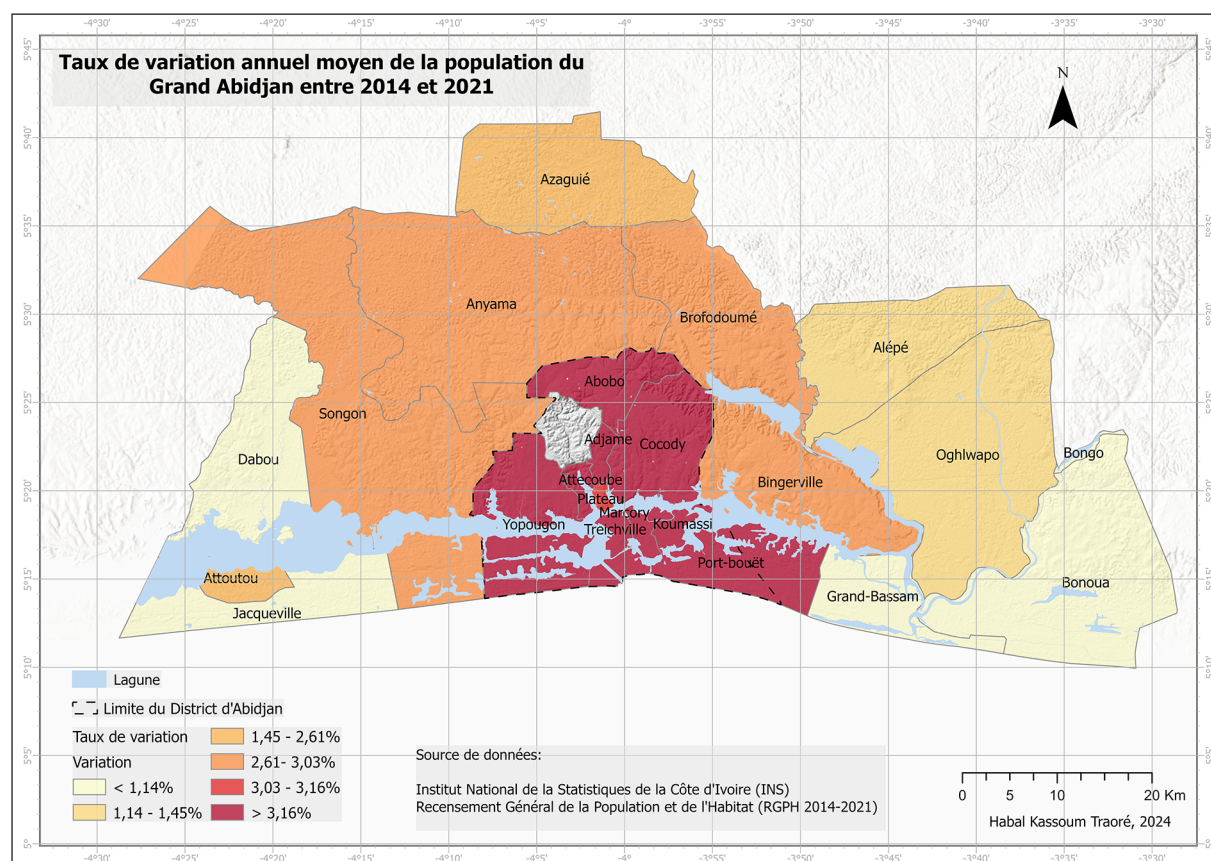
Le Grand Abidjan, qui englobe des communes périphériques comme Bingerville, Anyama et Grand-Bassam, incarne un pôle de croissance démographique et économique exceptionnel. Ce dynamisme, en partie alimenté par l'expansion urbaine rapide, a accentué la périphérisation de ces communes, transformant ces espaces en relais incontournables de l'urbanisation d'Abidjan, tout en renforçant leur intégration dans le tissu métropolitain ivoirien.

Le District d'Abidjan, moteur économique de la Côte d'Ivoire, connaît une croissance démographique soutenue, illustrée par un taux de variation

annuel moyen positif (Carte 1) de plus de 3 % entre 2014 et 2021 (périodes consécutives aux derniers Recensement Généraux de la Population et de l'Habitat, RGPH).

Bingerville à l'est du District d'Abidjan, autrefois perçue comme une localité semi-rurale, est désormais au cœur de cette dynamique d'expansion urbaine, subissant une transformation rapide et profonde (Loba, 2010).

Comment analyser et quantifier précisément l'évolution de l'étalement urbain à Bingerville, tout en prenant en compte l'impact des politiques d'aménagement, les enjeux environnementaux, et les transformations socio-spatiales en cours ? La combinaison des données satellitaires et des méthodes de classification supervisée permet-elle de révéler les patterns d'urbanisation et d'anticiper les futures zones à bâtir ? Et quelles sont les conséquences de ce développement sur l'environnement naturel et la planification urbaine de la commune ? Voici quelques questionnements auxquels nos travaux de recherche tentent d'apporter une réponse.



Carte 1. Croissance démographique de la population du Grand Abidjan (d'après les données du RGPH 2014-2021)

I. LES CONTRAINTES LIÉES À L'ÉTUDE DE L'ÉTALEMENT URBAIN À BINGERVILLE

Pour analyser l'étalement urbain, divers indicateurs sont utilisés : densité de population, indicateurs socio-économiques et données cadastrales (CEREMA, 2014). Cependant, collecter et analyser ces données requiert des moyens importants, souvent difficiles à mobiliser dans le contexte de pays en développement. De plus, même disponibles, leur fiabilité est parfois remise en question par les scientifiques en raison de défis méthodologiques (Observatoire Économique et Statistique d'Afrique Subsaharienne, 2007 ; Tidiane Ndiaye *et al.*, 2018).

En Afrique, où ces obstacles sont tangibles, la télédétection spatiale constitue une réelle alternative (Champaud et Cherel, 1994 ; Demaze, 2010). Elle permet de surmonter les limitations des méthodes classiques en offrant une analyse en temps réel et à grande échelle des dynamiques urbaines. Des études récentes de Basudeb Bhatta (2010) et Kuc et Chormański (2019) démontrent ainsi l'efficacité de la télédétection pour suivre l'évolution des paysages urbains, appuyant ainsi la planification dans des espaces en forte expansion, comme Bingerville.

En ce qui concerne le choix du satellite, les contraintes environnementales et les défis méthodologiques ont guidé nos décisions, notamment pour ce qui est des dates sélectionnées pour l'analyse. Ces éléments ont orienté notre approche vers les méthodes de classification supervisée, permettant ainsi une bonne compréhension de la dynamique urbaine sur le long terme.

II. CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET OUTILS MOBILISÉS

Pour documenter l'évolution spatio-temporelle des espaces urbanisés sur le territoire de la commune de Bingerville, nous avons sélectionné des images issues des satellites Landsat 9 (2022), Landsat 8 (2016) et Landsat 4 (1987). Ce choix est fondé sur des critères d'ordre technique (le choix du niveau de traitements), climatique (avoir une homogénéité sur les périodes, en l'occurrence la saison sèche) et historique (portant sur les périodes marquantes de la commune). La chaîne

de traitement appliquée aux images sélectionnées est présentée sur la Figure 1.

A. Les données Landsat

1. Préparation des données

Toutes les images post-traitées sont au niveau de traitement « Level 2 » (niveau 2). Ce niveau

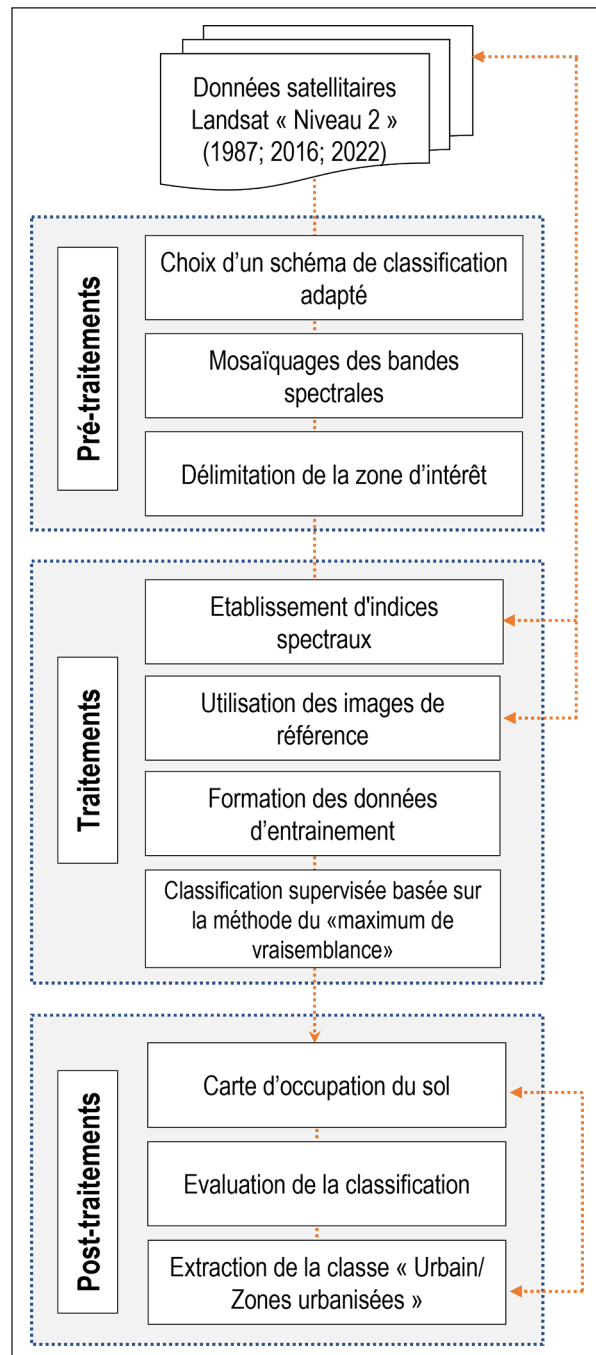


Figure 1. Chaîne de traitement décrivant la méthodologie suivie pour la cartographie des modes d'occupation des sols

de traitement, fournit des données pré-corrigées, éliminant ainsi le besoin de prétraitements souvent nécessaires avec des images brutes « Level 1 » (niveau 1). Les images du niveau 2 bénéficient d'une correction atmosphérique et radiométrique, ainsi que d'une correction géométrique (Crawford *et al.*, 2023 ; Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2020).

La cohérence de la résolution spatiale à 30 mètres et l'absence de besoin de prétraitement supplémentaire contribuent à l'efficacité et à la rigueur de l'analyse, permettant de se concentrer sur les méthodes de classification supervisée et sur l'interprétation des résultats.

Les trois années 1987, 2016 et 2022 couvrent des étapes critiques de l'évolution de Bingerville, offrant une vue d'ensemble de sa transition d'une petite ville à une banlieue intégrée d'Abidjan. Elles permettent d'analyser comment la ville a évolué sous la pression de l'expansion métropolitaine, tout en maintenant une cohérence avec les périodes pour lesquelles des données satellitaires Landsat de haute qualité sont disponibles.

Notons que la résolution spatiale des images Landsat (30 mètres) nécessite l'utilisation de données de référence complémentaires pour améliorer l'évaluation de la classification (Figure 1). Pour l'année 1987, des photographies aériennes anciennes scannées à 500 ppp et géoréférencées, fournissent une référence fiable et une vision détaillée des zones urbaines de l'époque, comblant ainsi les limites de la résolution spatiale Landsat. Pour les années 2016 et 2022, des images Sentinel-2 (10 mètres) et Spot (1,5 mètre avec affinage panchromatique) sont utilisées comme références, offrant une

résolution fine et permettent une validation précise des résultats, notamment dans le centre dynamique de Bingerville.

2. L'application d'indices spectraux

Des indices spectraux sont appliqués à chaque classe d'occupation du sol pour améliorer la précision de la classification et discriminer efficacement les caractéristiques radiométriques des différentes classes (Tableau 1). Parmi les indices les plus courants, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se distingue, car il mesure la « vigueur » de la végétation en utilisant les bandes du proche infrarouge (NIR) et du rouge (RED). Cet indice se révèle particulièrement efficace pour identifier les espaces forestiers par rapport aux surfaces artificielles ou aux terres nues. Pour la détection des zones urbanisées, l'Indice de Différence Normalisée pour les Zones Bâties (NDBI), fondé sur les bandes NIR et SWIR 1, est employé. Cet indice est crucial pour différencier les espaces bâtis des autres surfaces, telles que la végétation et les plans d'eau.

D'autres indices, comme l'Indice de Différence Normalisée de l'Eau (NDWI), sont utilisés pour identifier les plans d'eau et les zones humides, calculé à partir des bandes vertes et du proche infrarouge. L'application de ces indices spectraux à chaque image et à chaque classe améliore la séparation des classes et la précision des résultats de classification, comme le montrent plusieurs études en télédétection (Yasin, 2022). Ces méthodes sont particulièrement efficaces dans les environnements urbains et périurbains, où les transitions entre classes sont subtiles et nécessitent des outils analytiques robustes pour une détection et une interprétation précise.

Description des classes	Équation
Forêts	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ $NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$
Plans d'eau	$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ $NDWI = (B2 - B4) / (B2 + B4)$
Urbain/Zones urbanisées	$NDBI = (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR)$ $NDBI = (B5 + B4) / (B5 - B4)$
Terrains nus et arides	$FM = (SWIR1/NIR)$ $FM = (B5/B4)$

Tableau 1. Indices spectraux appliqués aux classes d'entités catégorisées

B. Les méthodes de classification supervisée

Il s'agit de techniques d'apprentissage automatique utilisées pour catégoriser des données en fonction de classes préalablement définies. Ces méthodes reposent sur un ensemble d'apprentissage composé de données étiquetées (avec une classe connue), qui servent à entraîner un modèle (Nintarakit, 1989). Lors de nos recherches, la méthode de classification Random Forest, dénommée « *Random Tree* » (arbres aléatoires) dans le logiciel SIG ArcGis Pro de ESRI, (2024) est utilisée. Il s'agit d'un algorithme qui combine plusieurs arbres de décision pour améliorer la précision des prédictions. Chaque arbre de décision est construit à partir d'un échantillon aléatoire des données d'apprentissage, et à chaque nœud, un sous-ensemble aléatoire de variables est sélectionné pour déterminer la meilleure division.

L'utilisation de cet algorithme permet de classer les images satellitaires en identifiant les différentes classes d'occupation du sol (zones bâties, végétation, terres agricoles, etc.) sur les périodes choisies. Conjointement au choix de l'algorithme, il convient de statuer sur une classification des modes d'occupation des sols adaptée au territoire étudié.

1. Une classification de l'occupation des sols adaptée à l'espace étudié

En Côte d'Ivoire, comme dans de nombreux pays africains, l'un des défis majeurs réside dans l'adaptation des systèmes de classification d'occupation des sols aux réalités locales. Les classifications utilisées pour la cartographie de l'utilisation et de l'occupation du sol en Afrique s'inspirent souvent de modèles européens (comme Corine Land Cover), américains (National Land Cover Database) ou encore de modèles de classification ESRI (Global Land Use Land Cover). Elles sont reprises par certains États Africains comme le Gabon (Rapport sur la cartographie d'occupation des sols 2020, 2022) ou encore la Guinée (Cartographie de l'Occupation des Sols – Atlas du Zonage Agro-Écologique, 2023) et nécessitent généralement des adaptations pour s'ajuster aux aspérités du terrain.

Des progrès ont été réalisés dans ce domaine en Côte d'Ivoire. Ainsi, une carte d'occupation des sols issue de la classification des images optiques

Sentinel-2 est produite en 2020, regroupant 28 classes d'occupation du sol réparties en 6 catégories principales (BNETD/CIGN, 2020). Cette initiative fait de la Côte d'Ivoire le premier pays à mettre gratuitement à disposition des données de base pour appuyer les filières agricoles vis-à-vis des standards zéro-déforestation. Cependant, la documentation accompagnant la classification laisse apparaître quelques remarques. En effet, l'une des principales critiques de cette classification est qu'elle est fortement centrée sur la « végétation » au sens large (zones forestières, agricoles, etc.). En revanche, les espaces nommés « Habitat humain et infrastructures » sont non seulement sous-représentés, mais de plus, ne sont accompagnés d'aucune description précise, ce qui laisse cette catégorie sans définition claire.

De fait, dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé la classification proposée par Anderson *et al.*, (1976). Cette classification utilisée par l'Institut d'Études géologiques des États-Unis (United States Geological Survey) est largement reconnue pour sa structure et son niveau de détail. Ces éléments permettent une description précise des couvertures terrestres. Elle facilite également la comparabilité des résultats entre différentes études géographiques grâce à son utilisation courante dans la recherche internationale.

C. L'évaluation de la précision de la classification

L'évaluation de la précision de la classification est réalisée en adoptant une stratégie d'échantillonnage aléatoire stratifié, garantissant une répartition équitable des points d'échantillonnage entre les différentes classes identifiées, comme les zones bâties ou naturelles. Cette méthode, qui permet de mieux représenter les classes sous-représentées, est idéale pour des environnements hétérogènes. Un total de 500 points aléatoires est généré, ce qui permet une évaluation statistiquement robuste des erreurs de classification. Ces points sont comparés à des données de vérité terrain (photos aériennes) ou à des images de haute résolution (Sentinel-2 et Spot) pour établir des mesures de précision telles que la matrice de confusion et le « coefficient kappa » (Figure 1). Ce processus permet de garantir une précision globale suffisante, souvent au-dessus de 85 %, pour une analyse fiable de la dynamique urbaine.

1. L'analyse des données d'entraînement

Au terme du choix des classes, ainsi que de l'échantillonnage, il est nécessaire d'évaluer les échantillons choisis pour ces analyses. Dans un premier temps, des analyses des profils spectraux prédéfinis sont effectués afin de mieux caractériser les classes d'occupation des sols. Cela a permis de s'assurer que les objets sont correctement classés dans leurs catégories respectives. Par la suite, des matrices de confusion sont analysées pour évaluer la précision de la classification, en identifiant les éventuels chevauchements entre les classes d'occupation du sol et en améliorant l'interprétation des résultats. L'interprétation du coefficient Kappa se fonde sur la classification proposée par Monserud et Leemans (1992).

Pour l'image de 1987, les résultats montrent une précision utilisateur (U_Accuracy) et une précision producteur (P_Accuracy) de 0,98 pour toutes les classes. Cela indique que la quasi-totalité des objets sont correctement classés. Le coefficient Kappa, qui atteint 0,97, reflète une classification globale « presque parfaite » si l'on se réfère à la table d'interprétation élaborée par Monserud et Leemans (1992).

En 2016, la précision des classifications diminue, notamment pour les classes Urbain/ Zones urbanisées et Sols nus, qui montrent une baisse notable de l'U_Accuracy et de la

P_Accuracy, respectivement de 0,780 et 0,545. Cette réduction de précision pourrait être attribuée à certains critères dont la résolution de l'image, rendant la différenciation des classes plus complexe ainsi qu'à l'échantillonnage des éléments sur l'image (cf. section Discussion). Malgré cette baisse, les classes Zones agricoles et Forêts conservent des niveaux de précision relativement élevés. Le coefficient Kappa de l'image de 2016 (0,779) suggère une « bonne » classification, bien que moins précise que celle de 1987.

Pour l'image de 2022, la précision des classifications revient à des niveaux « parfaits », similaires à ceux observés sur l'image de 1987. Tous les objets sont à nouveau correctement classifiés, avec une U_Accuracy et une P_Accuracy de 1.

III. RÉSULTATS

L'analyse des données satellitaires et l'application des méthodes de classification supervisée mettent en lumière les transformations majeures de l'occupation des sols à Bingerville sur une période de 35 ans.

A. Évolution globale des classes d'occupation des sols à Bingerville

L'analyse des données d'occupation des sols de Bingerville entre 1987 et 2022 révèle des dynamiques profondes liées à l'urbanisation, avec des impacts

Données de validation (image de 1987)									
Classification		Plan d'eau	Urbain/Zones urbanisées	Sols nus	Zones agricoles	Forêts	Total	U_Accuracy	Kappa
	Plan d'eau	93	0	0	0	0	93	1	0
	Urbain/Zones urbanisées	0	21	2	0	0	23	0.91	0
	Sols nus	0	0	10	0	0	10	1	0
	Zones agricoles	0	0	1	80	0	81	0.98	0
	Forêts	0	0	1	3	297	301	0.98	0
	Total	93	21	14	83	297	508	0	0
	U_Accuracy	1	1	0.71	0.96	1	0	0.98	0
	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.97

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1987

Données de validation (image de 2016)									
Classification		Plan d'eau	Urbain/Zones urbanisées	Sols nus	Zones agricoles	Forêts	Total	U_Accuracy	Kappa
	Plan d'eau	85	0	0	3	0	88	0.96	0
	Urbain/Zones urbanisées	0	57	3	6	7	73	0.78	0
	Sols nus	0	4	6	1	0	11	0.54	0
	Zones agricoles	4	2	1	134	24	165	0.81	0
	Forêts	0	7	0	19	141	167	0.84	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0
	U_Accuracy	0.95	0.81	0.6	0.82	0.81	0	0.83	0
	Kappa	89	70	10	163	172	504	0	0.77

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2016

Données de validation 2022									
Classification		Plan d'eau	Urbain/Zones urbanisées	Sols nus	Zones agricoles	Forêts	Total	U_Accuracy	Kappa
	Plan d'eau	88	0	0	0	0	88	1	0
	Urbain/Zones urbanisées	0	81	0	0	0	81	1	0
	Sols nus	0	0	18	0	0	18	1	0
	Zones agricoles	0	0	0	245	0	245	1	0
	Forêts	0	0	0	0	69	69	1	0
	Total	88	81	18	245	69	501	0	0
	U_Accuracy	1	1	1	1	1	0	1	0
	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 4. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2022

significatifs sur les différentes classes d'occupation des sols (Graphique 1). L'urbanisation rapide, particulièrement depuis 1987, a entraîné une forte augmentation des surfaces bâties, qui ont plus que triplé en 35 ans, passant de 9 km² en 1987 à 33 km² en 2022. Cette croissance rapide reflète l'expansion résidentielle et industrielle de la commune, favorisée par la proximité d'Abidjan et l'amélioration des infrastructures.

Parallèlement, les terres agricoles connaissent une forte réduction, passant de 33 km² en 1987 à seulement 28 km² en 2022, illustrant les pressions de l'urbanisation et de la croissance démographique

sur les ressources naturelles, ce qui remet en cause l'équilibre écologique et pourrait menacer la sécurité alimentaire locale. De plus, la superficie forestière a également diminué de manière significative, passant de 133 km² (60 % de la surface totale) en 1987 à 100 km² (14 % de la surface totale) en 2022. Cette perte rapide de forêts entraîne des conséquences graves pour la biodiversité et les écosystèmes locaux, réduisant les habitats d'espèces, perturbant les cycles écologiques, et exacerbant les problèmes d'érosion des sols et de gestion de l'eau. Ce déclin souligne la nécessité d'une attention accrue pour préserver ces écosystèmes vitaux face aux changements d'utilisation des terres.

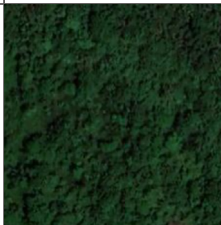
Classes	Description des classes	Satellites			Illustration des échantillons d'apprentissage
		Landsat 4	Landsat 8	Landsat 9	
		Date d'aquisition			
		31/12/1987	05/01/2016	20/01/2022	
		Valeurs d'occupation du sol			
Forêts	Espace forestier à feuilles caduques, à feuilles persistantes et forêts mixtes	60 % 123 km ²	34 % 70 km ²	48 % 100 km ²	
Eau	Cours d'eau ; Canaux ; Lacs ; Réservoirs ; Baies et estuaires	18,5 % 38 km ²	18 % 36 km ²	18 % 35 km ²	
Urbain/ Zones urbanisées	Zone résidentielle ; industrielle ; de transport et de communication	5 % 9 km ²	14 % 29 km ²	16 % 33 km ²	
Terrains nus et arides	Zones sableuses autres que plage ; Roches à nu ; Mines à ciel ouvert, carrière sablières ; Zones de transition ; Zones mixtes	0,5 % 1 km ²	1 % 2 km ²	4 % 7 km ²	
Zones agricoles	Cultures annuelles et pâturages ; Vergers ; bosquets ; vignes ; Autres terres agricoles	16 % 33 km ²	33 % 67 km ²	14 % 28 km ²	

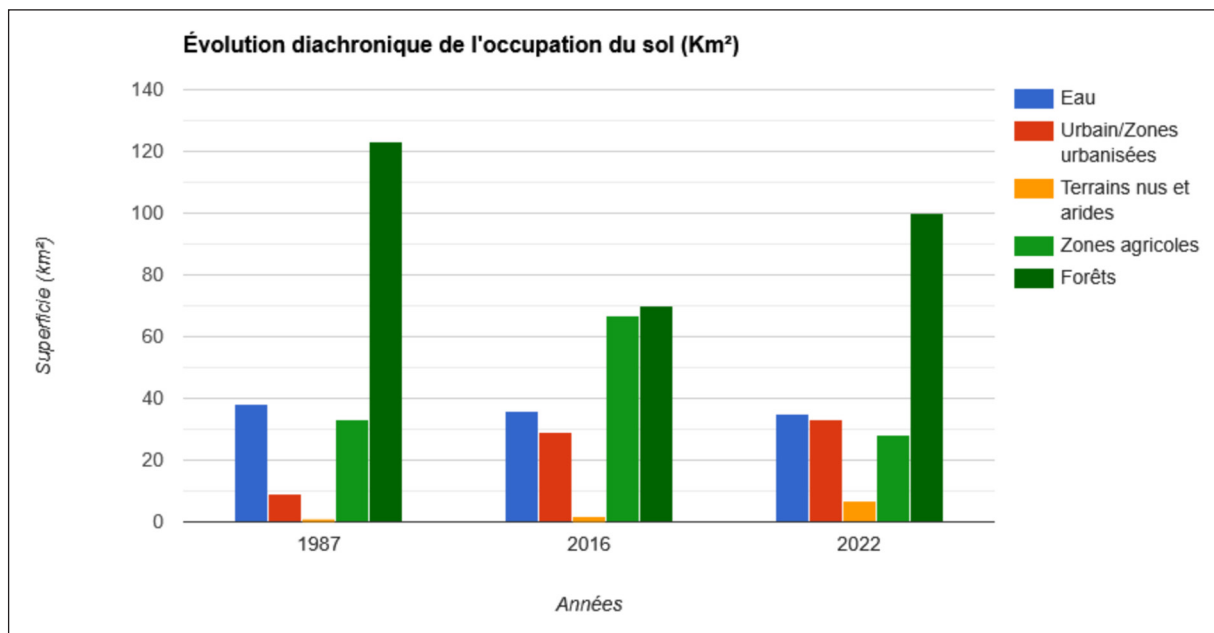
Tableau 5. Synthèse des éléments-clés sur l'évolution de l'occupation du sol à Bingerville de 1987 à 2022

B. Disparités géographiques des espaces urbanisés

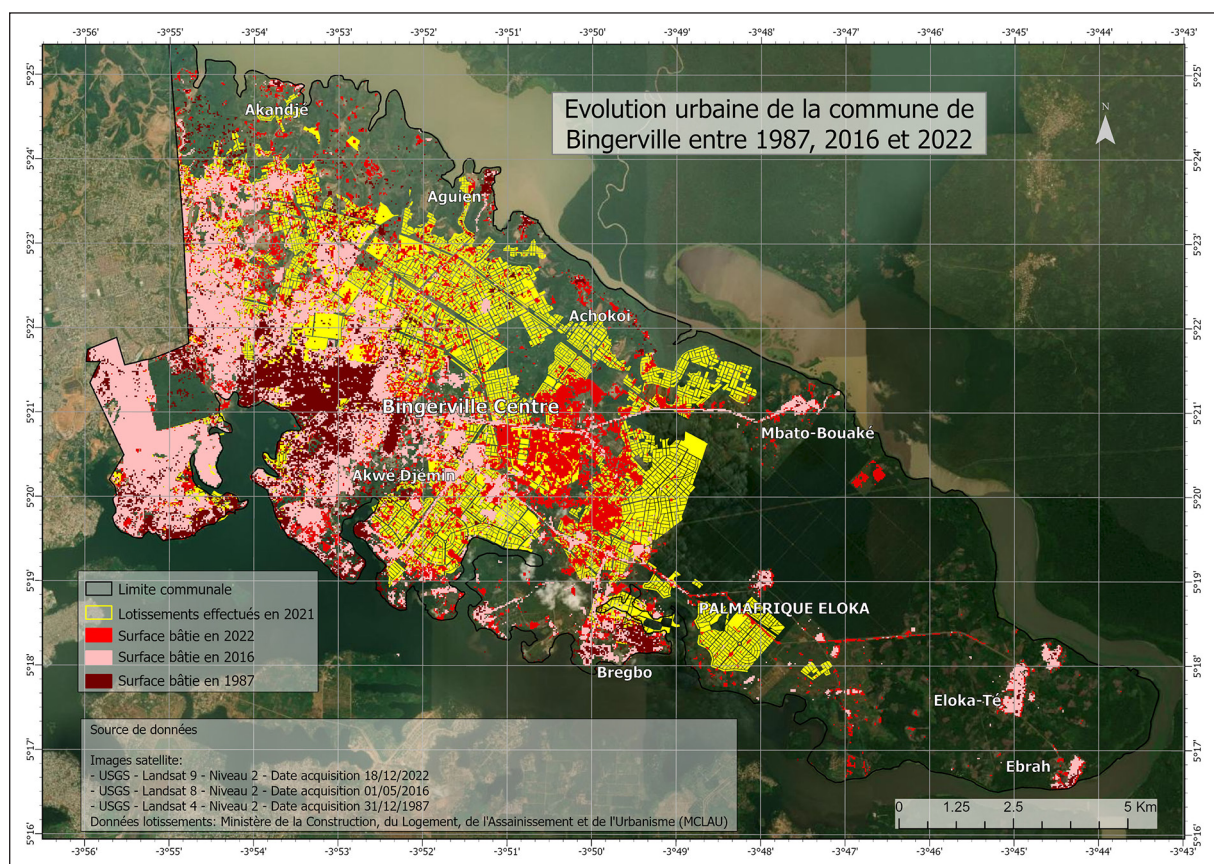
1. La fracture est-ouest : les zones agricoles et rurales en péril

L'état actuel du bâti révèle une fracture nette entre l'est et l'ouest de Bingerville en termes d'urbanisation (Carte 2). Alors que l'ouest de la commune,

plus proche d'Abidjan, est fortement urbanisé et en pleine expansion résidentielle, la partie située à l'est reste majoritairement rurale et moins développée. Cette division est le résultat de plusieurs facteurs, notamment la proximité avec la capitale économique, l'accessibilité des infrastructures, et les contraintes environnementales spécifiques à chaque zone. Dans la partie est, l'urbanisation



Graphique 1. Évolution des classes d'occupation des sols sur la période 1987-2022



Carte 2. Évolution des surfaces bâties dans la commune de Bingerville sur la période 1987-2022

est plus diffuse, avec des zones encore largement agricoles et naturelles, marquées par la présence de forêts secondaires et de terres cultivées. Cette zone semble moins affectée par l'étalement urbain rapide que connaît la région ouest, mais elle reste exposée à un développement futur sous l'effet de

la croissance démographique et des projets d'aménagement. L'identification des lotissements sur la carte, au-delà de leur état actuel, préfigure les futures zones à bâtir, soulignant la nécessité d'une planification urbaine proactive pour prévenir l'urbanisation anarchique.

Cette partie est également marquée par des zones semi-rurales (Eloka-té, Eloka-to, Ebrah, M'Bat-to-Bouaké) où l'on observe une expansion progressive des lotissements et des projets immobiliers (Photo 1). Bien que cet espace bénéficie de la proximité des forêts et des terres agricoles, il commence à se transformer en zones résidentielles sous l'influence de l'expansion urbaine d'Abidjan. Comme le démontrent Kangah et Della (2015), la lagune Ébrié limite l'expansion vers l'est, entraînant des contraintes environnementales comme l'érosion et les inondations saisonnières, compliquant ainsi les projets de développement. Traditionnellement, l'est de Bingerville a une forte vocation agricole, avec des zones vivrières et la plantation industrielle « PALMAFRIQUE », qui produit du palmier à huile sur 2 301 hectares (Comité de privatisation de l'État de Côte d'Ivoire, 2019). Cette plantation agit comme un rempart contre l'étalement urbain, mais l'augmentation des besoins en infrastructures et en logements, due à la croissance démographique, met en péril son avenir.

2. Un nouveau pôle d'attraction pour les projets immobiliers

Dans le continuum de la commune de Cocody (l'une des communes les plus huppées de la capitale ivoirienne), la commune de Bingerville est devenue un point stratégique pour les promoteurs immobiliers, notamment en raison de l'augmentation de la

demande en logements et de la saturation des zones centrales d'Abidjan. Des programmes immobiliers (majoritairement issus de bailleurs privés) illustrent cette dynamique avec des offres variées allant des logements sociaux aux résidences haut de gamme.

L'arrivée de ces lotissements immobiliers d'envergure (Carte 2) tels que les projets de SPIAC-SARL (110 000 m²) de S3I (110 000 m²) et de OPES HOLDING SA (110 000 m²) (Ministère de la construction, du logement, de l'assainissement et de l'urbanisme, 2023) a également transformé les paysages de la commune, avec de vastes zones aménagées pour accueillir de nouvelles infrastructures et services. Cette évolution reflète une mutation majeure du tissu urbain de Bingerville, où la demande résidentielle rencontre un fort potentiel de croissance. Par ailleurs, les aménagements futurs tels que la rocade Est d'Abidjan comme l'indique l'entreprise PFO Africa (2024), préfigurent l'émergence de nouveaux pôles d'attraction, renforçant l'intégration de la commune dans l'agglomération du Grand Abidjan.

DISCUSSION

L'utilisation des images Landsat dans cette étude présente des points faibles et des points forts. Au chapitre des points faibles, on peut mentionner tout d'abord la faible résolution spatiale des images (30 mètres) qui limite la capacité à télédétecter les

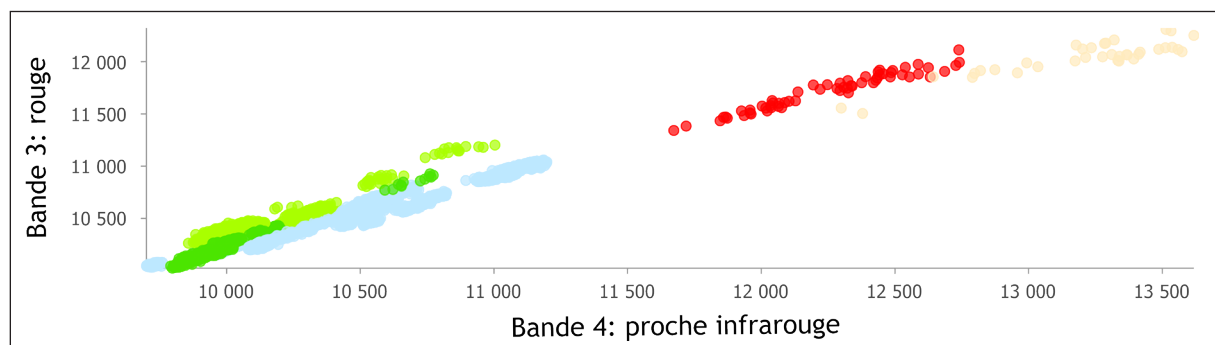


Photo 1. Vue aérienne de programmes immobiliers à Bingerville. Crédits : Radio Télévision Ivoirienne-RTI, 2023

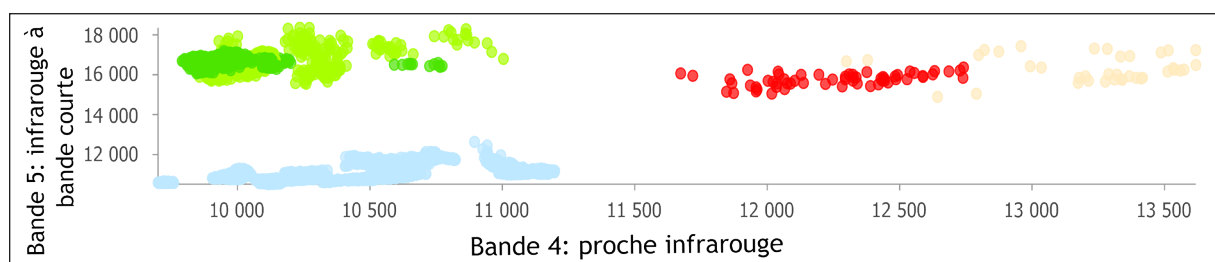
détails urbains, entravant ainsi l'identification précise de petites structures ou de transformations urbaines s'exprimant à une échelle fine, particulièrement dans des espaces à urbanisation rapide et fragmentée comme Bingerville. Ensuite, la performance de la classification n'est pas identique d'une image à l'autre. À ce titre, le coefficient kappa modeste de l'image de 2016 -qui en fait somme toute une image bien classifiée selon la nomenclature de Monserud et Leemans (1992)- nécessite quelques précisions. Si l'on observe les nuages de points des échantillons d'apprentissage (Graphique 2 et Graphique 3), ceux-ci révèlent un chevauchement des classes de végétation et d'eau (Graphique 2), en particulier entre les bandes 3 et 4 qui sont essentielles pour discriminer la végétation (Tableau 1). Cette confusion est le fait de la forte similarité spectrale de certaines classes de végétation (en l'occurrence les classes Zones agricoles et Forêts), ce qui complique leur différenciation. En revanche, l'analyse des nuages de points qui mettent en évidence les espaces urbains à partir des bandes 4 et 5, montrent une très bonne séparation des classes, indiquant une distinction claire entre les zones bâties et les autres types de couverture du sol (Graphique 3). Au final, la performance modeste de la classification globale n'obère donc pas la qualité de la cartographie des surface bâties pour l'année 2016.

Autre point faible : la couverture nuageuse. Celle-ci reste un défi majeur dans l'utilisation des images satellitaires issues de la télédétection « passive », particulièrement dans les zones tropicales, où elle complique l'accès à des données exploitables et entrave la disponibilité d'images claires sur certaines périodes. Ce phénomène est bien documenté dans plusieurs études en Afrique de l'Ouest tropicale. Par exemple, dans une analyse des changements d'occupation des sols dans la région de la métropole du Grand Accra, Addae et Oppelt (2019) soulignent que la couverture nuageuse fréquente constitue un obstacle majeur à l'obtention d'images fiables pour l'analyse de l'expansion urbaine. Les auteurs expliquent que cette situation complique l'évaluation précise de la dynamique de l'urbanisation et l'identification des forces motrices de cette croissance, qui nécessitent des périodes d'observation prolongées pour surmonter les lacunes créées par les nuages.

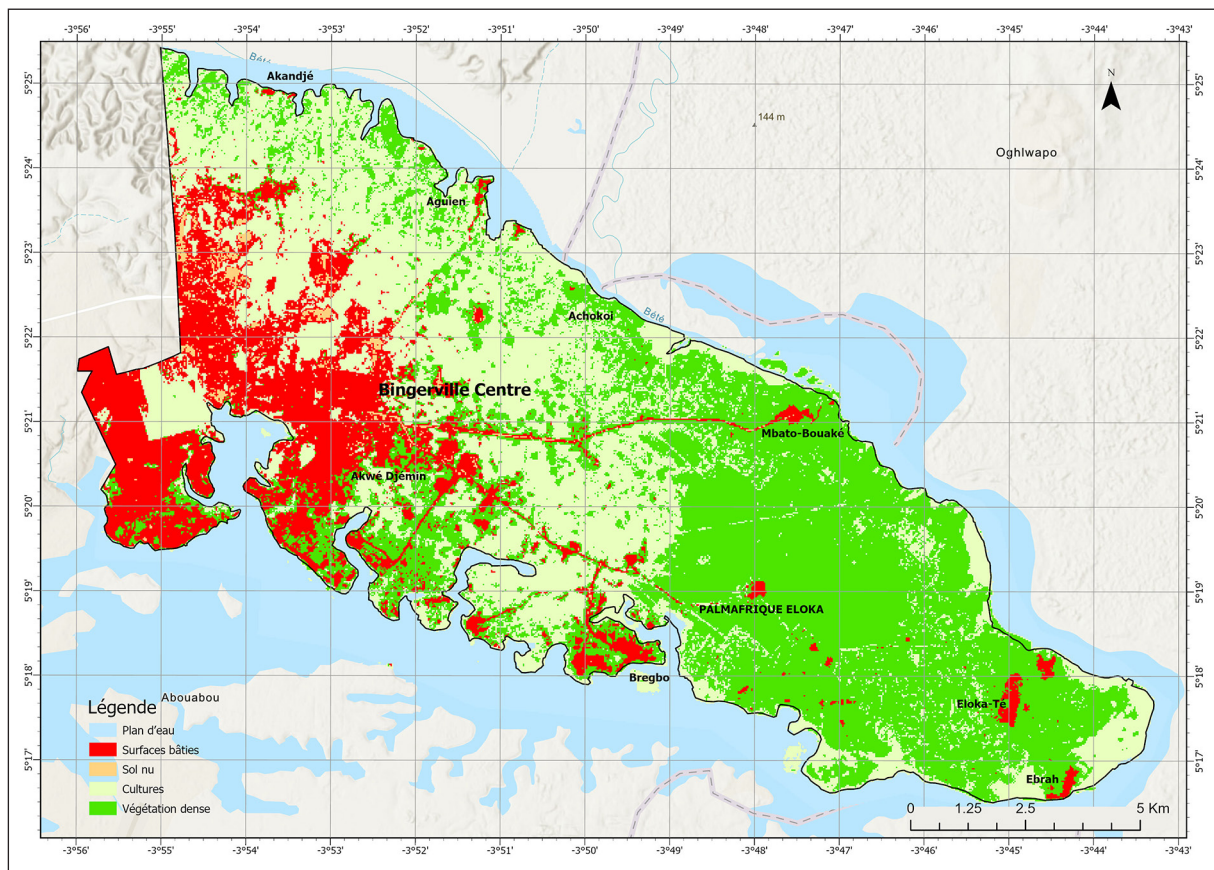
Malgré les défis liés à l'utilisation des images Landsat, celles-ci offrent une profondeur historique précieuse, permettant d'analyser l'évolution de l'urbanisation sur plusieurs décennies. Ce potentiel est illustré dans l'étude menée à Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, qui a utilisé les données des satellites Landsat 5, 7 et 8 pour examiner les transformations urbaines entre 2003 et 2021. Les auteurs notent que « l'historique des séries Landsat permet de suivre



Graphique 2. Répartition spectrale des réflectances (codées sur 16 bits) dans le rouge et le proche infrarouge des échantillons pour 2016



Graphique 3. Répartition spectrale des réflectances (codées sur 16 bits) dans le rouge et l'infrarouge à bande courte pour 2016



Carte 3. Classes d'occupation du sol à Bingerville en 2016

les dynamiques à long terme des changements d'occupation des sols, offrant une base robuste pour comprendre les trajectoires d'urbanisation » (Ouedraogo et al., 2023).

Par ailleurs, la spatiocarte de Bingerville retraçant l'évolution des surfaces bâties dans la commune de Bingerville sur la période 1987-2022 (Carte 2), met bien en lumière les impacts combinés de l'urbanisation galopante et de la transformation des usages des sols. L'urbanisation croissante et la conversion des terres en zones résidentielles, associées à un manque de planification, provoquent des déséquilibres dans l'occupation des sols, entraînant une perte de terres agricoles. La partie est de Bingerville est également affectée par une infrastructure routière peu développée, rendant l'accès à Abidjan difficile, bien que des projets d'amélioration soient en cours. Ces initiatives pourraient accroître l'attractivité résidentielle et stimuler une urbanisation rapide, attirant promoteurs et nouveaux habitants (Photo 1).

Plusieurs études montrent que l'urbanisation rapide dans les zones périurbaines comme Bingerville a contribué à la disparition de vastes étendues de terres agricoles, réduisant ainsi la capacité locale de

production alimentaire (Aman Assoh et Koffi-Bikpo, 2021 ; Sène, 2018). Cet étalement non planifié entraîne également une augmentation des risques d'érosion des sols (Photo 2) et d'inondations, exacerbés par la destruction des zones humides et des mangroves, qui servaient autrefois de zones tampons naturelles contre les crues (Kangah et Della, 2015).

CONCLUSION

La mise en lumière de la dynamique urbaine à Bingerville grâce aux données Landsat multi-dates, montre une commune en pleine expansion sous l'effet de la pression métropolitaine d'Abidjan. En combinant des méthodes de classification supervisée et images de référence (photos aériennes, images Sentinel-2 et SPOT) à des périodes clés, il devient possible de suivre et de comprendre l'évolution spatiale de cette zone périurbaine dont la surface bâtie, d'après nos estimations, est passée de 5 à 16 % du territoire étudié entre 1987 et 2022 soit une augmentation de 7 km²/décennie.

Cependant, l'intégration progressive de la commune dans la métropole d'Abidjan, a eu des consé-



Photo 2. Destruction d'un canal de drainage majeur de la commune suite aux orages à Bingerville. Crédits : Habab Kassoum Traoré, 22 juin 2022

quences profondes sur le plan environnemental, socio-économique et spatial. L'une des principales conséquences de cette expansion est la dégradation accélérée des terres agricoles et des zones forestières, qui autrefois entouraient la ville.

Enfin, l'étalement urbain a eu un impact majeur sur la fragmentation des écosystèmes naturels autour de Bingerville, perturbant les activités agro-pastorales (Etienne *et al.*, 2010). La création de nouvelles infrastructures routières et résidentielles a entraîné une réduction significative des espaces verts, ce qui affecte directement la régulation du climat local et accentue l'effet d'îlot de chaleur urbain (Ymba, 2022), phénomène déjà observé dans d'autres villes en croissance rapide.

Les perspectives d'études futures devraient s'orienter vers les impacts environnementaux liés à cette urbanisation rapide, notamment les risques accrus d'inondations. Avec l'extension des surfaces bâties et la diminution des zones naturelles et agricoles, la capacité des sols à absorber les eaux de pluie

se réduit, augmentant ainsi la vulnérabilité aux inondations. Une analyse approfondie des interactions entre l'étalement urbain et ces phénomènes hydrologiques serait essentielle pour anticiper ces risques. Par ailleurs, il est impératif d'assurer une urbanisation harmonieuse des différents projets immobiliers en cours afin d'éviter le phénomène de « mitage urbain ».

REMERCIEMENTS

Les remerciements sont adressés à l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) en France ainsi qu'au Centre d'Information Géographique et du Numérique (BNED-CIGN) en Côte d'Ivoire pour la mise à disposition des photos aériennes. Une reconnaissance est également due aux acteurs de l'USGS (NASA) pour les images Landsat, ainsi qu'aux responsables du Dispositif Institutionnel National d'Accès Mutualisé en Imagerie Satellitaire (DINAMIS) pour la mise à disposition des images à haute résolution.

BIBLIOGRAPHIE

- Addae, B., & Oppelt, N. (2019). Land-Use/Land-Cover Change Analysis and Urban Growth Modelling in the Greater Accra Metropolitan Area (GAMA), Ghana. *Urban Science*, 3(1), 26. <https://doi.org/10.3390/urbansci3010026>
- AFRICAPOLIS. (2023). *Les centres urbains en plein essor alors que l'urbanisation rapide redéfinit la géographie urbaine de l'Afrique*.
- Aman Assoh, H., & Koffi-Bikpo, C. Y. (2021). *Impact de l'urbanisation du district d'Abidjan sur le marai-chage périurbaine (Côte d'Ivoire)*.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J., & Richard E., W. (1976). *Professional Paper* [Professional Paper].
- Basudeb Bhatta. (2010). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*.
- BNETD/CIGN. (2020). Carte Occupation du Sol Ivoirien 2020 30m. Consulté 19 octobre 2024, à l'adresse <https://cotedivoire.africageoportal.com/maps/9e-47768bb8f442ada85fa3e986d2a302>
- Borderon, M., Oliveau, S., Machault, V., Vignolles, C., Lacaux, J.-P., & N'Donky, A. (2014). Qualifier les espaces urbains à Dakar, Sénégal. Résultats préliminaires de l'approche croisée entre télédétection et données censitaires spatialisées. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26250>
- CEREMA. (2014). *Indicateurs de consommation d'espaces*. Consulté à l'adresse <https://datafoncier.cerema.fr/usages/consommation-des-espaces-et-occupation-des-sols/indicateurs-nationaux-densite-et-etale-ment-urbain>
- Champaud, J., & Cherel, J.-P. (1994). *Télédétection et environnement dans les villes africaines*.
- Crawford, C. J., Roy, D. P., Arab, S., Barnes, C., Vermote, E., Hulley, G., ... Zahn, S. (2023). The 50-year Landsat collection 2 archive. *Science of Remote Sensing*, 8, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100103>
- Demaze, M. T. (2010). *Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain*. 26.
- Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. (2020). *Landsat 1-5 Multispectral Scanner Level-1, Collection 2* [Data set]. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P9AF14YV>
- E-Geopolis. (2011, janvier 1). Rapport | Etude de l'urbanisation en Afrique de l'Ouest. Consulté 14 octobre 2024, à l'adresse Institut E-Geopolis website: <http://e-geopolis.org/africapolis-etude-de-lurbanisation-en-afrique-de-louest/>
- ESRI. (2024). Préparer le classificateur d'arbres aléatoires (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation. Consulté 9 septembre 2024, à l'adresse <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/train-random-trees-classifier.htm>
- Etienne, K. Y., Brama, K., Bassirou, B., Mathieu, K. S., Alexis, N. Y., Issiaka, S., & Guéladio, C. (2010). L'étalement urbain au péril des activités agro-pastorales à Abidjan. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Volume 10 numéro 2). <https://doi.org/10.4000/vertigo.10066>
- Fèvre, C. D. (2013, décembre 13). Urbanisation et espaces périurbains en Afrique subsaharienne. [Billet]. <https://doi.org/10.58079/mdez>
- Gabon: rapport sur la cartographie d'occupation des sols 2020. (2022, novembre). Actualités. Consulté 22 octobre 2024, à l'adresse <https://theia-land.art-geodev.fr/actualites/gabon-rapport-sur-la-cartographie-doc-occupation-des-sols-2020/>
- Guinée: cartographie de l'Occupation des Sols – Atlas du Zonage Agro-Ecologique. (2023, mai). Cartographie de l'Occupation des Sols – Atlas du Zonage Agro-Ecologique de la République de Guinée. Consulté 19 octobre 2024, à l'adresse https://zaeg.teledetection.fr/?page_id=2219
- INS-CI. (2021). *Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH)*. Consulté à l'adresse https://www.ins.ci/rgph2021/rgph2021-resultats%20globaux_vf.pdf
- Kangah, A., & Della, A. A. (2015). *Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG) : Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'Ivoire)*. 12.
- Kemajou Mbianda, A. F., & Chenal, J. (2019). *La construction des périphéries urbaines en Afrique Subsaharienne*. Présenté à Les Ateliers de la Pensée de Dakar. Consulté à l'adresse <https://infoscience.epfl.ch/handle/20.500.14299/154167>
- Koffi, L. F. E. (2013). *Etude géographique des mobilités pendulaires des travailleurs résidant à la périphérie d'Abidjan : Cas de Grand-Bassam, Dabou et Bingerville*.
- Koutoua Amon, J.-P. (2020). *Planification urbaine et développement du Grand Abidjan : Cas des villes d'Anyama, de Bingerville et de Grand-Bassam*.
- Kuc, G., & Chormański, J. (2019). Sentinel-2 imagery for mapping and monitoring imperviousness in urban areas. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-1/W2*, 43-47. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W2-43-2019>
- Loba, A. D. F. V. (2010). Les déterminants de la dynamique spatiale de la ville de Bingerville (sud de la Côte d'Ivoire) de 1960 à nos jours. *EchoGéo*, (13). <https://doi.org/10.4000/echogeo.12078>
- Messina Ndzomo, J.-P., Raoul Sambieni, K., Mbevo Fendoung, P., Mate Mweru, J.-P., Bogaert, J., & Halleux, J.-M. (2019). La croissance de l'urbanisation morphologique à Kinshasa entre 1979 et 2015 : Analyse densimétrique et de la fragmentation du bâti. *BSGLg*. <https://doi.org/10.25518/0770-7576.5937>
- Ministère de la construction, du logement, de l'assainissement et de l'urbanisme. (2023). *Promoteurs*

- agréées dans le cadre du programme des logements sociaux et leurs différents sites.* Consulté à l'adresse https://ambaciusa.org/images/repository/docs/doc_3419_402514094053.pdf
- Monserud, R. A., & Leemans, R. (1992). Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, 62(4), 275-293. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90003-W](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90003-W)
- Nintarakit, N. (1989). *Classification automatique d'images satellitaires par la méthode de maximum de vraisemblance (ORSTOM 88-89)*.
- Nyalewo, M. K., Nassi, K. M., & Napo, G. (2023). *Villes nouvelles ou le choix d'exporter les problèmes urbains ! Quelle prise en compte de la durabilité dans les villes ouest-africaines ?*
- Observatoire Economique et Statistique d'Afrique Subsaharienne. (2007). *La Stratégie nationale de développement statistique : Levier pour la rénovation des recensements en Afrique subsaharienne*.
- OCDE. (2022). *Panorama de l'émigration ivoirienne*. Paris: OCDE. <https://doi.org/10.1787/8cd6448c-fr>
- OCDE et Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest. (2020). *Dynamiques de l'urbanisation africaine 2020 : Africapolis, une nouvelle géographie urbaine*. OECD. <https://doi.org/10.1787/481c7f49-fr>
- Ouedraogo, V., Hackman, K. O., Thiel, M., & Dukiya, J. (2023). Intensity Analysis for Urban Land Use/Land Cover Dynamics Characterization of Ouagadougou and Bobo-Dioulasso in Burkina Faso. *Land*, 12(5), 1063. <https://doi.org/10.3390/land12051063>
- Oura, R. K. (2012). Extension urbaine et protection naturelle : La difficile expérience d'Abidjan. *Vertigo*, (Volume 12 Numéro 2). <https://doi.org/10.4000/vertigo.12966>
- PFO Africa. (2024). Traversée de Bingerville Ebrah. Consulté 11 septembre 2024, à l'adresse PFO Africa website: <https://pfoafrica.com/projets/traversee-de-bingerville-ebrah/>
- Projet de mobilité urbaine d'Abidjan. (2024). Le BRT Yopougon-Bingerville. Consulté 14 octobre 2024, à l'adresse PMUA website: <https://www.pmua.ci/brt/>
- Schéma directeur d'urbanisme du Grand Abidjan. (2015). *Schéma directeur d'urbanisme du Grand Abidjan*.
- Sène, A. M. (2018). *L'étalement urbain au détriment des espaces agricoles périurbains à Bignona (Sénégal)*.
- Tidiane Ndiaye, C., Masquelier, B., Pison, G., Binta Diémé, N., Ndiaye, S., Delaunay, V., ... Niokhor Diouf, P. (2018). Chapitre 20. Évaluation externe des données de recensement au Sénégal par l'utilisation des données d'observatoires de population. In A. Desclaux et C. Sokhna (Éds.), *Niakhar, mémoires et perspectives : Recherches pluridisciplinaires sur le changement en Afrique* (p. 401-423). Marseille: IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irde-ditions.31737>
- Trefon et Kabuyaya. (2016). Les espaces périurbains en Afrique centrale. In *Territoires périurbains. Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*. Presses agronomiques de Gembloux. Consulté à l'adresse <https://orfeo.belnet.be/handle/internal/2601>
- Yasin, M. Y. (2022). Landsat observation of urban growth and land use change using NDVI and NDBI analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1067(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012037>
- Ymba, M. (2022). *Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*.

Coordonnées des auteurs :

Habal Kassoum TRAORE
 Doctorant, Attaché temporaire de recherche et
 d'enseignement
 Université de Lorraine
 LOTERR, F-57000 Metz, France
habal-kassoum.traore@univ-lorraine.fr

Sébastien LEBAUT
 Maître de conférences
 Université de Lorraine
 LOTERR, F-57000 Metz, France
sebastien.lebaut@univ-lorraine.fr

Gilles DROGUE
 Professeur des Universités
 Université de Lorraine
 LOTERR, F-57000 Metz, France
gilles.drogue@univ-lorraine.fr

Eugène Kouadio KONAN
 Université Felix Houphouët Boigny
 Géographie physique, Environnement, Géomatique
enzokkeugene@yahoo.fr