

Analyse de la dynamique spatiale de la sous-préfecture de Bondoukou en Côte d'Ivoire à l'aide d'images Landsat : Un Outil d'Aide à la Décision

Analysis of the spatial dynamics of the Bondoukou sub prefecture in Ivory Coast using Landsat images: A decision support tool.

Auteur 1 : Ibrahima DAOU.

Auteur 2 : Abdramane DEMBELE.

Auteur 3 : Seydou DIARRASSOUBA.

Auteur 4 : Adama TOURE.

Auteur 5 : Oumou DIANCOUMBA.

Ibrahima DAOU, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR/IFRA), BP : 224, Koulikoro, Mali

Abdramane DEMBELE, Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT), BP : 242 Bamako, Mali

Seydou DIARRASSOUBA, Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT), BP : 242 Bamako, Mali

Adama TOURE, Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT), BP : 242 Bamako, Mali

Oumou DIANCOUMBA, Ecole Normale Supérieure de Bamako (ENSUP), Département d'Etudes et de Recherches Sciences de la Vie et de la Terra (DER SVT), Bamako, Mali

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : DAOU .I, DEMBELE .A, DIARRASSOUBA .S, TOURE .A & DIANCOUMBA .O (2024) « Analyse de la dynamique spatiale de la sous-préfecture de Bondoukou en Côte d'Ivoire à l'aide d'images Landsat : Un Outil d'Aide à la Décision », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 26 » pp: 0660– 0674.

Date de soumission : Septembre 2024

Date de publication : Octobre 2024



DOI : 10.5281/zenodo.13981539
Copyright © 2024 – ASJ



Résumé

Cette étude se concentre sur la dynamique spatiale de la ville de Bondoukou, située dans la région de Gantougo au Nord-est de la Côte d'Ivoire. La ville de Bondoukou, centre urbain d'importance historique, et économique, est caractérisée par une forte croissance démographique et joue un rôle crucial en tant que carrefour commercial. L'objectif principal de la présente étude est d'analyser les transformations urbaines et environnementales en cours, et de fournir des outils d'aide à la décision pour une gestion durable. Des données Landsat ont été utilisées pour appréhender cette question. La démarche méthodologique retenue dans cette étude est centrée sur l'analyse diachronique des images Landsat à l'aide du logiciel ENVI 5.3. L'algorithme du maximum de vraisemblance, une approche de la classification supervisée a été appliqué sur les images Landsat. Les principales tendances de la dynamique spatiale montrent une forte expansion urbaine avec 81% de zones bâties et une réduction des sols nus et du couple savane/cultures.

Mots-clés : Dynamique urbaine, images Landsat, classification supervisée, Bondoukou

Abstract

This study focuses on the spatial dynamics of the city of Bondoukou, located in the Gontougo region in the northeast of Côte d'Ivoire. The city of Bondoukou, an urban center of historical and economic importance, is characterized by rapid population growth and plays a crucial role as a commercial hub. The main objective of this study is to analyze the ongoing urban and environmental transformations and to provide decision-making tools for sustainable management. Landsat data were used to address this issue. The methodological approach adopted in this study centers on the diachronic analysis of Landsat images using the ENVI 5.3 software. The maximum likelihood algorithm, a supervised classification approach was applied to Landsat images. The main trends in spatial dynamics show significant urban expansion, with 81% of the area being built-up, along with a reduction in bare soil and the savanna/cultivation complex.

Keywords: urban dynamics, Landsat images, supervised classification, Bondoukou.

Introduction

La ville de Bondoukou, située dans la région de Gontougo au nord-est de la Côte d'Ivoire, est un centre urbain d'importance historique et économique. Reconnue pour son rôle de carrefour commercial influent et pour sa forte croissance démographique, Bondoukou offre un cadre pertinent pour l'étude de la dynamique spatiale urbaine. L'analyse de l'occupation des sols dans cette ville permet de comprendre les transformations urbaines et environnementales en cours, et de fournir des outils d'aide à la décision pour une gestion durable.

L'importance de la dynamique spatiale dans les villes en développement rapide, comme Bondoukou, ne peut être sous-estimée. Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU), plus de la moitié de la population mondiale réside désormais dans des zones urbaines, et cette proportion devrait atteindre 68 % d'ici 2050 (ONU, 2018). Cette urbanisation rapide pose des défis majeurs en matière de planification urbaine, de gestion des ressources naturelles et de durabilité environnementale. À Bondoukou, la croissance démographique et l'expansion urbaine rapide ont entraîné des changements significatifs dans l'utilisation des terres, affectant les écosystèmes locaux et les modes de vie des habitants.

En 2014, la population de Bondoukou était estimée à environ 117 453 habitants (RGPH, 2014). La ville se caractérise par une diversité ethnique et culturelle, ainsi qu'une économie majoritairement basée sur le commerce et l'agriculture. Les principaux moteurs de l'expansion urbaine incluent l'accroissement démographique, les migrations internes et les politiques de développement infrastructurel. Cette croissance rapide a entraîné une augmentation des zones résidentielles et commerciales, souvent au détriment des espaces verts et agricoles.

L'analyse de l'occupation des sols à Bondoukou, en tant qu'outil d'aide à la décision, vise à fournir une compréhension détaillée des principaux facteurs de changement spatial. Cette étude cherche à offrir des perspectives pour une gestion urbaine durable, en mettant en lumière les dynamiques actuelles et en proposant des solutions pour harmoniser le développement urbain avec la préservation des ressources naturelles et des écosystèmes locaux.

Ainsi, trois (3) objectifs sont assignés à cette étude. Il s'agit de :

- ✓ Analyser l'expansion urbaine de la ville de Bondoukou à travers une démarche diachronique
- ✓ Identifier les facteurs de changement responsables de ces dynamiques
- ✓ Proposer des recommandations pour la planification urbaine et la gestion durable des ressources naturelles.

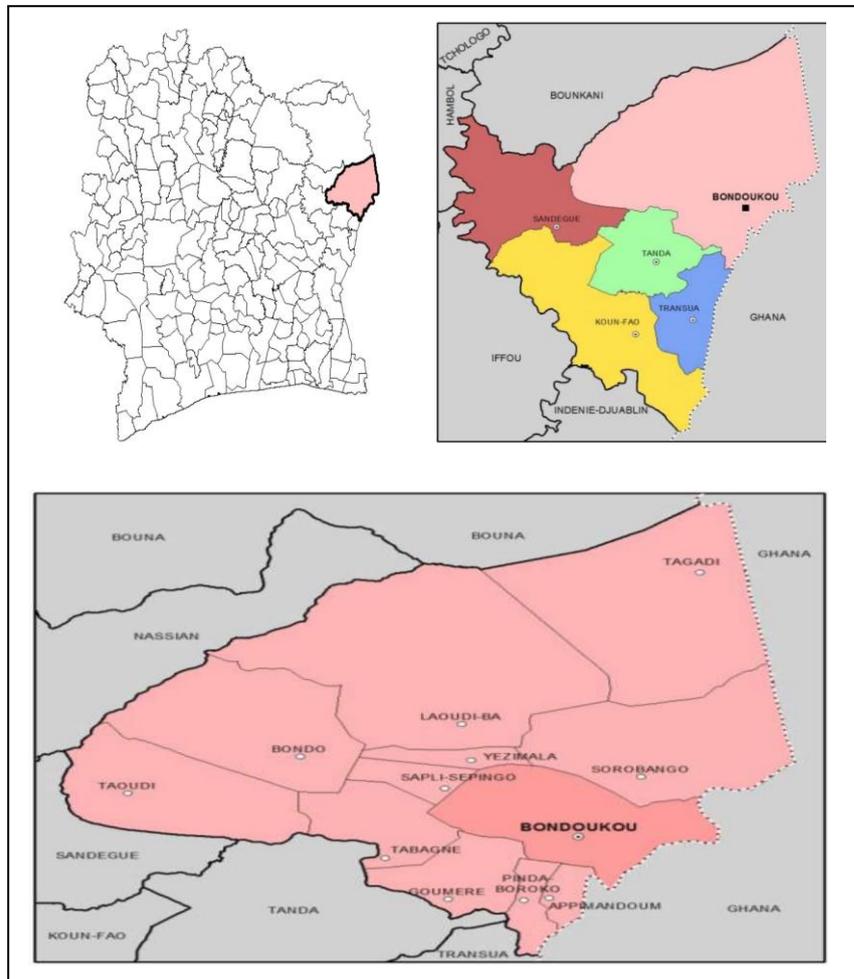
Pour atteindre ces objectifs, cette étude s'appuie sur une approche méthodologique combinant l'analyse d'images satellites, la cartographie et l'interprétation des données spatiales. Les images Landsat des années 2014 et 2023 ont été utilisées pour détecter les changements dans l'utilisation des terres. Une classification supervisée a permis d'identifier les différentes catégories d'occupation du sol, et une analyse de détection de changements a révélé les dynamiques spatiales de la ville.

Matériel et Méthodes

Présentation de la zone d'étude

La ville de Bondoukou est située dans la région de Gontougo, au nord-est de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes $7^{\circ}59'59.28''$ et $8^{\circ}4'47.28''$ Nord et les latitudes $2^{\circ}50'18.35''$ et $2^{\circ}45'30.35''$ Ouest (figure1). Bondoukou est caractérisée par une topographie variée avec un relief est généralement plat et une chaîne de montagnes appelée le mont Zanzan. La ville de Bondoukou a une géologie diversifiée et un climat tropical avec une saison des pluies marquée. Les sols les plus dominants sont des sols ferralitiques plus ou moins saturés, et composés d'argilo-sableux profonds. La végétation est composée de forêts claires mélangées à de la savane arborée et arbustive.

Le réseau hydrographique est constitué par quelques cours d'eau qui tarissent tout au long de la saison sèche. La population de Bondoukou a connu une croissance rapide, contribuant à une urbanisation accélérée. **Figure1** : Carte de localisation du site de l'étude



Source : Mémoire de fin d'étude M. Seydou DIARRASSOUBA

Matériel

Données Utilisées

Données

- ✓ Images Satellites

Les données primaires de cette étude proviennent d'images satellites à haute résolution. Deux séries d'images Landsat 8 ont été utilisées :

Landsat 8 : Fournit des images panchromatiques de 15m de résolution ainsi que multispectrales de 30 mètres de résolution, obtenues en 2014 mais aussi des images plus récentes de 2023.

Ces images permettent de suivre les changements dans l'occupation du sol et d'identifier les dynamiques d'expansion urbaine.

✓ Données Démographiques

Des données démographiques fournies par l'Institut National de la Statistique (INS) de la Côte d'Ivoire ont été intégrées, pour analyser la croissance de la population à Bondoukou. Ces données incluent :

- Les recensements de la population de 2014, 2021 et les estimations de 2023.
- Les taux de croissance démographique et les projections futures.

✓ Cartes Topographiques et Plans Urbains

Les cartes topographiques et les plans urbains de Bondoukou ont été utilisés pour circonscrire et compléter l'analyse des images satellites. Ces cartes fournissent des informations détaillées sur les schémas des structures et les zones de développement planifiées.

✓ Outils utilisés

Afin d'atteindre les objectifs de la présente étude, les logiciels utilisés sont : ENVI 5.3, Arc Gis 10.8, et Excel. Le logiciel ENVI 5.3 a permis de prétraiter et de traiter les images satellitaires, Arc gis, a servi à produire les cartes, et le logiciel Excel pour les analyses de tendances .

Méthodes

La démarche de travail de notre étude inclut l'analyse d'images satellites à haute résolution (Landsat) et les validations sur le terrain.

Après l'acquisition des données satellitaires (images Landsat), les phases de prétraitement commencent. Ces prétraitements combinent principalement les corrections radiométriques et les corrections atmosphériques à travers le logiciel ENVI en se basant sur le fichier de métadonnées d'acquisition. Les images téléchargées sont déjà rectifiées et données dans le système WGS84

En effet, dans les corrections radiométriques les images sont traitées en unités de luminance énergétique absolue à l'aide de calculs en virgule flottante sur 32 bits. Ces valeurs sont converties en valeurs entières de 16 bits dans le produit fini de niveau 1. Ils peuvent ensuite être convertis en radiance spectrale à l'aide de l'échelle des facteurs de radiance fournis dans le fichier de métadonnées.

S'agissant de la correction atmosphérique, elle tend à calculer la vraie réflectance au sol en estimant l'effet atténuant de l'atmosphère. Cette correction est difficile à modéliser vue la non homogénéité de l'atmosphère. Mais, en se basant sur un modèle standardisé « FLAASH »

préétabli au niveau du logiciel ENVI et en s'inspirant des métadonnées téléchargées avec les images, on arrive à corriger moyennement cet effet.

Pour extraire les informations thématiques contenues dans les images satellitaires corrigées, une classification a été appliquée. La méthode de classification supervisée, et l'algorithme de maximum de Vraisemblance ont été retenus.

Délimitation de la zone d'étude

Au lieu de traiter toute l'image téléchargée, il est important de délimiter notre zone d'intérêt (Région Bondoukou) afin de faciliter le traitement et de minimiser le temps d'exécution des étapes. Pour avoir la zone d'étude un masque a été créé et utilisé sous ENVI 5.3 pour l'extraire.

Définition des zones d'intérêts

Cette étape est indispensable pour effectuer la classification supervisée. De bonnes données d'apprentissage impliquent une bonne classification. C'est pourquoi, il faut être rigoureux dans le choix des zones et la définition des classes.

La définition des données d'entraînement pour chaque classe peut être faite soit par une enquête directe sur terrain ou dans notre cas par le procédé de la photo-interprétation.

Pour faciliter cette opération, une amélioration de la résolution spatiale des images s'avère nécessaire pour une interprétation plus optimale des détails. Cela est possible à l'aide de l'image panchromatique qui a nous permis de passer d'une résolution de 30 m à une résolution de 15 m. Cette opération est dite dans le jargon de traitement d'image : **le pan-sharpening**.

✓ Les zones d'intérêt ou région d'intérêt :

Pour chaque classe désirée, il faut lui attribuer des zones d'entraînement qui sont considérées comme des données de référence pour la classe en question.

Le choix des classes est le résultat d'un ensemble de facteurs et de considérations qu'on veut mettre en évidence. Puisque on est intéressé par la détection des changements d'une région à vocation urbaine, agricole et sylvicole, nous avons logiquement tenu en compte la définition des classes. Le travail doit passer intuitivement par les cartes d'occupation du sol qui serviront pour la détection du changement. Donc, l'étendue des images est passée en revue pour détecter les classes apparentes sur l'image et utiles pour le travail en question.

Au départ, nous avons séparé la classe urbaine en deux classes : Bâties et voirie. Mais, puisque la résolution spatiale de notre capteur est de 30m (15 m avec le pan-Sharpening), cela rend les deux classes inséparables et pourra induire notre classification en erreur.

Le nombre définitif de classes gardées est fonction aussi du test de séparabilité spectrale des classes.

✓ **Séparabilité spectrale des classes**

Pour voir si les classes sont efficaces, représentatives et séparables deux à deux, il existe des moyens d'évaluation et de contrôle de qualité à savoir la séparabilité spectrale et l'évaluation des diagrammes spectraux de chaque classe.

✓ **Evaluation des diagrammes spectraux**

Le calcul des signatures spectrales (ou diagrammes spectraux) des différentes classes définies permet de nous donner une idée globale sur la séparabilité de l'ensemble des classes

Classification supervisée

La classification supervisée appelée aussi classification dirigée est la clé de voute de traitement des images qui va refléter la qualité de notre travail et qui va nous donner des informations thématiques sur le présent travail.

Il est à noter qu'à partir de cette étape, on ne va plus parler de la valeur radiométrique des pixels, mais plutôt, de la notion de classes voire de thèmes.

Dans ce travail, l'algorithme de la classification supervisée utilisée est la méthode du maximum de vraisemblance. Au total 5 classes ou thèmes ont été retenus : Bâti, Eau, Forêt, cultures, et sols nus

Validation

Dans cette phase, la précision de la classification est évaluée en se basant sur des données externes (données d'entraînement qui n'ont pas participé à l'exécution de la classification). Ces données permettent d'évaluer la matrice de confusion et de calculer le coefficient Kappa, deux indicateurs d'une bonne classification.

Détection de changements

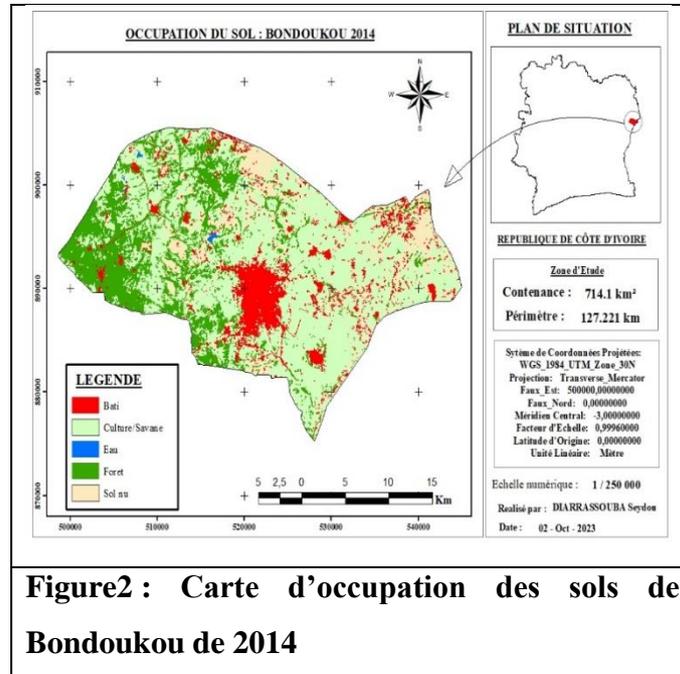
Cette étape consiste en la comparaison entre les scènes d'images deux à deux consécutivement (images multidates) qui sont dans ce travail, le résultat de la classification pour les différentes dates. La méthode de détection retenue est la technique de comparaison post classification. Cette méthode se base sur une simple opération de différence entre les deux résultats de classification.

Résultats et discussions

Résultats

Occupation des sols de la ville de Bondoukou en 2014

Figure 2 : Carte d'occupation des sols de Bondoukou de 2014



Source : Mémoire de fin d'étude M. Seydou DIARRASSOUBA

✓ *Tableau 1 : Répartition des types de Surface en 2014*

Type de surface	Surface recouverte (km ²)	Pourcentage
Forêt	131.21	18.37
Bâti	85.33	11.95
Culture et Savane	395.06	55.32
Sol nu	101.17	14.17
Eau	1.3	0.19
Total	714.15	100

Occupation des sols de la ville de Bondoukou en 2023

Figure 3 : Carte d'occupation des sols de Bondoukou de 2023

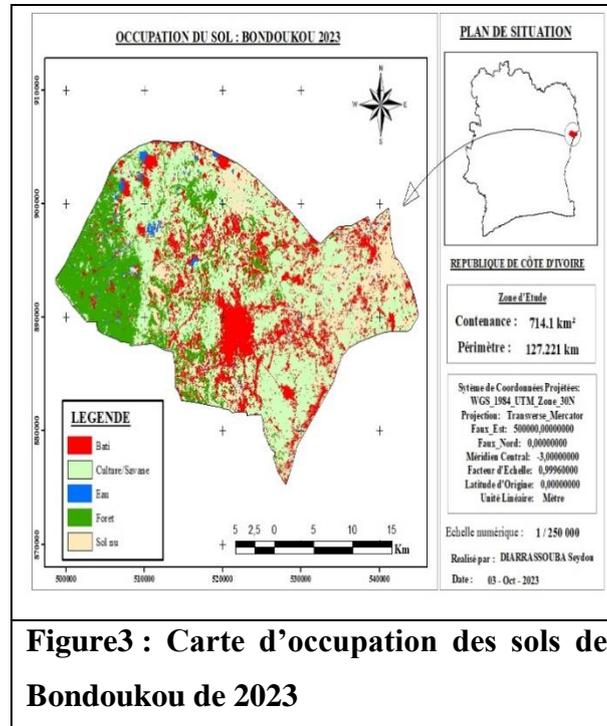


Figure3 : Carte d'occupation des sols de Bondoukou de 2023

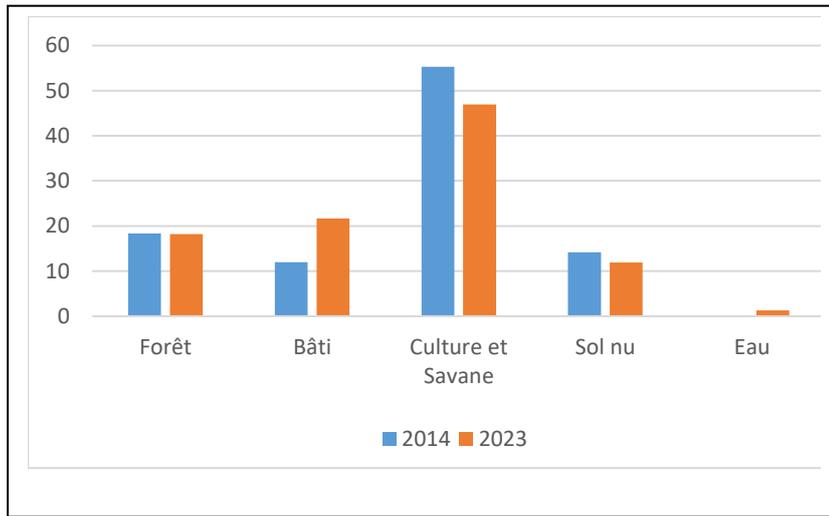
Source : Mémoire de fin d'étude M. Seydou DIARRASSOUBA

Tableau 2 : Répartition des types de Surface en 2023

Type de surface	Surface recouverte (km ²)	Pourcentage
Forêt	130.10	18.22
Bâti	154.67	21.66
Culture et Savane	335.18	46.93
Sol nu	84.91	11.89
Eau	9.30	1.30
Total	714.15	100

Evolution des types de surface

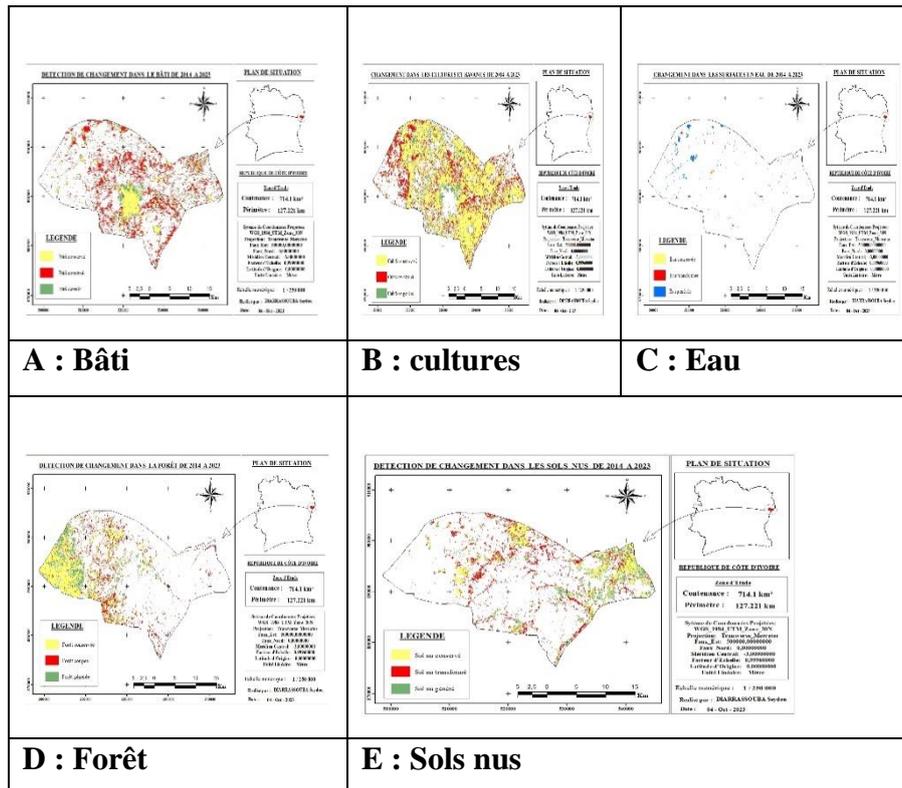
Figure 4 : Histogramme de l'évolution de l'occupation des sols entre 2014 et 2023



Source : Mémoire de fin d'étude M. Seydou DIARRASSOUBA

Dynamique d'occupation des sols entre 2014 et 2023

Figure 5 : Carte des changements d'occupations des sols de Bondoukou entre 2014 et 2023



Source : Mémoire de fin d'étude M. Seydou DIARRASSOUBA

Les résultats de l'analyse des deux cartes d'occupation des sols (2014 et 2023) montrent une expansion urbaine notable à Bondoukou entre les deux dates. La classification des images satellites a révélé une augmentation significative des zones bâties, une conservation des espaces forestiers, une réduction des sols nus ainsi que du couple savanes/cultures. Les principales tendances observées sur les deux cartes révèlent (figures 2 et 3) une expansion des zones bâties. En effet, entre les deux dates, Les zones urbaines ont augmenté de 81%. On note également une conservation des forêts, car, Les espaces forestiers couvrent 18% de la surface de la zone d'étude.

En revanche, une réduction des sols nus ainsi que du couple savanes/cultures est constatée dans la ville de Bondoukou au cours de la période de notre étude. C'est ainsi que les sols nus sont passés de 14% à 12% (figure 5) et le couple savane/cultures est quant à lui passé 55% à 47%. Ces changements observés pendant la période de notre travail pourront être imputés à deux facteurs, d'une part, les facteurs anthropiques, et d'autres parts, ceux naturels. Selon le recensement général de la population de 2023, la population de Bondoukou a connu une augmentation de près de 100%. Cette augmentation n'est pas sans conséquences sur les ressources naturelles. La ville a connu sur la même période une expansion des industries entraînant l'arrivée de nouvelles populations. L'arrivée de ces nouvelles populations contribue à la dégradation des ressources naturelles et favorise une modification des fonctions des différentes d'occupations des sols de la ville de Bondoukou.

En fin, l'analyse des cartes de changements des classes d'occupations retenues dans notre étude a révélé certaines réalités (figure 5). En effet, toutes les classes ont connu des changements. Ces changements n'ont pas les mêmes ampleurs. Les forêts ont subi une faible dégradation, car le taux de forêt régénérée (5,65%) est près qu'égal à celui du taux de forêt perdue ou dégénérée (5,75%), ce qui montre une stabilisation globale du couvert forestier. La régénération de la forêt est plus marquée à l'Ouest de la ville de Bondoukou aux abords de la forêt préexistante, contrairement à la déforestation qui est visible aux alentours des zones urbaines.

Les cultures et savanes, regroupaient à elles deux en 2014 plus de la moitié des classes d'occupations des sols de Bondoukou (55,32%), mais, en 2023, sont descendues à 46,93%, soit une diminution de 8 %. La classe des savanes a surtout été remplacée par les Bâties ou les reboisements de forêt. La classe d'occupation du Bâti, périmètre urbain, est celui qui a subi l'évolution la plus importante. En effet, elle représentait en 2014, 11.95% et est passée à 21.66% en 2023, signifiant un doublement en une décennie.

Discussions

Les résultats indiquent clairement que la croissance démographique rapide et les politiques d'urbanisation sont les principaux moteurs de l'expansion urbaine. Les implications pour la planification urbaine comprennent la nécessité de stratégies pour la gestion durable des ressources naturelles et l'aménagement du territoire. La détection des changements à l'aide d'images satellites s'est avérée être un outil efficace pour surveiller et gérer la transformation urbaine. Les tendances d'évolution de l'occupation des sols observées dans la ville de Bondougou sont présentes dans beaucoup de sites en zone soudano sahélienne. En effet, les études de Daou et al., 2019, Daou et al., 2022, à Nyamina , Traoré et al.,2022 sur trois sites miniers, Keita et al., 2023 dans la commune du Meguetan, au Mali, Kouakou et al., 2015 Assalé et al.,2016 ; Sidibé et al., 2020, Ouattara et al.,2021, et Aka et al., 2024, en Coté d'Ivoire. Les mêmes résultats sont corroborés par Farima et al., 2016 dans la forêt classée du Haut Sassandra dans le département de Daloa et Gellée et al., 2022. Au Maroc, les résultats de l'étude de Nour-eddine et. Yaagoubi, 2019 ont révélé les mêmes dynamiques. En fin, les travaux de KABANYEGEYE et al., 2021 au Burundi révèlent les mêmes dynamiques spatiales. En revanche, les résultats des travaux d'Ordway en 2015 dans la réserve forestière Gishwati et de Mukura, dans la région d'Afromontane sont différents des nôtres. En effet, leurs résultats ont montré une forte dégradation du couvert végétal.

Conclusion

L'étude sur la dynamique spatiale de la ville de Bondoukou a mis en lumière les tendances de la dynamique d'occupations des sols entre 2014 et 2023. Elle a en effet révélé une expansion urbaine rapide et des changements significatifs dans l'utilisation des terres. Les pressions démographiques et les politiques d'urbanisation ont été identifiées comme des facteurs clés de ces transformations. Les résultats de cette recherche fournissent des informations essentielles pour la planification urbaine et la gestion durable des ressources. Pour l'avenir, il est recommandé d'intégrer des techniques de télédétection avancées et des analyses socio-économiques pour une planification urbaine plus efficace.

Bibliographie

Aka. Yves Serges Pacôme ETTIEN, Blé Konan Aristide YAO, Dominique Ahebe KONAN. 2024. Occupation du sol et dynamique urbaine de Daoukro (Centre- est de la Côte d'Ivoire). Revue AKIRI ISSN-L : 2958-2814, ISSN-P : 3006-306x, p 300-313

Assalé A. A. Y., Barima Y. S. S., Kouakou K. A., Kouakou A. T. M., Bogaert J., 2016. Agents de dégradation d'une aire protégée après une décennie de conflits en Côte d'Ivoire : cas de la forêt classée du Haut-Sassandra. International Journal of Innovation and Scientific Research, 22 (1) : 123-133.

Daou, I., Coulibaly, A., Sidibé, A., Sangaré, H., Keïta, I., Bolozogola, Y., Touré, A. et Mariko, A., (2019) Suivi de la dynamique environnementale de 19985 à 2018 en zone Soudano-Sahélienne par télédétection : cas de la commune rurale de Nyamina. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 34 (2019) 13 – 24. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>.

Daou, I., Sidibé, A., Sangaré, H., Keïta, M.M., SANGARE, H., Keita, I. Coulibaly. A, et Feu Diallo. D. 2023. Analyse diachronique d'images satellitaires Landsat et dynamique socioéconomique dans un contexte de pression anthropique et de variabilité climatique en milieu soudano sahélien : Cas de la Commune rurale de Nyamina, région de Koulikoro, Mali. African Scientific Journal-ISSN : 2658-9311, vol (3), N(17), P 564-579.

Gellée., T. , B. P., Pomès, Goudot, J.-Y. Doukhan, and J.-P. Lacoste. 2022. "Notions fondamentales," *Guid. Prat. D'implantologie*, pp. 1–2, doi: 10.1016/b978-2-294-77727-1.00031-4.

KABANYEHEBE. Henri, SIKUZANI. Yannick Useni, SAMBIENI. Kouagou. Raoul, MASHARABU .Tatien, HAVYARIMANA. François, et BOGAERT .Jan. 2021. Trente-trois ans de dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi. Afrique SCIENCE, 18 (18), 203-215. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>

Kouakou A. T. M., Barima Y. S. S., Kouakou K. A., Kouamé N. F., Bogaert J., Kouadio J. Y., 2015. Forest dynamics in the North of the classified forest of Haut-Sassandra during the period of armed conflicts in Ivory Coast. American Journal of Life Sciences, 3 (5): 375-382. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20150305.17>.

Nour-eddine ., E. H. and R. Yaagoubi, 2019: "Evaluation des changements urbains , agricoles et Cas de la région Rabat-Salé-Kénitra," no. June, pp. 1–98.

Ouattara T A, Kouamé.K.F., Zo I. C., Vaudry R., Grignard C. 2021. Changements d'occupations et d'usages des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire :

Impacts des cultures de rente sur la forêt. Bois et forêts des Tropiques-ISSN : L0006-579X, Volume 347-1^{er} trimestre -2021-p.89-104.

Ordway E. M., 2015. Political shifts and changing forests: Effects of armed conflict on forest conservation in Rwanda. *Global Ecology and Conservation*, 3: 448-460. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.01.013>.

Sidibé. O., Kouassi K. H., Zadou D. A., Kouame D., Karidia T., 2018. Dynamics of human pressures on the Mont Péko National Park (West-Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 14 (11): 109-124. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n11p10..>