



Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et Landsat 8 OLI

MBAGNICK FAYE, DOME TINE, GALLO NIANG ET GUILGANE FAYE

Résumé :

Les milieux urbains abritent des couvertures végétales sous plusieurs formes qui remplissent des fonctions écologiques de régulateur thermique, de biodiversité, de qualité de l'air, etc. L'objectif de cette étude est d'analyser, à travers la cartographie, l'évolution des espaces verts et des zones humides en milieu urbain. Les images satellitaires Landsat TM de 1986, ETM+ de 2000, OLI de 2020 et MSI de Sentinel 2 sont utilisées pour l'analyse diachronique de l'occupation du sol et l'identification des espaces verts et des zones humides. La classification supervisée et l'algorithme maximum de vraisemblance ont été utilisés. Les résultats issus de la classification montrent que la végétation urbaine est difficilement analysable sur les images à haute résolution spatiale (HRS). En effet, entre 1986 et 2020, la végétation a diminué dans la région de Dakar et est passée de 10,7 % à 6,6 % en faveur du bâti. Les zones humides (eau) ont connu une légère hausse, environ 0,2 %. Elles sont passées de 0,8 % en 1986 à 1 % en 2020. Les images Sentinel-2 de 10 mètres

de résolution spatiale donnent un meilleur résultat sur la cartographie des espaces verts et des zones humides en milieu urbain qu'à celles de Landsat-8 qui sont de 30 mètres de résolution.

Mots-clés : cartographie, couvert végétal, Landsat, Sénégal, Sentinel, zones humides

Abstract :

Urban environments are home to various types of plant cover that fulfil ecological functions such as thermal regulation, biodiversity and air quality. The aim of this study is to use cartography to analyse changes in green spaces and wetlands in urban areas. Landsat TM satellite images from 1986, ETM+ from 2000, OLI from 2020 and MSI from Sentinel 2 are used for the diachronic analysis of land cover and the identification of green spaces and wetlands. Supervised classification and the maximum likelihood algorithm were used. The results of the classification show that urban vegetation is difficult to analyse on High Spatial Resolution (HRS) images. Between 1986 and 2020, vegetation in the Dakar region declined from 10.7% to 6.6% in favour of built-up areas. Wetlands (water) increased slightly, by around 0.2%. They increased from 0.8% in 1986 to 1% in 2020. Sentinel-2 images with a spatial resolution of 10 metres give better results for mapping green spaces and wetlands in urban areas than Landsat-8 images with a resolution of 30 metres.

Keywords : Dakar, Landsat, mapping, Senegal, Sentinel, vegetation cover, wetlands

Résumé (wolof) :

Ëmbeef yi ci dëkki taax yi dekuwaayu garab yu bari lañuy muur ci anam yu bari, lu ci melni yamale tangoor, biodiversite, kalite ngelaw, ak ñoom seen. Li gëstu bi di yóotu mooy jàngat jëm kanam gi ci barab yu wert yi ak tool yi ci dëkki taax yi jaaraleko ci kàrt. Nataali satelit Landsat TM ci 1986, ETM+ ci 2000, OLI ci 2020 ak MSI ci Sentinel 2 lañu jëfandikoo ngir jàngat diachronic jëfandikoo suuf si ak ràññee barab yu wert yi ak tool yi. Jëfandikoo nañu xaaj buñ saytu ak algorithm bu gëna am wërsëg. Resultaa

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

yi bawoo ci xaaj bi dañu wane ni ñaxi dëkk yu mag yi dañu jafe jàngat ci nataal yu am dayo spatial bu kawé (HRS). Dëgg la, diggante 1986 ak 2020, ñax mi wàññeeku na ci diwaanu Dakar, joge ci 10,7% dem ba 6,6% ci tabax yi. Wetlands (ndox) dafa yokk tuuti, luy tollu ci 0.2%. Ñu yokk joge ci 0.8% ci 1986 dem ba 1% ci 2020. Nataali Sentinel-2 yu am 10 meetar ci dayo spatial ñoo gëna joxe njariñ ci kàrtu barab yu wert yi ak tool yi ci dëkki taax yi, moo gën ñooñu ci Landsat -8 yu am dayo 30 meetar.

Mots-clés (wolof): Dakar, kartografi, Landsat, muur ñax, Sénégal, Sentinel, tool

Historique de l'article

Date de réception : 26 mars 2024

Date d'acceptation : 20 septembre 2024

Date de publication : 31 décembre 2024

Type de texte : Article

Introduction

L'étude des caractéristiques des milieux urbains a connu une ascension spectaculaire grâce à de nombreuses possibilités qu'offre la télédétection spatiale. Les connaissances sur l'étendue et les composantes de l'occupation du sol sont importantes pour le suivi et la planification du développement urbain, l'évaluation des risques, la gestion des catastrophes et la gestion des ressources naturelles.

La télédétection urbaine a fait son apparition au début des années 1970, avec des images fournies par le capteur Multi-Spectral Scanner (MSS), monté à bord de Landsat 1, 2 et 3 (opérationnels jusqu'en 1983), même si la résolution spatiale (80 m) limite l'analyse (Ballut et Nguyen,

1984; Forster, 1985; Welch, 1982) et ne permet pas d'étudier la ville dans son ensemble. À partir des années 1980, une deuxième génération de satellites est mise sur orbite avec des capteurs à haute résolution spatiale (30 m) comme Landsat TM, ETM+ et le plus récent capteur Landsat 8 OLI lancé en 2013. L'avancée rapide de la télédétection est accompagnée d'une diversification des capteurs et d'une finesse de la résolution spatiale. Plusieurs satellites à très haute résolution spatiale (THRS) comme SPOT, Quickbird, IKONOS, Pléiades, etc. ont été conçus ces dernières années et ont rendu les données d'observation de la Terre disponibles à des résolutions de plus en plus fines (inférieures à 5 m). Ces satellites fournissent plus de détails sur les zones urbaines.

Les espaces urbains sont caractérisés par une grande hétérogénéité des éléments constitutifs. La résolution spatiale utilisée pour discriminer la structure urbaine doit être adaptée à chaque type de ville (Welch, 1982; Forster, 1985). Les milieux urbains abritent des couvertures végétales sous toutes ses formes remplissant des fonctions écologiques de régulateur thermique, de biodiversité, de qualité de l'air, etc. La végétation en milieu urbain est constituée d'arbres isolés, de plantations diverses et de végétation aquatique.

À Dakar, avec une urbanisation accélérée, le couvert végétal occupe rarement de vastes étendues, excepté les zones protégées (forêt classée) et les bordures des zones humides. Ces dernières fournissent des services écosystémiques, dont l'atténuation du changement climatique. Malheureusement, ses fonctionnalités sont mal connues. Ces écosystèmes constituent d'importantes niches de biodiversité, ce qui fait d'elles les écosystèmes les plus divers et les plus productifs de la Terre en plus de jouer le rôle de régulateur thermique. La protection de ces ressources naturelles est aujourd'hui fondamentale dans un contexte de changement climatique. Une végétation arborée peut baisser de 2 °C la température dans une rue, ce qui peut lutter contre les îlots de chaleur urbaine (Nabucet, 2020).

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

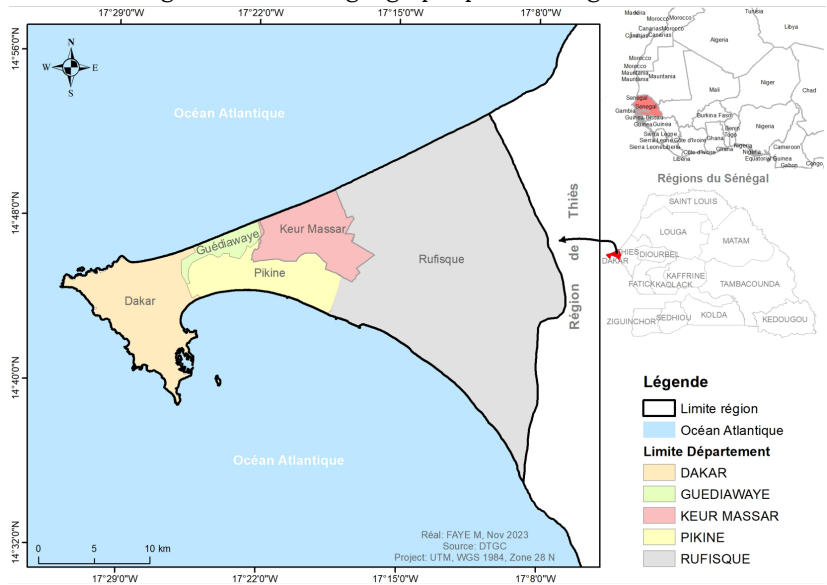
L'intégration de la télédétection en combinaison avec les systèmes d'information géographique (SIG) a considérablement fait progresser l'évaluation des changements d'utilisation des terres et de la dégradation des paysages à diverses échelles (Lambin et al., 2003; Turner et al., 1994). L'objectif de cette recherche est de cartographier et d'analyser l'évolution de la végétation et des zones humides, en intégrant les informations de télédétection et les données issues des campagnes de terrain.

Présentation de la région

La région de Dakar est située entre 14° 33' et 14° 51' de latitude nord et 17° 28'30" et 17° 10'30" de longitude ouest (figure 1). Elle est située à l'extrémité occidentale de l'Afrique, sur l'étroite presqu'île du Cap-Vert. Elle couvre une superficie de 550 km² soit 0,3 % du territoire national (GRDR, 2014) composée de cinq départements (Dakar, Guédiawaye, Pikine, Keur Massar et Rufisque) et de 52 collectivités locales. Le climat est de type sahélien côtier. Les températures varient entre 17 °C et 30 °C en fonction des saisons. Du point de vue du relief, Dakar est une zone plate (à l'exception des Mamelles) marquée des dépressions inter-dunaires où la nappe phréatique est peu profonde.

Le couvert végétal de la région de Dakar est azonal du fait de la large gamme de paysages morpho-pédologiques et du climat maritime modéré. Deux grands ensembles se distinguent : une végétation anthropique résultante des activités humaines composée de jardin arboricole, de pelouse, d'arbres isolés, etc. et une végétation hygrophile entourant les zones humides.

Figure 1. Situation géographique de la région de Dakar



Matériels et méthodes

Acquisition des données

Les images Landsat et Sentinel-2 sont extraites de la plateforme Google Earth Engine (GEE) (tableau 1). Les images Landsat retenues pour cette étude ont été choisies sur la base de leur disponibilité, de leur accessibilité libre et gratuite, mais aussi de leur ancienneté qui couvre une période allant de 1972 à nos jours. Ces images ont été prises en saison sèche (février et mars) permettent de discriminer le couvert végétal du

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

couvert herbacé. La réflectance de ces deux types de végétation se confond lorsque les images sont acquises en saison pluvieuse ou juste à la fin de celle-ci.

La plateforme GEE permet aux utilisateurs et utilisatrices de visualiser et d'analyser les images satellites de la Terre. Elle regroupe plus de 40 ans d'images satellites anciennes et actuelles, ainsi que les outils et la puissance de calcul nécessaires pour analyser et exploiter cet immense entrepôt de données. C'est une plateforme en cloud pour l'analyse des données géospatiales en donnant à l'utilisateur et à l'utilisatrice la possibilité de travailler dans une infrastructure du Geospatial Big Data : données d'observation de la Terre et cloud computing.

Tableau 1. Caractéristiques spectrales et spatiales des images satellitaires utilisées

| Capteurs | Date d'acquisition | Bandes | Longueur d'onde | Résolution |
|----------|--------------------|------------------------------|-------------------------|------------|
| MSI | avril-Mai | 2-Blue | 0.490 μm | 10 m |
| | | 3-Green | 0.560 μm | |
| | | 4-Red | 0.665 μm | |
| | | 5- Végétation classification | 0.705 μm | 20 m |
| | | 6- Végétation classification | 0.740 μm | |
| | | 7- Végétation classification | 0.783 μm | |
| | | 8- Proche infrarouge | 0.842 μm | 10 m |
| Capteurs | Date d'acquisition | Bandes | Longueur d'onde | Résolution |
| TM | 25/02/1986 | 1-Bleu | 0,45-0,52 μm | 30 m |
| | | 2-Vert | 0,52-0,6 μm | |
| | | 3-Rouge | 0,63-0,69 μm | |
| | | 4- PIR | 0,76-0,9 μm | |
| | | 5-SWIR 1 | 1,55-1,75 μm | |
| Capteurs | Date d'acquisition | Bandes | Longueur d'onde | Résolution |
| | | | | |
| ETM+ | 27/03/2000 | 1-Bleu | 0,45-0,52 μm | 30 m |
| | | 2-Vert | 0,53-0,61 μm | |
| | | 3-Rouge | 0,63-0,69 μm | |
| | | 4- PIR | 0,78-0,9 μm | |
| | | 5-SWIR 1 | 1,55-1,75 μm | |
| Capteurs | Date d'acquisition | Bandes | Longueur d'onde | Résolution |
| | | | | |
| OLI | 10/03/2020 | 2- Bleu | 0,45-0,51 μm | 30 m |
| | | 3- Vert | 0,52-0,60 μm | |
| | | 4- Rouge | 0,63-0,68 μm | |
| | | 5- PIR | 0,84-0,88 μm | |
| | | 6- SWIR 1 | 1,56-1,66 μm | |
| | | 7- SWIR 2 | 2,10-2,30 μm | |

Méthode de détection et d'extraction de la végétation urbaine

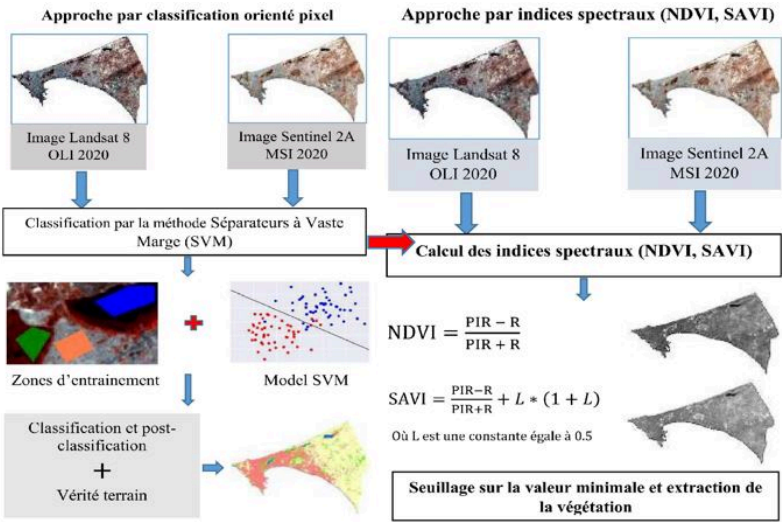
Le milieu urbain est un mélange de portions de routes, de bâtiments, de zones herbacées, boisées et de sols nus. Leur réflectance spectrale peut connaître des variations importantes en fonction de leur couleur, leur brillance, leur orientation ou leur inclinaison (Iovan *et al.* 2011). Plusieurs facteurs influencent les signatures spectrales des objets en milieu urbain. La nature des constructions, les surfaces lisses, la pollution atmosphérique, etc. peuvent modifier considérablement le signal réfléchi. Les techniques de télédétection à haute résolution permettent d'établir de façon très précise, avec une marge d'erreur insignifiante, la couverture végétale en milieu urbain (Besse et Rouet, 2009). La détection et l'extraction de l'information à partir d'images satellitaires sont effectuées, d'une part, par classification orientée pixel, et d'autre part, par des indices spectraux.

La première approche adoptée repose sur une méthode de classification supervisée. Le protocole repose sur les zones d'entraînement fournies par l'utilisateur et l'utilisatrice qui permettent à l'algorithme d'y effectuer un apprentissage sur la base des réponses spectrales des objets et de classifier l'image.

La deuxième approche consiste à faire appel aux indices spectraux de végétation efficaces dans la mise en évidence du couvert végétal. Ainsi, l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de végétation ajusté pour le sol (SAVI) ont été appliqués sur les deux images, suivi d'un seuillage sur leurs valeurs minimales. Le seuillage est une opération directe appliquée sur les images satellitaires pour la prise de décision. Cette méthode présente une problématique liée à l'estimation du seuil optimal qui peut être variable selon les images utilisées. Pour fixer la valeur seuil des indices de végétation, un échantillon de vérité du terrain obtenu par positionnement par satellite

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et a été utilisé. Une superposition des coordonnées de l'échantillon avec l'image multispectrale a permis de retenir un seuil acceptable. Cette méthode nécessite une connaissance a priori de la réalité du terrain.

Figure 2. Méthodologie d'extraction de la végétation dans la région de Dakar



Résultats

Fonctions écosystémiques de la végétation urbaine

Selon le Groupe intergouvernemental sur le climat (GIEC), onze des douze années les plus chaudes jamais observées ont été enregistrées depuis 1995 et seraient attribuables à la présence accrue des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les conclusions des rapports (GIEC, 2007 et 2014) indiquent une augmentation des températures moyennes dans les

prochaines décennies. Ce changement climatique combiné à la perte progressive du couvert végétal dans les milieux urbains va accentuer l'effet d'îlot de chaleur en ville (Giguère, 2009). Cependant, la végétation urbaine serait une solution alternative au vu de nombreux services écosystémiques qu'elle offre. Sa présence en milieu urbain entraînerait une réduction des émissions de gaz à effet de serre comme le CO₂, le N₂O, le CH₄, etc. La végétation, sous ses différentes configurations, joue un rôle de rafraîchisseur dans les périodes de fortes températures et de filtre de pollution. Les toitures végétalisées favorisent le stockage temporaire de l'eau de pluie et l'évapotranspiration (Pommier *et al.* 2014).

La séquestration de carbone par la végétation et les sols contribue à diminuer la teneur en CO₂ de l'atmosphère (Anquetil, 2010). Les étendues foliaires comme la forêt classée de Mbao et les alentours des points d'eau dans la région de Dakar, influencent la qualité de l'air. Dans un contexte de pollution accrue au point que Dakar soit classée deuxième ville la plus polluée au monde (OMS, 2018), la végétation intercepte les particules polluantes et absorbe certaines sous forme gazeuse tout en produisant de l'oxygène. Sa rugosité aérodynamique modifie les vents et impacte la dispersion et le dépôt des particules polluantes. Du point de vue géomorphologique, une forte couverture de la végétation protège le sol contre le ruissellement et la battance. Elle fixe le sol et réduit l'érosion hydrique. La présence du couvert végétal sur les façades des bâtiments ou à l'intérieur des maisons (cas le plus fréquent à Dakar) impacte sur la consommation énergétique de ces dernières. Elle intercepte le rayonnement solaire dont les grandes longueurs d'onde proche de l'infrarouge sont fortement réfléchies et crée une ombre qui adoucit les températures.

Malgré le rôle important que joue la végétation, on assiste aujourd'hui à une densification du bâti (bâtiments, routes, pavés...) à Dakar au détriment des espaces verts et humides. Cela se manifeste par la disparition de la bande des filaos des Niayes, la réduction de la superficie du Lac Rose et le remblaiement des zones dépressionnaires dans la

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

périphérie de Dakar destinées à l'habitat. Le seul poumon vert à Dakar est la forêt classée de Mbao d'une superficie de 7200 ha. Ce qui rend les sols imperméables et augmente la vulnérabilité de la région aux inondations.

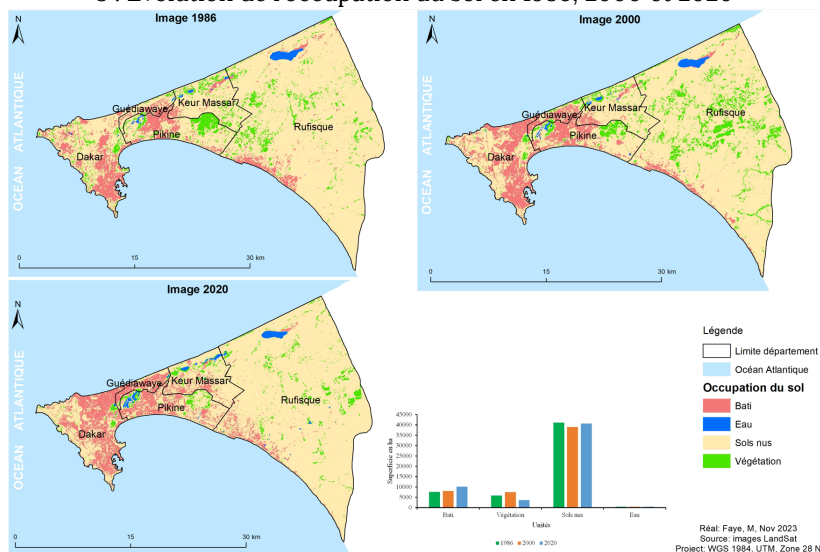
Occupation du sol

Les différentes unités d'occupation du sol ont varié dans le temps et dans l'espace. Entre 1986 et 2020 (figure 3), le bâti a fortement augmenté dans l'agglomération de Dakar (tableau 2). Il est passé de 13.7 % à 18.4 % de la superficie totale de la région, soit une augmentation de 4.7 %. Cette augmentation s'est faite au détriment des espaces verts (végétation) et des sols peu boisés (sols nus). Les zones humides (eau) ont connu une légère hausse d'environ 0.2 %.

Tableau 2. Évolution de l'occupation du sol en % en 1986, 2000 et 2020

| Occupation du sol | 1986 | 2000 | 2020 |
|-------------------|------------|------------|------------|
| Bâti | 13.7 | 14.6 | 18.4 |
| Végétation | 10.7 | 13.6 | 6.6 |
| Sols nus | 74.8 | 71.0 | 74.0 |
| Eau | 0.8 | 0.8 | 1 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 |

3 . Évolution de l'occupation du sol en 1986, 2000 et 2020

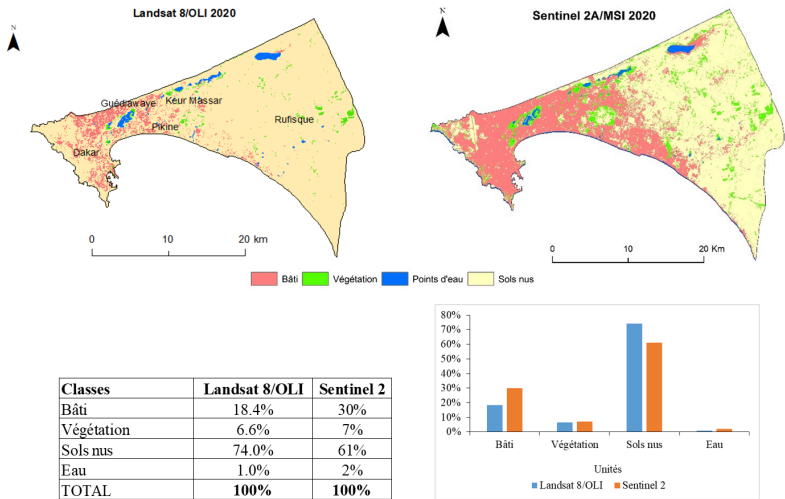


Extraction de la végétation à partir de Sentinel-2 et Landsat 8 OLI

L'analyse qualitative des résultats issus des classifications (figure 4) montre que la méthode de classification utilisée donne des résultats beaucoup plus précis avec l'image Sentinel-2 qui estime la végétation à 7 % de l'occupation du sol tandis qu'avec Landsat-8 OLI, la végétation occupe 6.6 %. Cet état de fait s'explique par la finesse de la résolution spatiale de Sentinel-2 qui permet de détecter de petites surfaces foliaires en milieu urbain tandis que Landsat-8 OLI ne détecte que de grandes étendues foliaires en raison de la grande résolution spatiale. Les pixels de végétation en bâti dense de Sentinel-2 se retrouvent dans des pixels mixtes avec Landsat-8 OLI, ce qui entraîne une sous-estimation de la

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et végétation urbaine. Cependant, il faut noter que le capteur OLI est très sensible à la réflectance du bâti en milieu urbain en fournissant des résultats précis.

Figure 4. Occupation du sol par Sentinel-2/MSI et Landsat 8/OLI entre mars et avril 2020 dans la région de Dakar

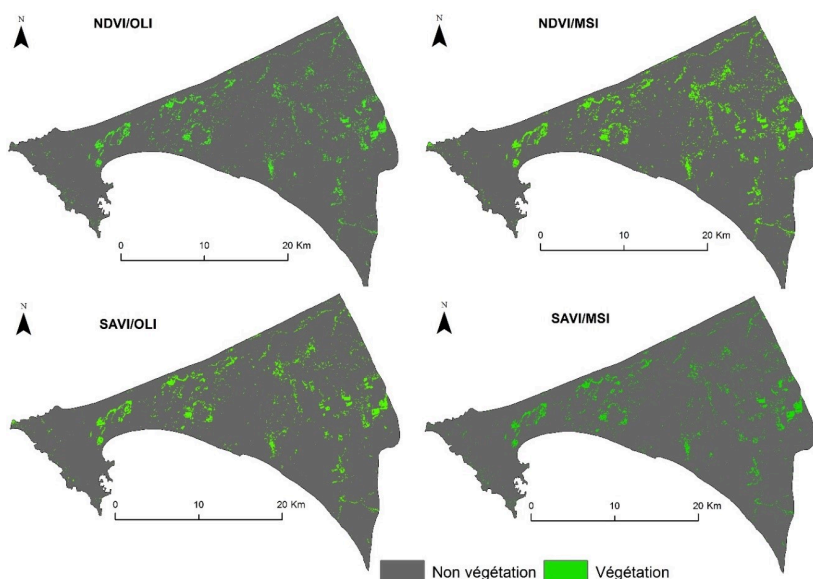


Extraction par indices de végétation

La valeur seuil optimale est fixée à partir des recherches manuelles sur les indices calculés. Elle n'est pas déterminée a priori. Le seuillage est basé sur la valeur minimale de l'indice de végétation. Les résultats fournis par cette méthode (figure 5) montrent que l'approche par indice est plus précise que les classifications. Cependant, le NDVI présente des limites dans les milieux complexes. En milieu urbain par exemple, les espaces verts sont caractérisés par un mélange à proportions variables de zones boisées, de sols nus, d'espaces construits, de voies de communication, etc. (Tidjani, 2011). La signature spectrale de ces objets se mélange avec celui du couvert végétal, rendant ce dernier difficilement identifiable. Cette

mixité des pixels n'est pas prise en compte par l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) sensible aux propriétés optiques du sol sous-jacent, ce qui peut conduire à des erreurs importantes si la végétation que l'on souhaite caractériser n'est pas assez dense (Be Api, 2016) comme en zone urbaine. Les résultats obtenus à partir du seuillage du NDVI montrent que le capteur MSI est plus adéquat à l'extraction de la végétation urbaine. Toutefois, compte tenu des limites du NDVI, un deuxième indice, le SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), est utilisé et prend en compte l'influence des sols. Le signal réfléchi par les sols est séparé de celui du couvert végétal afin de mettre en évidence avec plus de précision les surfaces foliaires. Cet indice a été appliqué sur les images utilisées et a donné des résultats plus précis en termes d'analyses qualitative et quantitative. Le NDVI et le SAVI de Landsat-8 OLI estiment respectivement la végétation urbaine à 6,69 % et 4,74 % tandis que les mêmes indices calculés sur l'image Sentinel-2 MSI estiment le couvert végétal à 4,42 %.

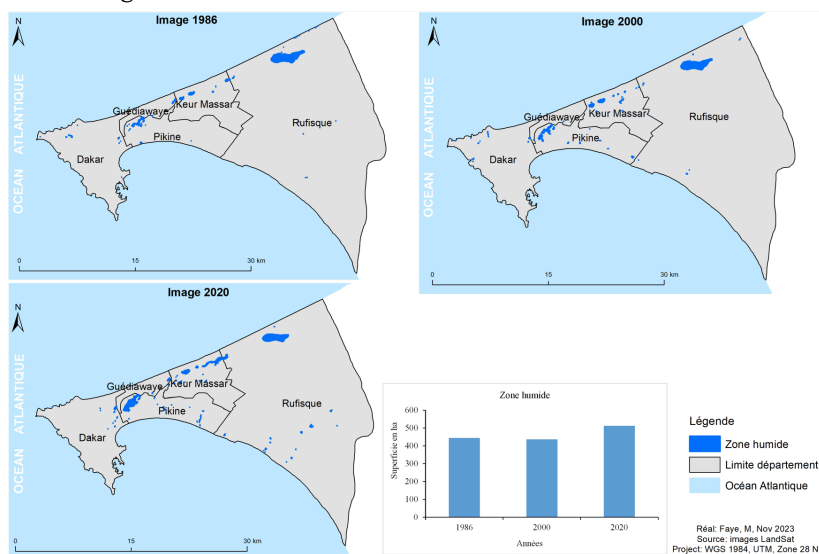
Figure 5. Extraction de la végétation urbaine par seuillage du NDVI et du SAVI dans la région de Dakar



Cartographie des zones humides

Selon la Convention de Ramsar (1971), les zones humides comprennent une grande diversité d'habitats : marais, tourbières, plaines d'inondation, cours d'eau et lacs, zones côtières telles que les marais salés, les mangroves et les lits de zostères. On y trouve aussi des récifs coralliens et autres zones marines dont la profondeur n'excède pas six mètres à marée basse et zones humides artificielles telles que les bassins de traitement des eaux usées et les lacs de retenue. Les zones humides sont des milieux qui contribuent fortement au maintien de la biodiversité et de la qualité de l'eau (Rapinel *et al.*, 2019). Elles forment des étendues considérables et diversifiées dont la plus importante se trouve dans la zone technopole (département de Pikine). On les retrouve également au nord de la région de Dakar et au sud à Bargny. Elles ont connu une évolution entre 1986 et 2020 (figure 6) et sont constituées par des prairies inondables qu'on retrouve à la limite des zones humides, caractérisées par un engorgement périodique en eau, des tourbières formées essentiellement par une accumulation de matière organique et des zones marines comme la lagune de Bargny. Les zones humides de Dakar sont de plus en plus menacées par l'urbanisation du fait d'une forte pression démographique. Elles constituent d'importantes zones de conservation de la biodiversité (Badiane *et al.*, 2018).

Figure 6. Évolution des zones humides en 1986, 2000 et 2020



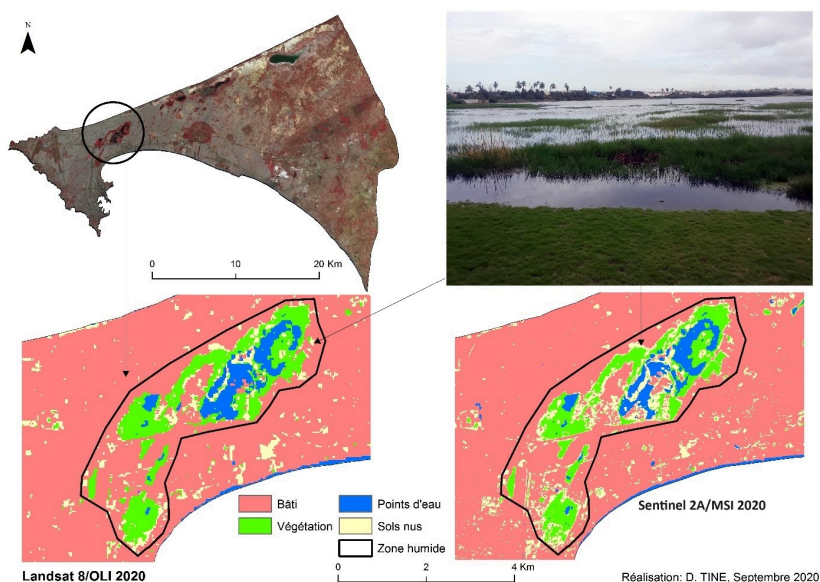
Extraction des zones humides à partir de Sentinel-2 et Landsat 8 OLI

L'estimation de la superficie des zones humides n'est pas aisée en raison de leurs caractéristiques. Ce sont des écosystèmes constitués de formations herbacées, arbustives et d'eau. L'étude des zones humides par approche spatiale passe par les potentialités des données acquises à différentes échelles. À chaque échelle d'étude, correspondent un niveau d'observation et un outil spécifique (Samaaly, 1999). C'est dans cette optique que nous avons comparé l'apport des images haute résolution spatiale de Sentinel-2 et de Landsat-8 OLI à l'étude des zones humides en milieu urbain. Toutefois, la détection des zones humides reste difficile à partir de données HRS du fait des similitudes entre différentes espèces végétales, de la faible résolution spatiale des images et de la faible répétitivité temporelle (Vacquié, 2012). L'analyse des classifications (figure

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

7) révèle la sensibilité des capteurs à la détection des zones humides. Ces dernières ont bien été mises en évidence sauf la lagune de Bargny qui montre par ailleurs les limites des résolutions spatiales et radiométriques des images fournies par Landsat et Sentinel-2. La mixité des pixels (eau et végétation) justifie les erreurs d'estimation et les problèmes de détection observés sur les images. La couverture végétale est par endroit très dense rendant la détection des surfaces d'eau difficile par le capteur. Ces cas de figure concernent les petites dépressions (les bas-fonds et les petites surfaces d'eau propices au développement de la végétation). L'estimation de leurs superficies est limitée non seulement par la mixité des pixels, mais également par leur caractère dynamique. La détection et l'identification des zones humides à partir des images satellitaires acquises en saison non pluvieuse, correspondent à la période où une forte évaporation et un rétrécissement des eaux sont notés. Les limites exactes sont difficilement cartographiables avec les images à haute résolution spatiale analysées.

Figure 7. Cartographie des zones humides de Technopole à travers Landsat-8 OLI et Sentinel-2



Discussion

Pour construire des indicateurs de la qualité de l'environnement, l'analyse de la morphologie de la végétation urbaine paraît indispensable. L'apport de la résolution est essentiel pour les thèmes de la végétation urbaine (Puissant, 2003). La configuration de la végétation urbaine rend difficiles son identification et son extraction à partir des images satellitaires à faible résolution spatiale. La densité du bâti entraîne une mixité prononcée de pixels et une ombre qui constituent une gêne pour les traitements automatiques, car elles masquent certaines zones et ont une réponse spectrale proche de l'eau stagnante (Puissant, 2003). Ce caractère hétérogène des pixels au sol entraîne une surestimation par endroit du bâti. Un pixel Landsat OLI couvre 900 m² au sol, une résolution largement supérieure aux parcelles d'habitation. Il est difficile de trouver un pixel pur compte tenu de ces caractéristiques spatiales du capteur OLI. Quant au Sentinel-2 MSI, la finesse de la résolution spatiale donne plus de détails au sol. Les images HRS Sentienl-2A renvoient, grâce à leur résolution spatiale, des informations homogènes sur les entités d'occupation du sol. Les mêmes constats ont été faits sur les indices de végétation (NDVI et SAVI) calculés. Une sous-estimation du couvert végétal est observée sur les résultats du seuillage. La valeur minimale des indices de végétation est obtenue à proximité des zones humides où on note une forte croissance foliaire. Un seuillage basé sur cette dernière peut ne pas prendre en compte les pixels mixtes dans lesquels la végétation domine. Leur signature spectrale donne l'allure de celle de la végétation, mais diffère de celles des pixels purs. En réalité, il est difficile de qualifier un capteur comme idéal à la cartographie de la végétation urbaine. Celui-ci peut avoir des caractéristiques spatiales et spectrales adaptées à la détection des espaces foliaires en milieu urbain. La classification par SVM ainsi que le seuillage sur la valeur minimale des indices végétation utilisés ont donné des résultats satisfaisants malgré les confusions dues à la mixité des pixels et aux caractéristiques du milieu urbain à Dakar. Les données issues des capteurs Landsat-8 OLI

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et

et Sentinel-2 sont adaptées à l'étude des phénomènes spatiaux à vaste étendue, mais également à la cartographie des unités spatiales un peu particulière dans des milieux très hétérogènes. Les résultats obtenus révèlent que les images à très haute résolution avec des méthodes de traitement adaptées peuvent mettre en évidence avec plus de précision, la végétation urbaine.

Conclusion

Les résultats issus des classifications sont satisfaisants avec des coefficients Kappa, respectivement de 95 % pour Sentinel-2 et de 84 % pour Landsat-8 OLI. Ces résultats, comparés à la réalité du terrain, ont permis d'apprécier en premier lieu l'apport de la résolution spatiale dans l'extraction de la végétation urbaine. Cependant, ces résultats présentent des imperfections qui se traduisent par des confusions entre certaines classes comme le bâti et les sols nus. Toutefois, les résultats obtenus par seuillage d'indice ont été confrontés à la réalité du terrain et sont jugés acceptables, mais les imperfections demeurent et peuvent s'expliquer par la complexité du milieu étudié. En définitive, il serait difficile de désigner un capteur optique idéal parmi les deux qui ont été utilisés pour l'étude de la végétation urbaine. Mais, on peut miser sur les caractéristiques radiométriques et spatiales en fonction des objets à identifier et des échelles cartographiques.

Références

- Anquetil, Virginie. 2010. *Typologie et fonctions écosystémiques de la végétation urbaine : Contributions méthodologiques*. Mémoire de fin d'études, Centre d'Angers, Institut National d'Horticulture et du paysage, Angers, France.
- Badiane, Sidia Diouma et Mbaye, Edmée. 2018. Zones humides urbaines à double visage à Dakar : opportunité ou menace? *Sciences Eaux & Territoires*, hors-série, 1-5. <https://doi.org/10.14758/SET>.
- Ballut, André, Nguyen, Jean-Pierre. 1984. Les besoins d'information pour l'aménagement urbain et régional : apport de la télédétection spatiale à la satisfaction de ces besoins. *Société française de Photogrammétrie et Télédétection*, 93, 21-32.
- Be Api, 2016. Intérêts et limites de la télédétection pour diagnostiquer les cultures. <https://beapi.coop>
- Besse, Marie-Thérèse et Rouet, Paul, 2009. La couverture végétale du cœur de l'agglomération de paris : Une approche par la télédétection de précision. *CFC*, 199, 129-134.
- Forster, Bruce. 1985. An examination of some problems and solution in monitoring urban areas satellite platforms. *International Journal of Remote Sensing*, 6 (1), 139-151.
- GIEC, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques*. Rapport de synthèse.
- GIEC, 2014. *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité*.
- Giguère, Mélissa. 2009. *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec, CANADA.

- Iovan, Corina, Boldo, Didier. et Cord, Matthieu. 2011. Modélisation de la végétation en milieu urbain : détection et caractérisation à partir d'images aériennes haute résolution couleur et infrarouge. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 10 p. En ligne : https://corinaiovan.com/publications/09_SFPT.pdf
- Michel, Pierre et Sall, Moustapha. 1984. *Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Sénégal*. Dans Blanc-Pamard Chantal, Bonnemaïson Joël, Boutrais Jean, Lassailly-Jacob Véronique et Lericollais André (éds), *Le développement rural en questions : paysages, espaces ruraux, systèmes agraires : Maghreb-Afrique noire-Mélanésie* (p. 89-109). Paris : ORSTOM.
- Nabucet, Jean. 2020. *Apport des données de télédétection à très haute résolution spatiale pour la cartographie de la végétation en milieu urbain*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne.
- Ndiaye, Mamadou Lamine. 2014. *Détection des changements d'occupation du sol et modélisation géomantique par évaluation multicritère pour la cartographie des zones vulnérables aux inondations dans la région de Dakar/Sénégal*. Mémoire de projet de fin d'études, UM5 /CRASTE-LF.
- Pommier, Guillaume, Provendier, Damien, Gutleben, Caroline et Musy, Marjorie. 2014. *Impact du végétal en ville*. Programme de recherche VegDUD.
- Puissant, Anne. 2003. *Information géographique et images très haute résolution : utilité et application en milieu urbain*. Thèse de doctorat, Université Luis Pasteur Strasbourg I, France.
- Rapinel, Sébastien, Clément, Bernard et Hubert-Moy, Laurence. 2019. Cartographie des zones humides par télédétection : approche multi-scalaire pour une planification environnementale, *Cybergeo: European Journal of Geography*. En ligne <http://journals.openedition.org/cybergeo/31606>; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.31606>, 21 p.

- Samaaly, Mehrez. 1999. *Étude de zones humides par approche spatiale : application à un marais anthropique (marais de Bourgneuf en Loire-Atlantique) et à un marais naturel (Kaw en Guyane)*. Mémoire de fin d'études, IRD, Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF.
- Tidjani, Ahmed, Khorsi, Ali et Ziani. 2011. *Détection de la végétation à partir d'une image satellitaire*. Mémoire de fin d'études, Université Amar Thelidji Laghouat.
- Vacquié, Laure et Houet, Thomas. 2012. Cartographie des zones humides de montagne par télédétection : Potentialités des images à Très Haute Résolution Spatiale. *Revue Internationale de Géomatique*, 4, 497-518.
- Welch, Richard. 1982. Spatial resolution requirement for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2), 138-146.
-

Mbagnick FAYE

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Email : fayedoudou85@yahoo.fr

Dome TINE

Département de Géographie, Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA) – Université Cheikh Anta DIOP de Dakar- Sénégal. E-mail : dometine85@gmail.com

Gallo NIANG

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Email : gallonhio@gmail.com

Guilgane FAYE

Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et D épatement de Géographie, Université Cheikh Anta D iop de Dakar (UCAD), Email : guilganefaye@yahoo.fr

ISSN : Version imprimée

1840-9865

ISSN : Version en ligne

2630-144X

En ligne à :

https://www.revues.scienceafrique.org/naaj/texte/faye_et_al2024/

Pour citer cet article : FAYE, Mbagnick, TINE, D ome, NIANG, Gallo et FAYE, Guilgane. 2024. Cartographie du couvert végétal et des zones humides de la région de Dakar (Sénégal) à l'aide des images Sentinel-2 et Landsat 8 OLI. NAAJ. *Revue africaine sur les changements climatiques et les énergies renouvelables*, 3(1), 75-97. DOI : 10.46711/naaj.2024.3.1.4