

Analyse spatiotemporelle de l'extension de la ville de Saint-Louis de 1980 à 2024

Baba Sy

Département de géographie, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ)

Dr. Moussa Sow

Département de géographie, Laboratoire Leidi « Dynamique des territoires et Développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis (UGB)

Dr. Labaly Toure

Université du Sine Saloum El-Hâdj Ibrahima NIASS, Senegal

Doi: 10.19044/esipreprint.3.2025.p300

Approved: 13 March 2025

Posted: 14 March 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

SY B., Sow M. & Toure L. (2025). *Analyse spatiotemporelle de l'extension de la ville de Saint-Louis de 1980 à 2024*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.3.2025.p300>

Résumé

L'évolution de la ville de Saint-Louis, au Sénégal, est marquée par une croissance démographique et un développement urbain dans un environnement sujet aux risques d'inondation fluviale et aux phénomènes d'érosion côtière. Malgré les mesures, comme l'ouverture du canal de délestage en 2003, qui ont réduit le risque d'inondation, mais les effets du changement climatique et de l'érosion restent un défi. Dans ce contexte, la ville s'étend sur les rares ressources foncières disponibles et se développent est souvent caractérisée par une urbanisation informelle et un manque d'infrastructures. Cette extension urbaine s'accompagne de problèmes de gestion liés à la stagnation des eaux de pluie et à une forte densité de population. Face à cette problématique, cette étude a pour objectif de cartographier de l'extension du tissu urbain de Saint-Louis entre 1980 et 2024, en utilisant des outils de cartographie diachronique comme l'algorithme du *Random Forest* pour analyser l'évolution de la ville et de caractériser les formes d'expansion. Les résultats montrent une évolution de l'occupation du sol à Saint-Louis, Sénégal, entre 1980, 2000 et 2024. Il montre une croissance significative des zones urbaines, avec une

multiplication par cinq des surfaces occupées par les habitations et infrastructures, passant de 374,38 ha en 1980 à 2006,35 ha en 2024. L'urbanisation a surtout progressé vers le faubourg de Sor et la périphérie, modifiant l'espace urbain de la ville. Les transformations sont marquées par une augmentation des surfaces bâties, mais aussi par des disparitions dues à l'érosion côtière et aux inondations, notamment dans les zones sensibles de la ville. Ainsi, la gestion de cette croissance urbaine nécessite une approche intégrée, tenant compte des défis environnementaux, des besoins en infrastructures et de la préservation des espaces naturels, pour garantir un développement durable et résilient de la ville de Saint-Louis.

Mots clés : Dynamique urbaine, apprentissage automatique, analyse spatio-temporelle, changement climatique, Saint-Louis

Spatio-temporal analysis of the expansion of the city of Saint-Louis from 1980 to 2024

Baba Sy

Département de géographie, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ)

Dr. Moussa Sow

Département de géographie, Laboratoire Leidi « Dynamique des territoires et Développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis (UGB)

Dr. Labaly Toure

Université du Sine Saloum El-Hâdj Ibrahima NIASS, Senegal

Abstract

The evolution of the city of Saint-Louis, Senegal, is marked by population growth and urban development in an environment prone to river flood risks and coastal erosion. Despite measures such as the opening of the drainage canal in 2003, which reduced the risk of flooding, the effects of climate change and erosion remain a challenge. In this context, the city extends into the scarce available land resources and is often characterized by informal urbanization and a lack of infrastructure. This urban expansion is accompanied by management issues related to stagnant rainwater and high population density. In light of these challenges, this study aims to map the urban expansion of Saint-Louis between 1980 and 2024, using diachronic mapping tools like the Random Forest algorithm to analyze the city's evolution and characterize the forms of expansion. The results show the evolution of land use in Saint-Louis, Senegal, between 1980, 2000, and 2024. There has been significant growth in urban areas, with the area

occupied by housing and infrastructure increasing fivefold, from 374.38 ha in 1980 to 2006.35 ha in 2024. Urbanization has primarily progressed toward the Faubourg de Sor and the periphery, altering the urban space of the city. The transformations are marked by an increase in built-up areas, but also by disappearances due to coastal erosion and flooding, particularly in the city's vulnerable zones. Thus, managing this urban growth requires an integrated approach, taking into account environmental challenges, infrastructure needs, and the preservation of natural spaces to ensure sustainable and resilient development of the city of Saint-Louis.

Keywords: Urban Dynamics, Machine Learning, Spatiotemporal Analysis, Climate Change, Saint-Louis

Introduction

Saint-Louis est une ville dynamique, autant dans sa géographie que dans sa démographie. La ville s'est, en effet, développée dans un environnement profondément marqué par l'eau. Les variations du niveau des eaux, d'une part, ont des conséquences sur la morphologie de la ville et sur le développement de l'espace urbanisable. La croissance continue de la population et des activités socio-économiques, d'autre part, implique une gestion régulière du cadre urbain.

Le site de Saint-Louis présente beaucoup de contraintes physiques et constitue une vaste zone de stagnation des eaux pluviales. A cet égard, la ville apparaît particulièrement vulnérable, même si elle est préservée des submersions marines par la Langue de Barbarie. Elle est fréquemment soumise aux aléas des inondations fluviales (KANE, 1997 ; DIOP, 2004 ; DUMAS et MIETTON, 2006 ; MIETTON et al., 2006 cités par DURAND, ANSELME et THOMAS, 2010). En effet, les premières opérations de protection des côtes de Saint-Louis ont commencé en 1926-1930 avec l'édification du mur de protection de Guet Ndar en 1930 (KANTE et FALL, 2019).

Ces opérations, affaiblies avec le temps, ont connu un tournant en 2003, avec l'ouverture d'un canal de déstagement au sud de la Langue de Barbarie. Pour sauver Saint-Louis d'un risque d'inondation fluviale, un canal de 100 mètres de long sur 4 mètres de large en aval de la ville a été creusé afin de permettre aux eaux du fleuve de se déverser dans la mer. En octobre 2003, la ville de Saint-Louis menacée par les eaux du fleuve Sénégal, allait vivre l'une des pires histoires de ses inondations (SY et al., 2013). Cette action va carrément changer la dynamique hydrologique sur la ville de Saint-Louis. Depuis cette date, on note une persistance des inondations notamment dans le Faubourg de Sor même si la côte d'alerte n'a jamais été dépassée à Saint-Louis. À cet égard, DUMA et MIETTON (2006) notaient que malgré

des débits de déversement du barrage de Diama comparables aux années précédentes, les maximas atteints par le fleuve depuis octobre 2003 (0,60 m en 2004 et 2005) sont désormais sensiblement inférieurs à la cote 1,75 m, qui constitue le seuil critique (SY et al., 2013). Les crues du fleuve ont par ailleurs créé des dommages importants pour les populations et sur leurs habitations.

La Langue de Barbarie subit aussi les impacts des changements climatiques et reste sous la menace des phénomènes d'érosion et d'inondations marines. L'érosion se manifeste par un recul rapide du trait de rivage entraînant le début d'effondrement des maisons adjacentes à l'estran. Au Sénégal, depuis au moins 50 ans, il est observé un recul du littoral à raison de 1 à 1,30 m/an en moyenne, provoquant la destruction d'habitations et d'infrastructures le long de la Grande Côte communément appelée littoral Nord (SY et al., 2011). A Saint-Louis, les populations de la Langue de Barbarie vivant à moins de 20 mètres de la mer sont aujourd'hui directement menacées par des submersions marines et par l'érosion côtière, qui impactent non seulement leurs habitations mais aussi perturbent la réalisation de leurs activités socio-professionnelles rendant ainsi, la vie des habitants plus difficiles (DIOP, 2024). Les quartiers de Guet Ndar, Ndar Toute et Goxu Mbacc sont les plus touchés sur la Langue de Barbarie. Le secteur de Guet Ndar a reculé constamment depuis 1954 (de 51,3 m en 35 ans), soit un taux de recul de 1,5 m par an (SY et al, 2010). Depuis 2003, avec l'ouverture de la brèche, des houles exceptionnelles frappent fréquemment sur les quartiers de Guet Ndar, Goxu Mbacc, Ndarr Toute. Ces quartiers sont également marqués par une très forte densité de la population.

C'est à la suite des fortes vagues en août 2017 et février 2018 que plusieurs familles ont subi les assauts de la mer. L'ampleur des dégâts causés par ces événements a conduit à la destruction d'habitations et de biens matériels. La recrudescence des phénomènes liés aux risques naturels côtiers a fait que des habitants de Guet-Ndar, le secteur le plus touché, ont fait l'objet de relogement dans des tentes provisoires d'abord, dans le site de Khar Yallah, puis à Djougop avec le « Projet de Relèvement d'urgence et de Résilience à Saint-Louis (SERRP) (DIOP, 2024).

Depuis octobre 2003, le risque d'inondation fluviale est parallèlement devenu moins élevé. La cité n'a plus connu d'inondation car la brèche favorise une évacuation beaucoup plus rapide des eaux du fleuve (PAUL DURAND, BRICE ANSELME et YVES-FRANÇOIS THOMAS, 2010).

Du fait de l'ensemble des contraintes identifiées dans la ville de Saint-Louis, le présent travail porte sur l'extension du tissu urbain. Cette extension s'étend, d'une part, sur l'axe Bango/UGB et vers Gandon suivant la nationale 2 d'autre part. L'objectif de ce travail est d'élaborer une cartographie diachronique de l'évolution du bâti. Il s'agit également de

localiser mais également de mesurer cette extension di front urbain sur la période 1980 à 2024.

Présentation de l'espace d'étude

La ville de Saint-Louis est cernée par l'Océan à l'ouest et deux bras du fleuve qui se rejoignent plus au nord. Elle est née dans le site amphibie du delta du fleuve Sénégal avec une partie insulaire. Elle est soumise aux aléas des inondations par les eaux du fleuve et de l'Océan Atlantique. L'histoire de la ville et la topographie du site expliquent en grande partie le poids et la répartition des infrastructures identifiées dans l'espace urbain communal. Saint-Louis a connu un développement séparé de ses espaces et s'étale sur un territoire à structure quadripolaire. D'ouest en est, la Langue de Barbarie, l'île de Ndar, le faubourg de Sor, et la zone continentale (extension). L'alternance de terrain secs, sablonneux, d'espace naturels et de plan d'eau conditionnent les implantations humaines et détermine les emboitements spatiaux.

La Langue de Barbarie, composée de trois quartiers (Guet-Ndar, Ndar-Toute, Gokhoubathe), est limitée d'une part par l'Océan et d'autre part par le petit bras du fleuve. Cette zone connaît un problème d'exiguïté, ainsi qu'un manque d'infrastructures de base. Les services urbains y sont déficients et l'occupation anarchique de l'espace induit une circulation difficile.

L'île de Ndar est le centre historique, administratif, culturel et commercial de la ville. Longtemps privilégiée, précisément pendant la période de la colonisation, l'île regroupe l'essentiel des infrastructures. La voirie y est totalement bitumée, le réseau d'assainissement y est fonctionnel et les réseaux électriques et hydrauliques couvrent assez correctement l'île. Cette partie connaît des problèmes d'exiguïté de l'espace, de rénovation urbaine, et de restauration des bâtiments.

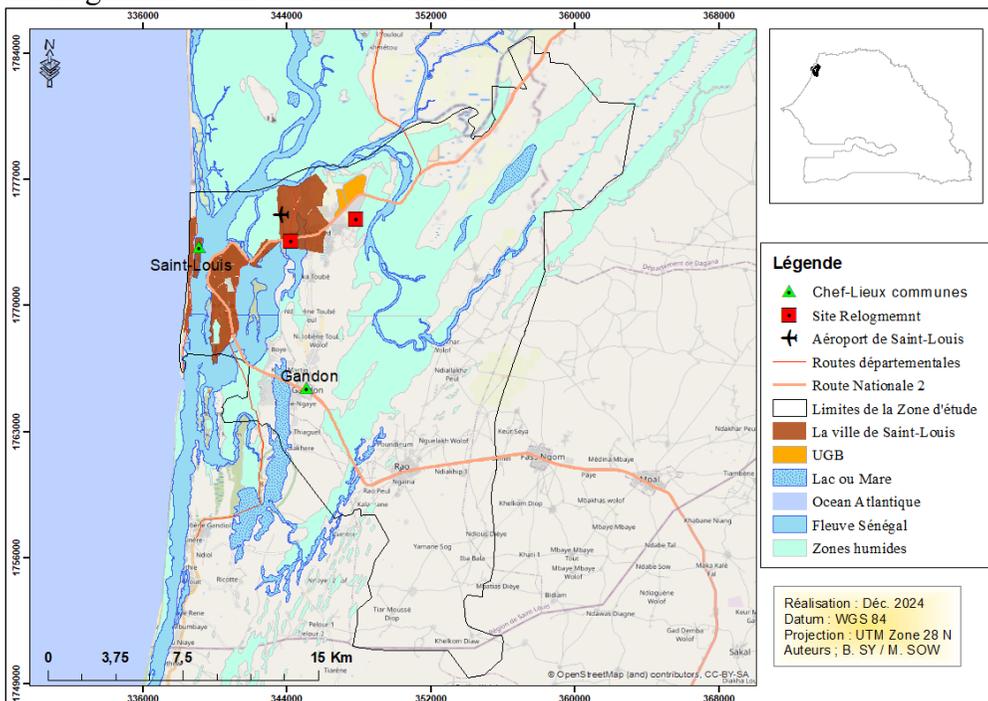
Le Faubourg de Sor avec ses anciens quartiers (Sor ouest et Marméal, Ndiolofène, Médina, Diamaguène- Léona-Eaux claires et Pikine.) constitue une grande zone d'extension urbaine de la ville accueillant les populations émigrantes mais également les populations venant de l'île ou de Langue de Barbarie dont l'espace est menacé et saturé. C'est au niveau du faubourg de Sor que la ville enregistre sa première phase d'extension. Cette partie de la ville est actuellement en pleine expansion dans un environnement où l'aménagement ne se fait pas dans les règles avec la présence de quartier irrégulier.

Le quartier de Médina est dépourvu d'un plan de lotissement et est soumis aux crues du marigot de Khor. Une bonne partie du territoire de Diamaguène-Léona-Eaux claires a été gagnée sur des zones inondables. Pikine, zone d'extension de la ville, n'a jamais fait l'objet d'étude de

lotissement et n'a reçu aucun équipement. Elle n'est pas à l'abri des inondations.

Les plans généraux de développement spatial et les projets de restructuration n'arrivent pas à pallier les difficultés. Le site de Sor est quasiment bâti, sur d'anciennes vasières comportant une forte proportion d'argile qui favorise la stagnation des eaux de pluie dans les zones les plus basses.

La périphérie de Saint-Louis comprend plusieurs petits centres habités et villages ruraux. Ceux qui peuvent être considérés comme faisant partie de la ville sont : Khor, Bango et Ngallèle. Le quartier de Khor est le plus proche de la ville. Il abrite l'installation de traitement de l'eau potable à Saint-Louis, il reste sous la menace des crues du marigot. Bango est un petit village situé sur le marigot du Djeuss au nord-est de Saint-Louis, où se trouve la station de pompage d'eau brute pour l'alimentation de la ville. Ngallèle est le plus petit village de Saint-Louis. Autour de la vieille Ngallèle se développe la nouvelle ville, avec la Cité Universitaire. Les villages traditionnels de Bango et Ngallèle, rattachés à la commune de Saint-Louis, sont utilisés comme zone de décongestion et d'extension de la ville notamment à travers la création des ZAC (Zone d'Aménagement Concerté). Ils ont un besoin d'aménagements en conséquence : plan de lotissement (restructuration des anciennes zones), viabilisation des terrains, aménagement d'infrastructures de base.



Carte 1 : Localisation et présentation de la zone d'étude

Zoomer sur la ville de Saint-Louis Mettre un deuxième carton

La commune de Saint-Louis a une superficie de 4 579 ha, la ville hors eau couvre 3 632 ha.

En 1973, seuls 597 ha étaient urbanisés. Depuis cette date, les aménagements réalisés couvrent environ 50 ha (Cité Niax : 13 ha, Goxu Mbathie : 35 ha et Ngalléle : 4 ha) (ADS, 1998).

Les plans d'eau qui comptent l'aire communale représentent 943 ha soit 20% du territoire de la ville. Il résulte des eaux que le fleuve Sénégal ne peut contenir dans son cours principal vers l'embouchure et apparaissent sous forme de marigots appelés Khor, Diouck, Cantey. Leur remplissage est fonction de la crue du Fleuve.

Méthodologie : outils et méthodes

La méthodologie est fondamentalement basée sur l'analyse et le traitement des images satellites du capteur optique Landsat.

Cartographie de l'occupation du sol par classification :

La cartographie d'occupation du sol en 1980, 2000 et 2024 a été réalisée par l'algorithme de classification du *Random Forest*. C'est une méthode supervisée où l'opérateur fournit les échantillons représentatifs des différentes classes retenues pour générer des cartes d'occupation du sol en 1980, 2000 et 2024. Le *Random Forest* est un algorithme de Machine Learning caractérisé par sa polyvalence et sa robustesse. Il se base sur la définition d'un ensemble d'arbres de décision qui sont utilisés pour générer des prédictions assez précises caractéristique du milieu étudié. Les résultats cartographiques sont ensuite validés par les échantillons aléatoires qui sont comparés à d'autres produits mais aussi à la réalité du terrain. Cette opération permet de corriger les erreurs observées dans les attributions de l'algorithme.

Dynamique des changements des unités d'occupation du sol :

Dans l'objectif d'analyser les évolutions des unités d'occupation du sol sur les périodes dates, il a été réalisé la détection des changements d'occupation du sol sous le logiciel *ARCGIS*. Les classes des différentes années ont été extraites puis réunies en couples (1980-2000, 2000-2024 et 1980-2024).

Tableau 1 : Identification et description des classes d'occupation du sol

Classes	Description des classes
Bâti/Habitats/infrastructures	Ensemble des habitations qui constituent la frange urbaine en extension vers les espaces de production.
Hydrographie	C'est le fleuve Sénégal et ses défluent qui constituent une barrière naturelle à la progression des installations humaines
Végétation	C'est l'ensemble des plantes au bord de l'eau ou un peu éloigné des plans d'eau
Sol nu	Surfaces non revêtues et dépourvues de toutes végétations
Zones de cultures	Ce sont les champs en cultures pérennes localisées souvent dans la zone proche de l'eau

L'analyse des changements a fait ressortir trois cas de figures et s'est faite uniquement sur les surfaces d'habitations/infrastructures. D'abord, les habitats constants qui sont les espaces qui n'ont pas connu de changement de classes entre deux dates. Ensuite, les habitats qui concernent tout espace des autres classes d'occupation du sol qui sont transformés en habitat à la deuxième date. Et enfin, les habitats disparus, ces espaces regroupent tous les pixels d'habitats à la première date qui ont migré vers d'autres classes d'occupation du sol à la deuxième date.

Outils de traitement des images :

Les traitements ont été réalisés sur la plateforme Google Earth Engine (GEE) (<https://code.earthengine.google.com/>) pour le téléchargement, prétraitement, traitement et post traitement des images sur les périodes retenues. GEE est un outil de cloud computing pour le suivi de l'environnement. Il a été conçu pour permettre aux géographes, aux scientifiques et aux chercheurs d'accéder rapidement à plus de 600 jeux de données de télédétection et de réaliser les processus de traitement dans un environnement dédié.

Les travaux d'analyse ont été faits avec le logiciel SIG ArcGIS pour la cartographie et la visualisation des résultats cartographiques.

Entretiens et collecte de l'information des services et structure de la ville :

Pour une meilleure analyse des résultats issus des traitements, nous avons aussi réalisé des entretiens auprès de services techniques de Saint-Louis. Ces entretiens ont, d'une part, permis d'aborder les questions d'aménagement et de viabilisation dans les espaces périphériques de Saint-Louis. Cela concerne les axes Bango Ngallèle, UGB (au nord) et Saint-Louis, Leybar et Gandon (au sud). Egalement, les problèmes des inondations et de submersion dans la ville ont été abordés et quelques pistes de solutions ont été discutés surtout pour ce qui concerne le cas de la Langue de Barbarie.

Résultats

- Occupation du sol en 1980, 2000 et 2024

La figure 1 illustre l'évolution spatiale des classes d'occupation du sol (habitation/infrastructure, Hydrographie, Végétation, Sol nu et Zone de cultures) en 1980, 2000 et 2024. L'évolution de trois (3) dates s'est traduite par une croissance des superficies occupées entre 1980 et 2024.

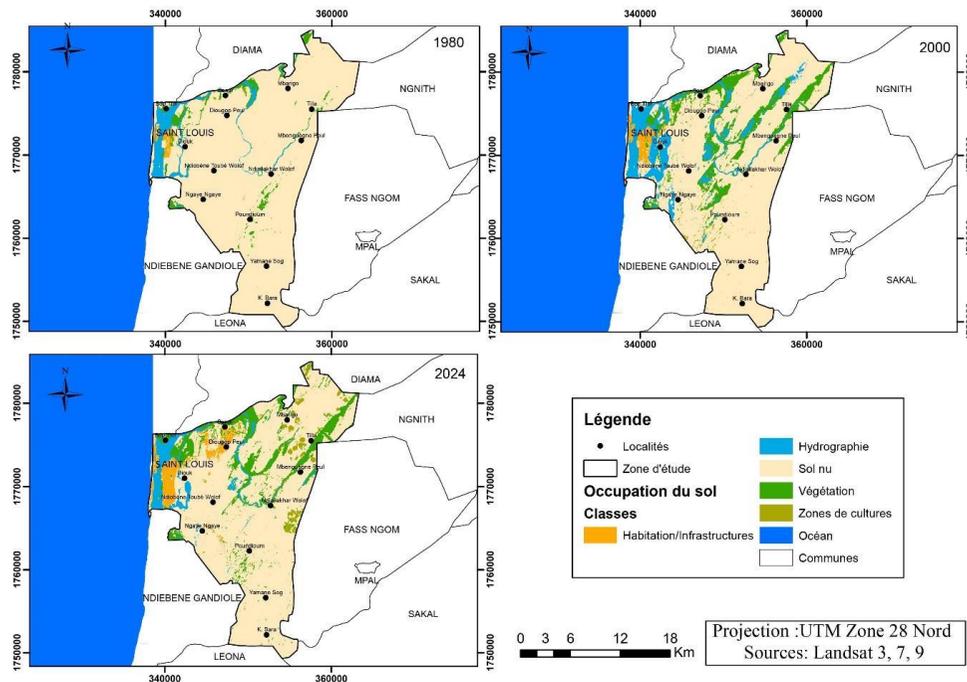


Figure 1: Occupation du sol de Saint-Louis en 1980, 2000, et 2024

Les évolutions positives sont notables pour les classes habitation /infrastructures qui ont vu leur surface quintuplée passant de 374,38 ha en 1980, 865,29 ha en 2000 avant d'atteindre 2006,35 ha en 2024 (Figure 2). Les zones de culture, de 55,72 ha en 1980 à 377,14 en 2000 et 1052, 22 ha en 2024, suivent cette même tendance à une nette expansion des espaces cultivés au fur des années. De même, les surfaces de végétation ont été multipliées par 4, passant de 1583,04 ha en 1980 à 5161,70 ha en 2024.

Par contre, l'évolution de l'hydrographie et des sols nus connaît une tendance mitigée combinant hausse/baisse de leur surface selon les années. En effet, l'hydrographie se traduit d'abord par une hausse des surfaces qui ont atteint 4429,03 ha en 2000 contre 1904,03 en 1980. Elle enregistre une baisse durant la période 2000/2024, avec des surfaces estimées à 2214,92 ha, soit une hausse de 16,31% sur la période de l'étude. S'agissant des sols nus, on observe une dynamique similaire à celle de l'hydrographie, ponctuée par une baisse des surfaces occupées, passant de 38486,23 ha en 1980 à

31565,54 ha en 2000. Une légère hausse est enregistrée en 2024, atteignant 31964,04 ha.

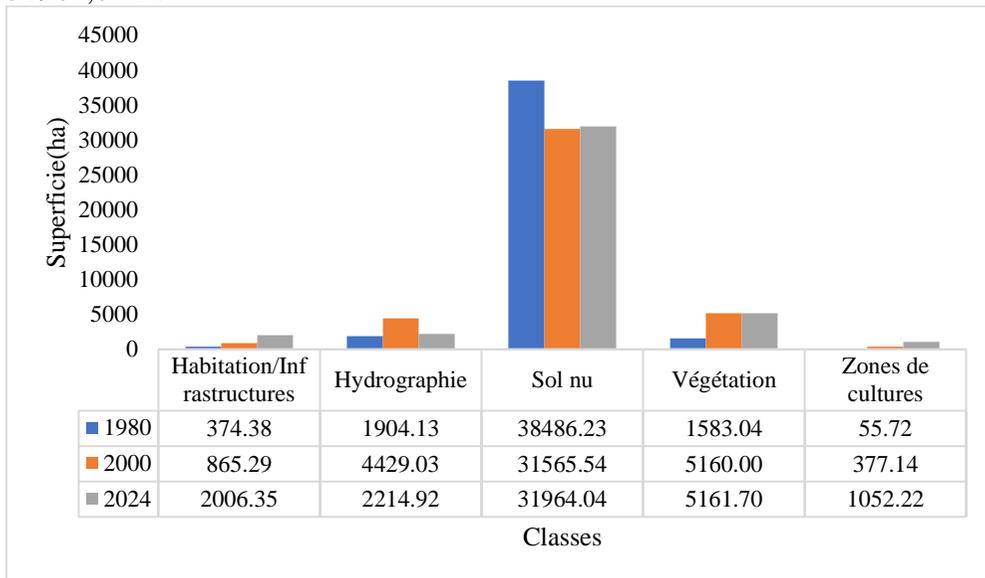


Figure 2: Evolution des surfaces des classes d'occupation du sol en 1980, 2000 et 2024

En termes de changement, sur la période 1980-2000, on observe une hausse de +2524,90 ha soit 16,32% d'évolution (Figure 3) contre +3576,96 ha pour les espaces de végétation. Il en est de même pour les zones de cultures qui connaissent une augmentation de +321,42 ha. Au même moment, les espaces de sols enregistrent une baisse importante de leur surface de -6920,70 ha.

Entre 2000 et 2024, on note un maintien de la tendance à la hausse pour les zones de cultures, la végétation et les sols nus marquée par une augmentation de respectivement de +675,08 ha, de +675,08 ha et de +398,51 ha. Toutefois, on assiste à une réduction des surfaces en eau estimée à -2214,11 ha.

Ainsi, sur la période de l'étude (1980-2024), toutes les classes connaissent une croissance de leur surface occupée à l'exception des espaces de sol nu qui ont connu une baisse de -6522,19 ha (Figure 3). Les classes qui ont progressé sont les zones de cultures de +996,50 ha, la végétation de +3578,66 ha, l'hydrographie de +310, ha et les Habitats de 1631,97 ha.

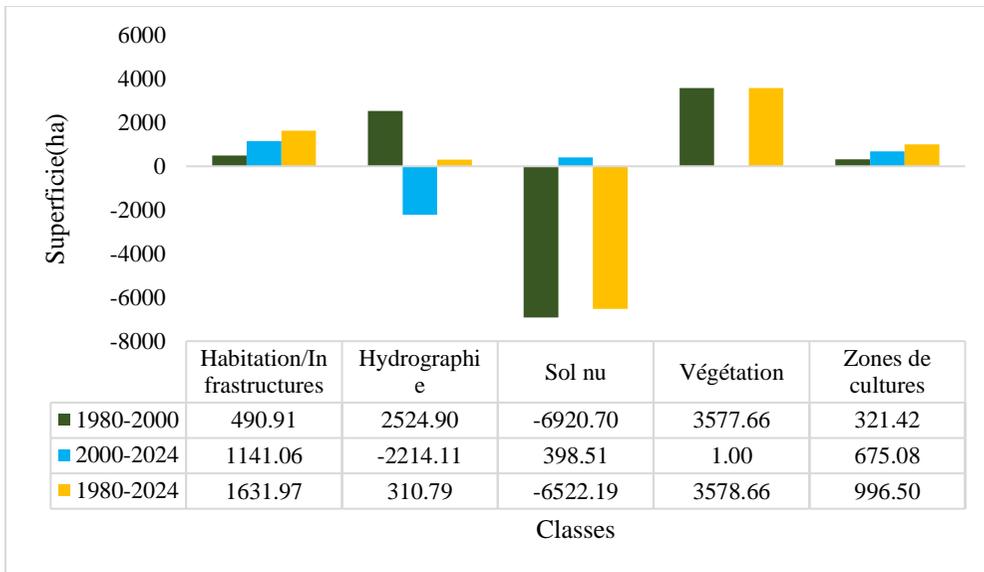


Figure 3: Changement d'occupation du sol de Saint-Louis en 1980, 2000 et 2024

Etats des Habitats/Infrastructures en 1980, 2000 et 2024

La cartographie des habitats (Figure 4) montre une tendance d'expansion partant des quartiers originels de l'île et de la langue de barbarie vers le faubourg de Sor à l'Est de la ville.

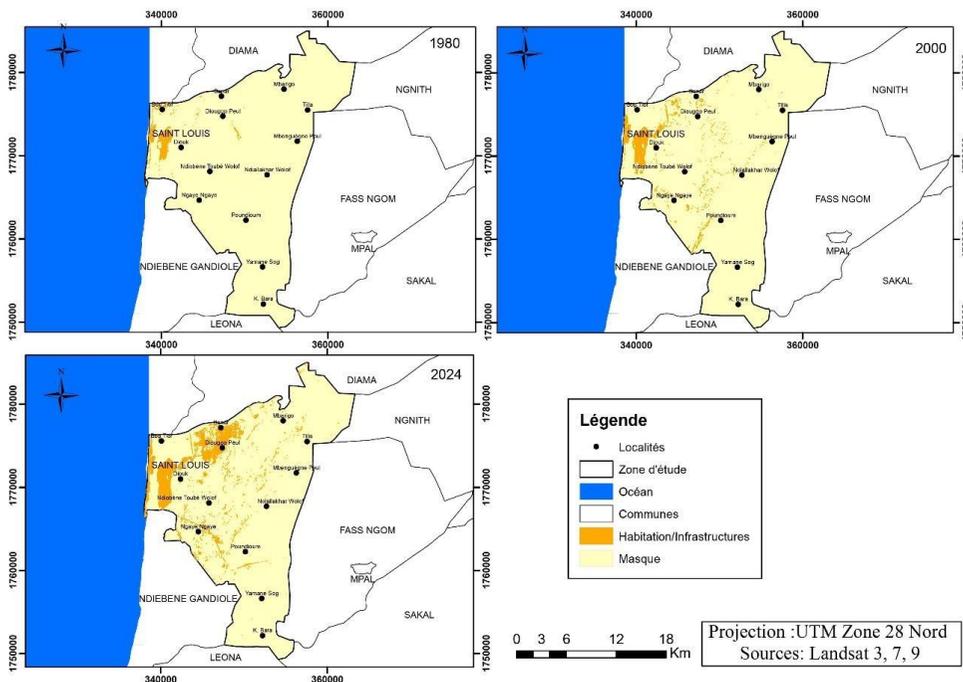


Figure 4: Etat des habitats/Infrastructures en 1980, 2000 et 2024

Ces espaces s'étendent sur 374,38 ha en 1980 et se localisent principalement au Nord-Ouest de la zone d'étude correspondant à l'île de Saint-Louis et à la langue de barbarie (Figure 5). Ces espaces étant entourés d'une part par l'océan Atlantique et d'autre part, par le fleuve Sénégal, se sont vus rapidement saturés se traduisant par une expansion vers le l'Est de l'île autour des années 2000. Le patrimoine bâti passe ainsi qui est estimées à 865,29 ha. La pressions sur les réserves foncière de du Faubourg de Sor ont entrainé un épuisement des surfaces inoccupées au niveau de la ville de Saint-Louis avec le développement de la périphérie, particulièrement au Nord de la zone d'étude. Ces accroissements se traduisent par une croissance des surfaces bâties qui atteignent 2006,35 ha (Figure 5).

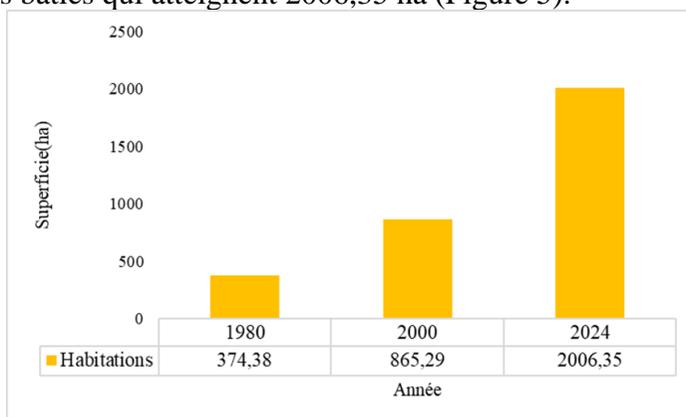


Figure 5: Evolution des surfaces des habitats/Infrastructures en 1980, 2000 et 2024

En résumé, la classe habitation/Infrastructure enregistre une hausse globale des superficies qui ont augmentées de +490,91 entre 1980 et 2000, de +1141,06 ha entre 2000 et 2024 et de 1631,97 ha entre 1980 et 2024 soit une croissance globale autour de 400%. L'augmentation des surfaces bâties s'est faite vers la périphérie, le long de la route nationale.

- Analyse de l'évolution du front urbain

La figure 6 permet de visualiser et d'analyser les transformations spatiales des habitats qui ont été notées entre 1980 et 2024 et qui sont résumées sous forme d'apparition, de disparition et de constance. L'analyse de l'évolution du front urbain se fonde d'abord sur les modifications observées sur ces différentes unités, c'est-à-dire les changements intervenus sur les catégories identiques d'occupation du sol. Ensuite, nous analysons la reconversion des unités d'occupation du sol avec le passage d'une catégorie distincte à une ou d'autres. Enfin, les classes n'ayant subi aucun changement d'usage (constant) durant toute cette période ont aussi été relevées. Ces changements spatio-temporels sont d'origine naturelle et/ou anthropique et ont fait l'objet d'une évaluation et d'une cartographie diachronique.

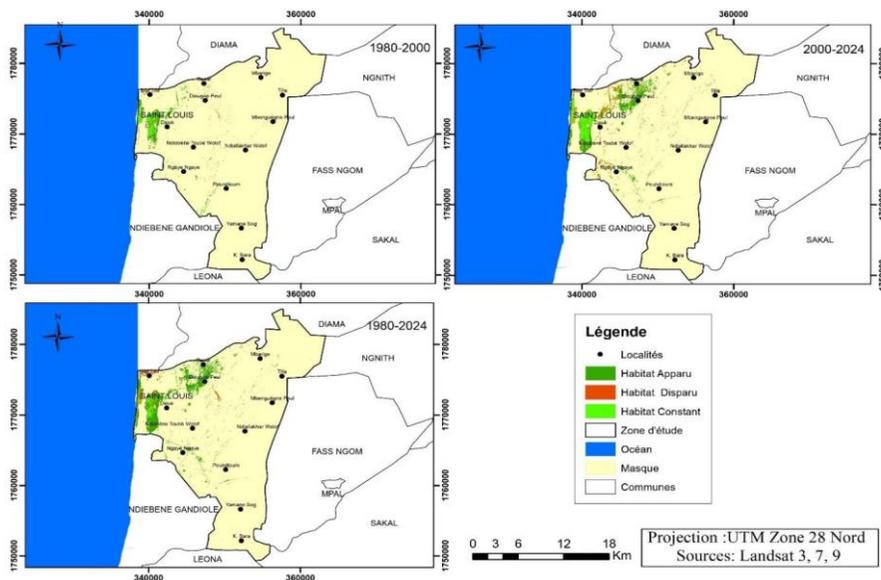


Figure 6: Dynamique des habitats/Infrastructures en 1980, 2000 et 2024

Entre 1980 et 2000, il est apparu 563,66 ha soit un rythme d'accroissement annuel de 28,18 ha par an (Figure 7). Sur cette période, les apparitions sont observées au Nord de la Langue de Barbarie mais aussi sur la partie Est et Sud du Faubourg de Sor. Les espaces bâtis constants sont d'environ 301,21 ha et sont perceptibles au niveau de l'île de Saint-Louis et sur la partie centre de la langue de barbarie. Les zones de disparition sont estimées à 73,05 ha et sont localisées au Nord de la zone d'étude et dans les zones de transitions entre les surfaces en eau et les autres classes en raison du fort niveau d'érosion côtière de ce milieu.

Les changements observés entre 2000 et 2024 font état d'une confirmation de l'évolution des surfaces bâties avec +1321,99 ha soit environ 55,08 ha par an. Cette hausse se concentre au Sud du faubourg de Sor et dans le centre Nord autour des localités de Bango et Diougob Peul. La disparition concerne 112,48 ha qui sont situés dans la zone de balancement des eaux entre le faubourg de Sor et la périphérie surtout avec les débordements répétitifs du fleuve Sénégal en période d'hivernage. Les surfaces inchangées sont estimées à 683,63 ha correspondant à la Langue de Barbarie, à l'île de Saint-Louis et à une bonne partie de Sor.

Sur la période 1980-2024, les espaces stables sont évaluées 1697,56 ha contre 308,25 ha d'espaces apparues et 66,05 ha de surfaces disparues. Le gain annuel est évalué à 38,58 ha. Sur la zone d'étude, les évolutions des surfaces se sont faites d'abord vers le faubourg de Sor avant de s'orienter vers la périphérie notamment grâce à la mise en place d'infrastructures structurantes.

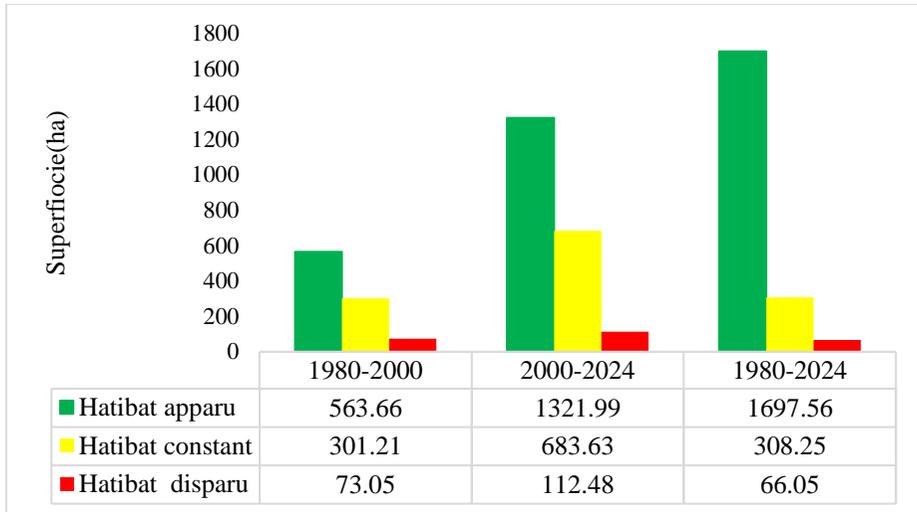


Figure 7: Statistiques des évolutions des habitats/Infrastructures en 1980, 2000 et 2024

En résumé, la dynamique des espaces d'habitations est dominée par l'apparition de nouvelles espaces habitées autour de 308, 25 ha sur la période contre une perte de surfaces bâties estimée 66,05 ha due souvent à des inondations.

Discussion

Actuellement, l'extension de la ville de Saint-Louis connaît une nouvelle dynamique face aux nombreuses contraintes auxquelles elle est confrontée. Le processus d'urbanisation en cours vers la périphérie rurale est représentatif de l'évolution de l'affectation et de l'utilisation du sol qui s'explique par divers facteurs. Ce présent travail a tenté de mettre en relief l'extension du front urbain de Saint-Louis. Pour une meilleure analyse de ce phénomène, cette étude fait appel à des méthodes et outils appropriés comme la cartographie de l'occupation des sols, généralement basée sur la classification multispectrale (KHALLEF, et al., 2020).

La cartographie de l'évolution de l'occupation du sol a permis d'appréhender la dynamique spatiale et les changements intervenus dans cet espace périphérique sous la menace grandissante de l'évolution du front urbain de Saint-Louis. Par les techniques de télédétection spatiale, l'étude des changements d'occupation et d'usage du sol aboutit à la détection, à l'identification de la nature, à la mesure des surfaces affectées et à la caractérisation de l'organisation spatiale (SY, 2022). L'urbanisation et la croissance urbaine sont considérées comme un indicateur essentiel de la croissance économique et du développement (KIBETU et OTIENO, 2018).

L'un des principaux problèmes de la cartographie des zones urbaines est l'évaluation du changement de l'utilisation des sols, de non résidentiel à

résidentiel. Les changements d'utilisation des sols sont généralement dus à des taux élevés d'urbanisation et de développement résidentiel (ABD. RAHMAN AS-SYAKUR, 2012). A Saint-Louis, l'implantation de l'Université à Sanar, village au nord, a grandement contribué sur l'extension de la ville. Les techniques d'adaptation dans le milieu ont entraîné et rythmé les mutations spatiales dans les villages périphériques polarisés par l'UGB (SY, 2023). L'université, en tant qu'élément structurant constitue un facteur important à la recomposition spatiale du terroir périphérique de la ville de Saint-Louis. En 1990, cet espace périphérique de Saint-Louis est marqué par l'entrée en fonction de l'Université Gaston Berger, implantée entre les villages de Sanar Wolof, au nord, et de Sanar Peulh (Diougob), au Sud générant des mutations considérables qui vont conditionner le futur Sanar (DIOP, 1996).

Etant donnée que la ville de Saint-Louis est marquée par des phases migratoires causées par la crise économique et la sécheresse des années 1970, facteurs de l'accroissement de la population de (WADE, 1995). Ces vagues de migrants conjuguées à la croissance démographique naturelle ont engendré une pression sur l'urbanisation. Le processus de construction du territoire urbain de Saint-Louis est dynamisé par le besoin en logement, qui s'explique par la pression démographique qui s'exerce sur un site dont l'espace est limité par la présence de l'eau (COLY et SALL, 2014). Les équipements et infrastructures implantés durant la période coloniale sont à l'origine de son développement urbain précoce dont certaines de ses fonctions sont restées polarisatrices et justifient ses croissances démographique et spatiale. Cette pression détermine un étalement urbain rapide qui se déroule en partie sur des terrains impropres à l'habitat (WADE, 2007). L'extension de la ville de Saint-Louis engendrée par le site amphibie et les incidences spatiales de cette extension se déroule sur la commune de Gandon (WADE et DIOP, 2000). En effet, les disponibilités foncières de Sor qui constituent la principale zone d'extension de la ville de Saint-Louis se trouve sur la partie la plus humide de la ville, elle doit bénéficier d'un aménagement minutieux (SARR, 2000).

L'aménagement dans les périphéries de Saint-Louis est la composante spatiale des recompositions territoriales qui se manifestent, sur ce plan, par la requalification des territoires, phénomène le plus remarquable avec son corollaire d'urbanité qui s'y construit (NAKOUYE, 2022). Mais cette évolution de l'occupation de l'espace est, d'une part, facilitée par l'intervention des autorités étatiques et municipales par des lotissements des périphéries villageoises, l'organisation et la surveillance de cette occupation spatiale ainsi que l'extension des réseaux urbains et la dotation d'équipements d'accompagnement : infrastructures scolaires et sanitaires, service municipal et commerce divers, d'autres part (NAKOUYE, 2022 ;

SY, 2023). On assiste ainsi à la densification spatiale et à l'étalement de l'agglomération (NAKOUYE, 2022).

L'analyse et le traitement de l'imagerie de télédétection est un moyen de surveillance de l'évolution de l'occupation du sol et la cartographie de l'évolution des terrains anthropisés mais aussi naturels. La télédétection a prouvé sa valeur dans de nombreux domaines, mais le succès d'une classification d'image dépend de divers facteurs, notamment du choix d'une procédure de classification appropriée (LU et WENG, 2007). Les classificateurs supervisés sont largement utilisés car ils sont plus robustes que les approches basées sur des modèles (NIEMEYER et al., 2014).

Au cours des deux dernières décennies, l'utilisation du classificateur de Random Forests (BREIMAN, 2001) a fait l'objet d'une attention croissante en raison des excellents résultats de classification obtenus et de la rapidité du traitement (DU et al., 2015 ; PAL, 2005 ; RODRIGUEZ-GALIANO et al., 2012). Le classificateur Random Forests produit des classifications fiables en utilisant des prédictions dérivées d'un ensemble d'arbres de décision (BREIMAN, 2001). Cette méthode est utilisée dans ce travail pour la détection des unités d'occupation du sol marquée par l'extension du front urbain au détriment des espaces naturelles périphériques (villages traditionnels). L'approche Random Forest a permis de suivre l'évolution du bâti avec une bonne précision. Cette approche devrait présenter un grand intérêt pour la classification multisource, car elle est non seulement non paramétrique (DUDA et al., 2001), mais elle permet également d'estimer l'importance des variables individuelles (canaux de données) dans la classification (GISLASON et al., 2006).

Au cours des deux dernières décennies, les données géographiques et de télédétection multisources sont devenues de plus en plus disponibles (GISLASON et al., 2006) et accessible à partir de devers plateformes. Les progrès majeurs récents de la technologie de télédétection, permettant de capturer une résolution temporelle et spatiale plus élevée sur une gamme plus large de signatures spectrales, modifient fondamentalement notre façon de voir la Terre (ENG and JEDRZEJ, 2017). Grâce au développement de Google Earth Engine, un outil polyvalent et convivial pour l'étude de la terre, il devient plus aisé d'appliquer la télédétection dans l'analyse des dynamiques des phénomènes spatiaux. Google Earth Engine est, en effet une plateforme basée sur le cloud qui permet le traitement à grande échelle d'images satellitaires pour détecter les changements, cartographier les tendances et quantifier les différences à la surface de la Terre et qui permet de faciliter l'accès à des ressources informatiques de haute performance pour le traitement de très grandes de données géospatiales, sans avoir à souffrir des difficultés informatiques qui les entourent actuellement (MAHCER et al., 2022).

Dans Google Earth Engine (GEE), les ensembles de données peuvent être acquis et manipulés dans une interface de programmation d'application (API) JavaScript et Python (SCHMID, 2017). La majeure partie du catalogue est constituée d'images de télédétection pour l'observation de la Terre, y compris les archives complètes de Landsat ainsi que les archives complètes des données de Sentinel-1 et Sentinel-2, mais il comprend également des prévisions climatiques, des données sur l'occupation des sols et de nombreux autres ensembles de données environnementales, géophysiques et socio-économiques (GORELICK et al., 2017).

Comme leur nom l'indique, les données multisources impliquent des données provenant de sources multiples et peuvent inclure, par exemple, l'imagerie multispectrale du satellite Landsat, les données hyperspectrales aéroportées, les données radar et les données géographiques telles que l'altitude et la pente (BENEDIKTSSON et al., 1990). Dans la classification de l'occupation du sol à partir de données de télédétection, il est souhaitable d'utiliser des données multisources afin d'extraire autant d'informations que possible sur la zone à classifier.

Conclusion

L'extension de la ville de Saint-Louis, toujours d'actualité, constitue un phénomène urbain en marche. Il concerne particulièrement l'espace rural périphérique, en l'occurrence dans la commune de Gandon et se manifeste par une forte pression du front urbain. La géographie de l'espace urbain de Saint-Louis est caractérisée par une forte présence de l'eau. La partie littorale (la Langue de Barbarie), avec ses quartiers populaires, est soumise à l'érosion côtière et à la submersion affectant leurs activités économiques et la sécurité des habitants. Le Faubourg de Sor est périodiquement exposé à des inondations particulièrement redoutées aussi par des populations.

Ainsi, l'extension vers la périphérie devient une alternative naturelle confortée aussi par l'implantation d'éléments structurants de grandes envergures telle que l'Université. Le rôle de catalyseur joué par l'Université a beaucoup joué sur la dynamique spatiale en cours. Ses terroirs font actuellement l'objet de morcellement à des fins d'habitat face à une demande exponentielle en logement.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. ADC., 2000. Note stratégie sur le développement de Saint-Louis : Saint-Louis Horizon 2025, 44p.
2. ADC., 2003. Plan Directeur d'Urbanisme (PDU)/Saint-Louis Horizon 2025, 162p.
3. Assises de Saint-Louis (ADS), septembre 1998, Diagnostic sur l'aménagement urbain de la ville orientation générales stratégies et programmes d'actions, Rapport de la commission Aménagement Urbain, 67 pages.
4. Commune de Saint-Louis, Mai 2002 : le PDU Saint-Louis de l'horizon 2025, Rapport d'analyse et de synthèse des données régionales, livre Blanc, document n°3, Saint-Louis, 158pages.
5. Profil environnemental de la ville de Saint-Louis, avril 2005, Commune de Saint-Louis, Institut Africain De Gestion Urbaine (IAGU), ONU-HABITAT
6. AS-SYAKUR ABD. R., ADNYANA I. S., ARTHANA I W. et NUARSA I W. (2012) Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area Remote Sens., 4(10), 2957-2970; <https://doi.org/10.3390/rs4102957>.
7. Boubaker Khallef, Khaled Brahamia, Abdel Razek Oularbi (2020) Application des indices de télédétection à la cartographie des zones urbaines et des sols nus : Cas de la ville de Guelma (Nord-est de L'Algérie), International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 28 No.
8. BREIMAN, L. (2001) Random Forests. Machine Learning 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
9. DIOP A. (2024) *Faire face aux risques côtiers, entre digue et relocalisation : quelles perceptions des risques, attachements aux lieux et vulnérabilités ? Le cas de La langue de Barbarie à Saint-Louis, Sénégal*, Rapport de stage,
10. DIOP O. (1996) Université et mutations de l'espace rural : le cas de Sanar, village sahélien dans la région de Saint-Louis, in annale de la faculté des lettres et sciences humaines, UCAD N°26, pp. 178 – 194.).
11. GARCIN M., DESMAZES F., BILLY J., MASPATAUD A. et GICQUEL C. (2020) – WACA-F- Valorisation des données historiques du littoral du Sénégal, du Togo et du Bénin. BRGM/RC-69610-FR, 118 p., 67 fig., 10 tabl., 3 ann.
12. GISLASON P.O., BENEDIKTSSON J.A., SVEINSSON J.R. (2006) Random forests for land cover classification Pattern Recogn. Lett., 27, pp. 294-300

13. GORELICK, N. et al. (2017) 'Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone', *Remote sensing of Environment*, 202, pp. 18–27
14. KANTE F., et FALL N. A, (2010), Érosion côtière et déplacement de populations. Étude de cas du site de recasement des sinistrés de la Langue de Barbarie dans la ville de Saint-Louis du Sénégal. Actes d'une journée d'étude environnement, changement climatique et populations : promouvoir le dialogue septembre 2019, 51-53 p.
15. KIBETU D. K., OTIENO COLLINS OMONDI (2018) A nalysis of S patial and Socio Ecological Transformation s around Chuka University Environs Using Remote Sensing and GIS, *International Journal of Town Planning and Management*, Vol 4,
16. Kibetu Dickson Kinoti, Otieno Collins Omondi (2018) A nalysis of Spatial and Socio Ecological Transformations around Chuka University Environs Using Remote Sensing and GIS, *International Journal of Town Planning and Management*, Vol 4,)
17. LU D. et WENG Q. (2007) A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance *Int. J. Remote Sens.*, 28, pp. 823-870.
18. MAHCER I., BAAHMED D., CHEMIRIK K., CHAHROURI H. (2022) Exploitation de la plateforme Google Earth Engine pour l'extraction des indices de végétation cas d'étude nord-ouest algérien, Conference: GeoTunis 14 14th edition of the International Congress on GIS and Geospace Application Yasmine Hammamet Tunisia.
19. MAS J.F., (2000) Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Can. J. Remote Sens.*, 26, 349–362.
20. MASSE A., DUCROT D. & MARTHON P., (2012) Evaluation de la classification supervisée par les caractéristiques de classe et de classification. In : Algorithmes et technologies pour l'imagerie multispectrale, hyperspectrale et ultraspectrale XVIII, 24 mai 2012, 8390, 863-872. DOI : <https://doi.org/10.1117/12.919163>
21. MOHAMED KHOUNA C. (2013) Apport des séries d'images Landsat TM/ETM+ à l'étude de la dynamique spatio-temporelle (1984-2006) du Barrage Idriss Premier sur Oued Inaouene (Nord du Maroc), MEMOIRE DE FIN D'ETUDES, Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux,
22. NAKOUYE N. (2022) Reconstitutions territoriales et transitions urbaines dans les périphéries de la ville de Saint-Louis du Sénégal, Thèse de doctorat, Laboratoire Leidi : « Dynamique des territoires et développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis, 268 pages.

23. NIEMEYER J., ROTTENSTEINER F., SOERGEL U. (2014) Contextual classification of lidar data and building object detection in urban areas *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 87, pp. 152-165.
24. SARR C. (2000) Déséquilibres spatiaux et déphasage des aménagements dans l'urbanisation de la ville de Saint-Louis, *AFRISOR*, n°1, UGB, pp : 59-92
25. SAWADOGO H., ZOMBRE N. P., BOCK L., LACROIX D. (2008) Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes. *Téledétection*, 8 (1), pp 59-73.
26. SCHMID, J. N. (2017) 'Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands', Georg-August-Universität Göttingen: Basel, Switzerland.
27. SY A. A, DIOUF M, DIANE A et SY B. A. (2011) Enjeux d'une prise en compte de l'érosion littorale dans le schéma d'adaptation de la ville de saint louis aux changements climatiques (mieux connaître pour mieux gérer), *Revue de Géographie du LARDYMES*, Lomé, N° 6 – 5e année, pp : 77-90.
28. SY B. (2022) Equipements structurants et reconversion socioprofessionnelle des espaces ruraux périphériques de Saint-Louis (Sénégal), *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, N°11, Vol. 3, pp. 261-279).
29. SY B. (2023) Changements de l'occupation et l'utilisation du sol dans les villages polarisés par l'Université Gaston BERGER de 1980 à 2020, *La Revue Africaine des Sciences Sociales « Pensées genre. Penser autrement. »* Vol. III, N° 1, pp. 194-209)
30. SY B. A, BODIAN A., SY A. A et FAYE C. A. T. (2013) Rôle de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie dans la mutation de l'aléa inondation à Saint-Louis du Sénégal, cas du Faubourg de Sor, *Revue de géographie du laboratoire Leïdi – ISSN 0851-2515*, N°11, 14 pages.
31. VIVEK K. G., PALANIMURUGAN A. A. (2017) A New Three Band Index for Identifying Urban Areas using Satellite Images
32. WADE C.S. et DIOP O. (2000) La croissance urbaine et ces incidences géographiques sur l'espace rural : le cas de la commune de Saint-Louis et la communauté rurale de Gandon, *AFRISOR*, n°1, UGB, pp. : 13-57.
33. WADE C.S., (2001) Problématique foncière et pratiques urbaines dans la ville périphérique de Saint-Louis, *Revue sénégalaise de Sociologie*, n°4, UGB, pp : 1-15.