

Téledétection et SIG dans l'analyse spatio-temporelle de la dynamique urbaine de Dakar, Sénégal

Mor Awa DIENG* et Mahamadou KEITA

RECTAS, Obafemi Awolowo University Campus, PMB 5545, Ile-Ife, Osun State, Nigeria

* Correspondance, courriel : dieng@rectas.org

Résumé

Depuis la période des indépendances, la ville de Dakar a connu une dynamique spatiale incontrôlée résultant d'une croissance vertigineuse de son espace urbain. Cette étude vise à analyser l'expansion spatiale de la ville de Dakar en s'appuyant sur les techniques de la télédétection et du SIG. L'approche méthodologique utilisée est basée, d'une part sur l'analyse des données d'images satellitaires (Landsat MSS 1972, TM 1984, ETM+ 2002 et OLI-TIRS 2015) et d'autre part sur l'analyse de l'évolution démographique. La méthode a permis d'identifier un changement du paysage urbain de Dakar au cours des quatre décennies à travers la reconversion spatiale des formations naturelles et des zones de culture au profit du bâti. D'un taux de couverture de 38 % de l'espace urbain en 1972, le bâti est passé à 49,2 % en 1984, 69 % en 2002 et 84,8 % en 2015. Considérant les mêmes périodes, l'analyse de l'évolution démographique a montré une forte augmentation de la population de Dakar avec une densité allant de 2725 hbts / km² en 1972 à 5672 hbts / km² en 1984 et de 12312 hbts / km² en 2002 à 15478 hbts / km² en 2015. La projection du paysage urbain à l'horizon 2035, basée sur les tendances évolutives, a révélé une quasi disparition des milieux naturels due à une forte proportion du bâti (91 %). Le modèle de dynamique urbaine ainsi mis en œuvre pourra servir à analyser la croissance urbaine dans les métropoles de la sous - région ouest - africaine et entreprendre une bonne planification et une gestion efficiente des espaces urbains.

Mots-clés : *occupation du sol, dynamique spatiale, croissance urbaine, télédétection, SIG.*

Abstract

Remote Sensing and GIS for spatio-temporal analysis of urban dynamic of Dakar, Senegal

Since the independence period, the city of Dakar has experienced an uncontrolled spatial dynamics resulting from a vertiginous growth of its urban area. This study aims to analyze the spatial expansion of the city of Dakar using remote sensing and GIS techniques. The methodological approach used is based firstly on the analysis of satellite imagery data (Landsat MSS 1972, TM 1984, ETM + 2002 and OLI-TIRS 2015) and secondly on analysis of demographic change. The method allowed to identify a change in the urban landscape of Dakar during the four decades through the spatial reconversion of the natural formations and cultivated areas to the benefit of the built-up. With a coverage rate of 38 % of the urban area in 1972, the built-up rose to 49.2 % in 1984, 69 % in 2002 and 84.8 % in 2015. Considering the same periods, demographic evolution showed a strong increase in the population of Dakar with a density ranging from 2725 hbts / km² in 1972 to 5672 hbts / km² in

1984 and from 12312 hbts / km² in 2002 to 15478 hbts / km² in 2015. The projection of the urban landscape by 2035, based on evolutionary trends, revealed a quasi-disappearance of natural environments due to a high proportion of built-up (91 %). The urban dynamics model implemented could be used to analyze the urban growth in metropolises of the west - African sub - region and undertake proper planning and effective management of urban areas.

Keywords : *land use, spatial dynamics, urban growth, remote sensing, GIS.*

1. Introduction

Le Sénégal a connu une croissance urbaine explosive, depuis l'indépendance en 1960. L'urbanisation est en progression constante et la population urbaine est passée de 38 % en 1988 à 45,2 % en 2013 [1]. Le nombre et la taille des centres urbains ont augmenté en raison d'une urbanisation incontrôlée. La capitale Dakar contient presque toutes les infrastructures et plus d'un quart de la population nationale. Ce changement se produit en raison de la croissance combinée de sa population, son rôle en tant que zone économique carrefour principal et sa position d'espace ouvert aux migrants [2]. La loi sur le Domaine national, la sécheresse des années 1970 à 1999, la forte pression des populations urbaines à la recherche d'habitation, le projet des Parcelles Assainies destiné à accueillir les populations à faible revenu et celles du secteur informel, ont conduit à la macrocéphalie de Dakar et à la perte des espaces naturelles qui jadis étaient destinées aux activités maraichères. Cette forte évolution incontrôlée de l'urbanisation dans la région de Dakar contribue grandement à la vulnérabilité de l'environnement urbain et interpelle les autorités municipales à trouver des voies et moyens devant conduire au suivi de la dynamique urbaine. A l'heure où l'utilisation des images satellitaires se généralise à de nombreux domaines d'activités, la télédétection est devenue, depuis une trentaine d'années, une source d'information essentielle en matière d'urbanisation [3 - 5]. Cette étude, basée sur les techniques de la Télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG), propose des moyens prometteurs d'une gestion urbaine efficiente. Le but visé est d'analyser l'expansion de la ville de Dakar en utilisant les techniques de la Télédétection et du SIG pour un meilleur suivi du processus d'urbanisation à partir d'images *Landsat*. Il s'agit, dans un premier temps, d'analyser l'évolution spatiale de la ville de Dakar de 1972 à 2015; ensuite analyser les facteurs démographiques associés aux changements d'occupation du sol et enfin effectuer une projection spatiale de Dakar à l'horizon 2035, sur la base des tendances évolutives constatées en 2015.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La région de Dakar est située dans la presqu'île du Cap Vert et s'étend sur une superficie de 550 km², soit 0,28 % du territoire national mais concentre 25 % de la population nationale. Elle contient le département de Dakar représentant la ville de Dakar elle-même (**Figure 1**). De sa position géographique, la région de Dakar est comprise entre les 17° 10' et 17° 32' de longitude Ouest et les 14° 53' et 14° 35' de latitude Nord. Elle est limitée à l'Est par la région de Thiès et par l'Océan Atlantique dans ses parties Nord, Ouest et Sud.



Figure 1 : Situation de la ville de Dakar

La **Figure 1** montre la ville de Dakar constituée des 19 communes d'arrondissements du département de Dakar. Elle se présente sous forme de presqu'île puisque la partie située à l'Est limitée par les départements de Pikine et Guédiawaye représente la seule qui s'ouvre sur le continent.

2-2. Matériel

Deux catégories de données ont été utilisées dans cette étude : les données spatiales et les données socio-économiques.

2-2-1. Données spatiales

Les images Landsat constituent les données de base de cette étude. Elles ont été téléchargées sur le site USGS (United States Geological Survey <http://earthexplorer.usgs.gov/>). Ces images Landsat sont de dates différentes et sont issues de différents capteurs :

- Images satellitaires Landsat MSS de Dakar de 1972, TM 1984, ETM + 2002 et OLI / TIRS 2015, avec une résolution spatiale de 30 mètres utilisée pour l'évaluation de la dynamique spatiale de la zone urbaine de Dakar ;
- Une image GeoEye de 2012 avec une résolution de 0,5 m, couvrant la ville de Dakar, utilisée pour valider la classification des images satellitaires Landsat ;
- Une carte topographique de Dakar de 1972 à l'échelle de 1 / 50000 produite par l'IGN (Institut Géographique National) utilisée pour extraire les données sur les anciennes structures de la ville.

2-2-2. Données socio-économiques

Ces données concernent essentiellement celles liées à l'évolution démographique de Dakar de 1972 à 2015. Ces données socio-économiques ont permis de créer et d'implémenter la base de données attributaire.

2-2-3. Logiciels

L'exécution de cette étude a nécessité l'utilisation des logiciels suivants :

- ENVI 5.1 pour le traitement numérique des images Landsat ;
- Arc GIS 10.1 pour le géoréférencement des cartes existantes, la création de la base de données spatiales, la numérisation des couches et la visualisation cartographique ;
- IDRISI 17.0 Edition Selva, utilisé pour la prédiction de Dakar en 2035.

2-3. Méthodes

Les méthodes utilisées pour obtenir les résultats de cette étude s'articulent autour des techniques consistant d'abord à déterminer les unités d'occupation du sol en 1972, en 1984, en 2002 et en 2015 par le biais de la classification d'images. Ensuite, l'évaluation de la croissance démographique, suivie de la prédiction de la ville de Dakar à l'horizon 2035.

2-3-1. Classification des images

L'opération de classification consiste à interpréter numériquement les images satellitaires après avoir préalablement effectué la composition colorée.

2-3-1-1. Composition colorée

Il s'agit au cours du prétraitement d'élaborer une composition colorée par superposition des bandes qui permettront d'analyser l'évolution urbaine de la zone d'étude. Une composition colorée est une combinaison de trois bandes spectrales d'une image afin de permettre une bonne interprétation visuelle. Les techniques de compositions colorées consistent à afficher chaque bande spectrale dans l'un des plans d'affichage composant l'écran couleur. Les plans d'affichage sont les trois couleurs primaires : le rouge, le vert, et le bleu. Ainsi, la composition colorée en fausses couleurs a été réalisée avec les bandes suivantes :

- bandes 4, 3, et 2 utilisées pour les images MSS, TM et ETM+;
- bandes 5, 4, et 3 utilisées pour l'image OLI-TIRS.

2-3-1-2. Classification supervisée

La reconnaissance assistée par l'ordinateur, des différents thèmes de la surface terrestre à partir des images numériques est communément appelée classification d'images ou interprétation numérique d'images. Dans cette étude, la classification supervisée a été utilisée avec l'algorithme « Maximum de vraisemblance » qui est une méthode basée sur l'affiliation des pixels à des classes thématiques définies et reconnues par l'opérateur à partir de la connaissance du terrain. Elle repose sur un système de classification où on définit l'ensemble des classes avant que la classification ne soit effectuée. La classification s'est déroulée dans ENVI 4.7 en quatre phases essentielles qui sont :

- la définition de la légende du ROI (Region Of Interest signifiant zone d'intérêt);
- la description des différentes classes;

- le choix des parcelles d'entraînement (ou régions);
- le choix de l'algorithme de classification.

2-3-2. Dynamique démographique de 1972 à 2015

La croissance démographique représente l'une des causes déterminantes de l'extension urbaine dans la mesure où elle crée de nouveaux besoins en sol pour les populations. Avec une pression sans cesse de la croissance démographique sur les ressources naturelles, la conséquence est une mutation de l'espace qui se traduit par une modification de l'occupation du sol. Dans ce contexte, il convient d'analyser la dynamique démographique sur la même période couvrant la dynamique spatiale.

2-3-3. Prédiction de l'occupation du sol de Dakar en 2035

La modélisation prédictive de la dynamique de la ville de Dakar compte tenu de la tendance dans l'évolution des unités d'occupation du sol est effectuée dans l'environnement du logiciel IDRISI en utilisant la Chaîne d'Analyse de Markov. La Chaîne d'Analyse de Markov est un outil pratique pour la modélisation de l'occupation du sol lorsque les changements et les processus dans le paysage sont difficiles à décrire. Un processus markovien est celui dans lequel l'état futur d'un système peut être modélisé sur la base de l'état précédent. La Chaîne d'Analyse markovienne décrit l'occupation du sol d'une période à l'autre et l'utilise comme base pour projeter les changements futurs. Ceci est réalisé par l'élaboration d'une matrice de probabilité de transition du changement de l'occupation du sol d'un temps t_1 à un autre temps t_2 , ce qui montre la nature du changement, tout en servant de base pour la projection à une période ultérieure.

3. Résultats

3-1. Dynamique spatiale entre 1972 et 2015

3-1-1. Changement de l'occupation du sol entre 1972 et 1984

De 1972 à 1984, la ville de Dakar a enregistré un changement notoire concernant les différentes unités de l'occupation du sol. Le bilan de l'évolution de l'occupation du sol (**Tableau 1**) et la matrice de transition (**Tableau 2**) révèlent les tendances des différentes unités de l'occupation du sol.

Tableau 1 : Bilan de l'évolution de l'occupation du sol de 1972 à 1984

Unités	Années				Taux d'accroissement	Bilan
	1972		1984			
	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)		
bâti	2949,464	38	3819,852	49,2	29,510	Progression
Savane arbustive	1629,519	21	1956,996	25,2	20,097	Progression
Zone de culture	1874,439	24,1	1594,138	20,5	- 14,954	Regression
Sol nu	1310,299	16,9	392,735	5,1	- 70,027	Regression
Total	7763,721	100	7763,721	100		

Source : Calculs effectués par l'auteur

Le **Tableau 1** montre une tendance à l'artificialisation des milieux naturels avec une forte expansion du bâti. De 2949,464 Ha, le bâti est passé à 3819,852 Ha, soit un taux d'accroissement de 29,5 %. La savanisation de la petite zone forestière a conduit à la progression de 20 % de la savane arbustive. Les milieux constitués de zones de cultures et de sols nus ont connu une régression de 15 % et 70 % respectivement. Les résultats de l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol au niveau de la Patte d'Oie et de Yeumbeul Nord à Dakar permettent d'observer la tyrannie du bâtiment qui réduit fortement les zones naturelles à fonction écologique importante [6]. L'urbanisation rapide de Dakar durant cette période s'explique d'une part, par l'exode rural dû à la sécheresse des années 1970 qui a conduit à la baisse de la production agricole et à l'appauvrissement des populations rurales et d'autre part, par l'accroissement naturel de la population de Dakar et les facteurs politiques et institutionnels qui ont favorisé l'augmentation des surfaces bâties et la dégradation des espaces naturelles. Cette conversion est révélée par la matrice de transition ci-dessous.

Tableau 2 : Matrice de transition entre 1972 et 1984

1984	Bâti	Savane arbustive	Zone de culture	Sol nu	Total
1972					
Bâti	2376,283	302,316	269,686	1,179	2949,464
Savane arbustive	452,491	612,102	559,029	5,897	1629,519
Zone de culture	842,475	353,030	678,148	0,786	1874,439
Sol nu	148,603	689,548	87,275	384,873	1310,299
Total	3819,852	1956,996	1594,138	392,735	7763,721

Source : Calculs effectués par l'auteur

La matrice de transition entre 1972 et 1984 montre la dynamique spatiale de la ville de Dakar où les formations naturelles et les zones de culture cèdent la place aux zones artificielles en général et au bâti en particulier. Ce phénomène s'exprime par la reconversion, au profit du bâti, des zones de culture (842,5 Ha) soit 45 % et de la savane arbustive (452,491 Ha) soit 28 %. La dynamique spatiale de cette période peut être expliquée par la forte demande en logements. De 1951 à 1997, la SICAP (Société Immobilière du Cap-Vert) mise en place depuis 1951 par l'Etat et spécialisée dans les logements à Grand et Moyen Standing a produit 11,564 logements [7]. L'exécution des opérations d'urbanisme repose dans la métropole sur plusieurs acteurs dont la diversité, l'ampleur et les modes d'intervention témoignent de l'importance de la demande en logements. Parallèlement à la réalisation des programmes de logements, des lotissements adaptés devaient être réalisés pour permettre de répondre à la demande des populations à bas revenus. C'est dans ce cadre que l'OHLM (Office des Habitations à Loyers Modérés) a réalisé les Parcelles Assainies de Cambérène en 1973. Les représentations cartographiques par les **Figures 1a, 1b, 2a et 2b** ci-dessous, illustrent ces changements.

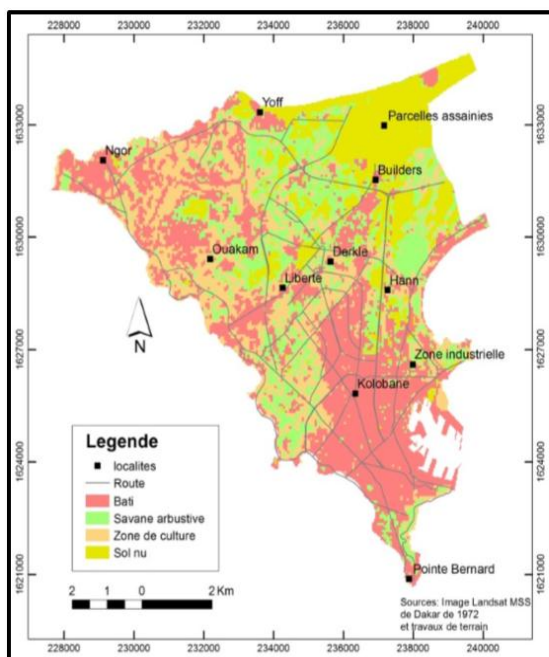


Figure 1a : Carte d'occupation du sol de 1972

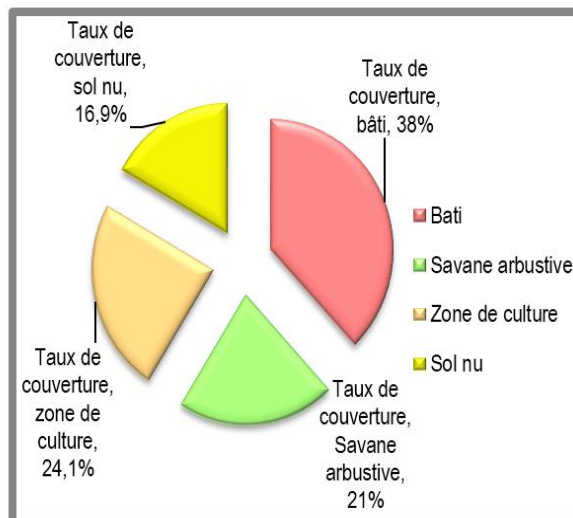


Figure 1b : Diagramme des unités d'occupation du sol de 1972

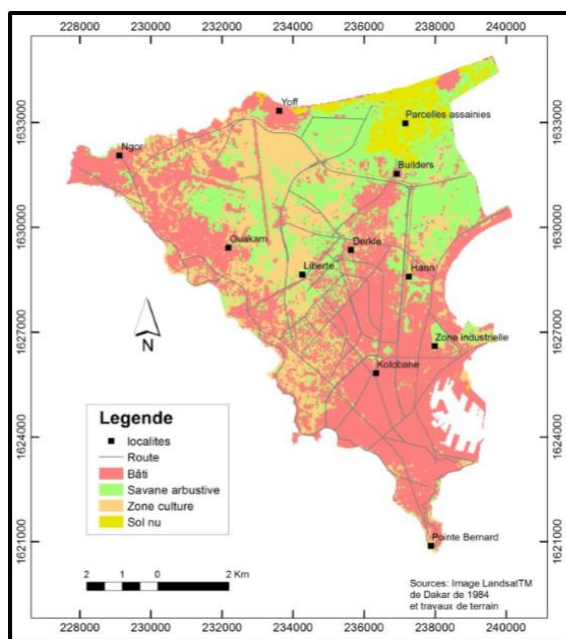


Figure 2a : Carte d'occupation du sol de 1984

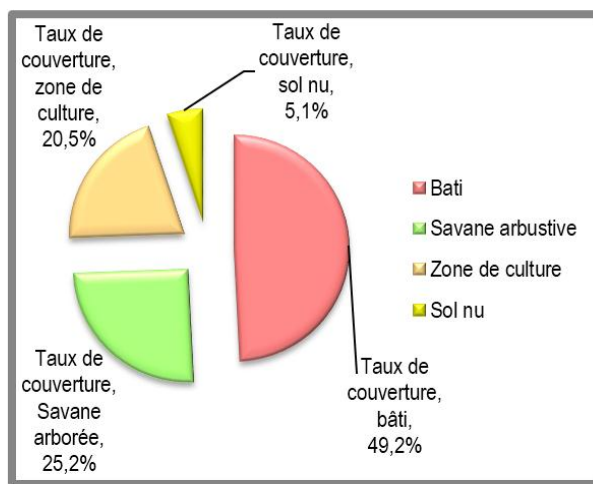


Figure 2b : Diagramme des unités d'occupation du sol de 1984

3-1-2. Changement de l'occupation du sol entre 1984 et 2002

Le **Tableau 3** affiche les superficies des unités d'occupation du sol avec leurs valeurs correspondantes en pourcentage compte tenu de la superficie totale de la zone d'étude. Ces résultats statistiques obtenus à partir des cartes d'occupation du sol, ont permis de faire ressortir les taux d'accroissement des différentes unités d'occupation du sol.

Tableau 3 : Bilan de l'évolution de l'occupation du sol de 1984 à 2002

Unités	Années				Taux d'accroissement	Bilan
	1984		2002			
	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)		
Bâti	3819,852	49,2	5357,754	69	40,261	Progression
Savane arbustive	1956,996	25,2	795,554	10,3	- 59,348	Regression
Zone de culture	1594,138	20,5	1400,169	18	- 12,168	Regression
Sol nu	392,735	5,1	210,244	2,7	- 46,467	Regression
Total	7763,721	100	7763,721	100		

Source : Calculs effectués par l'auteur

Le **Tableau** ci-dessus montre le développement exponentiel du bâti entre 1984 et 2002. La superficie du bâti est passée de 3819,852 Ha en 1984 à 5357,754 Ha en 2002 soit 69 % de la superficie total de l'espace urbain. Les superficies de la savane arbustive, de la zone de culture et du sol nu ont connu une régression respectivement égale à -59,3 %, -12,2 % et -46,5 %. Cela traduit les mutations très fortes que subissent les espaces naturels. Ce phénomène s'explique par l'explosion démographique et les décisions politiques et institutionnelles de cette période. L'exode rural d'abord saisonnier, pendant les années 1960 est devenu définitif au fil des années avec une installation des arrivants au niveau des départements de Pikine Guediawaye et de Dakar qui constituent les principaux centres d'accueil des migrants dans la région [8]. La matrice de transition illustrée par le **Tableau 4**, révèle ces mutations spatiales.

Tableau 4 : Matrice de transition entre 1984 et 2002

2002	Bâti	Savane arbustive	Zone de culture	Sol nu	Total
1984					
Bâti	3023,250	275,675	500,950	19,977	3819,852
Savane arbustive	1186,954	207,090	422,402	140,550	1956,996
Zone de culture	799,443	311,223	474,077	9,395	1594,138
Sol nu	348,107	1,566	2,740	40,322	392,735
Total	5357,754	795,554	1400,169	210,244	7763,721

Source : Calculs effectués par l'auteur

La matrice de transition entre 1984 et 2002 fait ressortir une forte conversion de 1186,95 Ha (soit 60,65 %) de la savane arbustive, 799,44 Ha (soit 50 %) des zones de cultures et 348 Ha (soit 88,64 %) du sol nu en zone bâtie. Ces mutations s'expliquent par la multiplication des cités et le développement de quartiers spontanés dans certaines communes d'arrondissement constituant des endroits peuplés de Dakar tels que Ouakam, Yoff et Grand - Dakar. Pour les cités, on peut signaler entre autres, ASECNA II, III et IV, la Cité Assemblée, Elevage, CESSPI, SIPROS, la Cité de l'Urbanisme. Au sud de Ouakam, on peut noter la Cité Africa, Air France et COMICO. Pour les quartiers spontanés, on note Touba Ouakam, Cité Avion et Taïba Grand-Dakar. On note également un élargissement du réseau routier et une multiplication des infrastructures sur l'étendue de la commune [9]. On constate également la conversion des zones de cultures en zones d'habitation en rapport avec la sécheresse de cette période qui a entraîné l'abandon des parcelles de cultures, de même que la réduction du tapis herbacé. Les changements opérés sont illustrés par les représentations cartographiques ci-dessous (**Figure 3a et Figure 3b**).

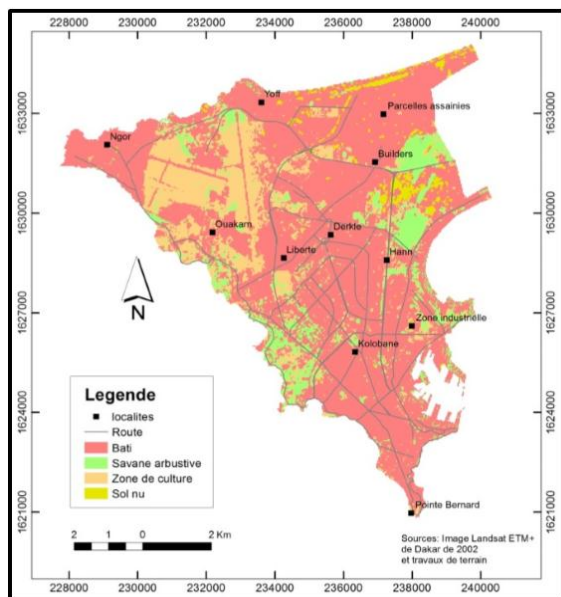


Figure 3a : Carte d'occupation du sol de 2002

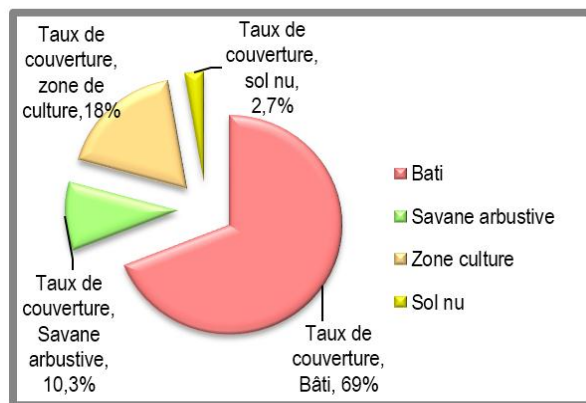


Figure 3b : Diagramme des unités d'occupation du sol de 2002

3-1-3. Changement de l'occupation du sol entre 2002 et 2015

Cette période est marquée par la réduction des espaces bâtis résultant de la rareté des terrains voués à la construction. Le **Tableau 5** ci-dessous, révèle cet état de fait.

Tableau 5 : Bilan de l'évolution de l'occupation du sol de 2002 à 2015

Unités	Années				Taux d'accroissement	Bilan
	2002		2015			
	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)	Superficie en (Ha)	Taux d'occupation (%)		
Bâti	5357,754	69	6581,259	84,8	22,836	Progression
Savane arbustive	795,554	10,3	466,377	6,0	- 41,377	Regression
Zone de culture	1400,169	18	592,379	7,6	- 57,692	Regression
Sol nu	210,244	2,7	123,706	1,6	- 41,161	Regression
Total	7763,721	100	7763,721	100		

Source : Calculs effectués par l'auteur

Le bâti a augmenté de 1223 Ha (22,83 %). Cette augmentation est inférieure à celle de la période 1972 - 1984 (29,51 %) et 1984 - 2002 (40,26 %). Elle est liée à la réduction des espaces constructibles. La dynamique du bâti se fait plutôt au sein des quartiers comme Almadies, Ngor, Yoff et Ouakam où l'on constate des endroits de constructions nouvelles. Ce manque d'espace constructible s'est aussi traduit par l'occupation de zones accidentées comme les mamelles situées à proximité de l'aéroport. Cette extension du bâti est aussi liée à la multiplication des infrastructures routières et immobilières comme l'autoroute Malick Sy-Patte-d'Oie, la zone résidentielle de la corniche Ouest, l'habitat social entre la zone industrielle et la corniche à Grand-Dakar, la viabilisation progressive de la Médina, et divers équipements (écoles, hôpitaux, marché, terrains de sport etc.). La matrice de transition représentée par le **Tableau 6** montre ce phénomène.

Tableau 6 : Matrice de transition entre 2002 et 2015

2015	Bâti	Savane arbustive	Zone de culture	Sol nu	Total
2002					
Bâti	5008,167	10,178	290,475	48,934	5357,754
Savane arbustive	648,283	18,008	108,515	20,748	795,554
Zone de culture	776,027	438,191	185,951	0,000	1400,169
Sol nu	148,782	0,000	7,438	54,024	210,244
Total	6581,259	466,377	592,379	123,706	7763,721

Source : Calculs effectués par l'auteur

La matrice de transition fait ressortir une faiblesse dans la reconversion de certaines unités d'occupation du sol. Ce phénomène concerne notamment la savane arbustive dont 648,283 Ha seulement sont devenus bâti contre 1186,954 Ha entre 1984 et 2002. Cela s'explique d'une part, par le défrichement effréné des zones d'arbuste précédemment effectué ce qui fait qu'il en reste très peu pour les constructions de zones d'habitations et d'autre part, par les chantiers (construction de routes et d'autoroutes à péage, développement de nouvelles cités) établis par les pouvoirs publics. On note une quasi disparition du sol nu du fait de la course pour l'acquisition des terrains de construction qui donne l'image d'une boulimie spatiale insatiable d'une masse humaine en quête d'abri sur un espace réduit. Ces mutations sont révélées par les représentations cartographiques des **Figures 4a et 4b**

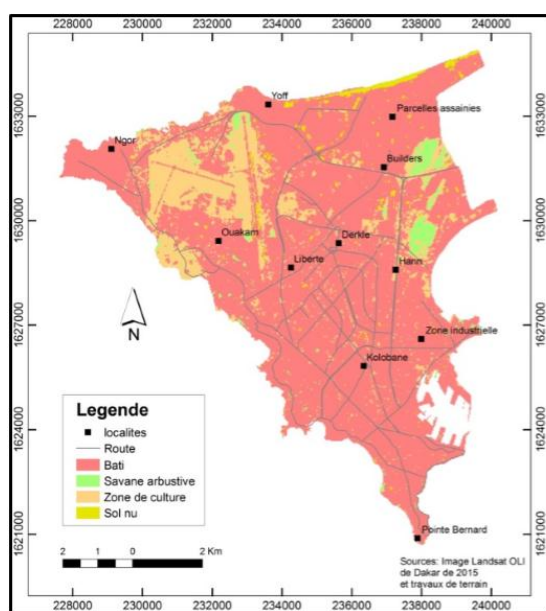


Figure 4a : Carte d'occupation du sol de 2015

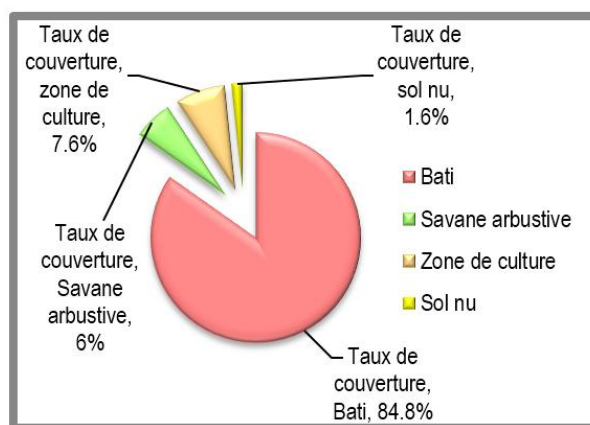


Figure 4b : Diagramme des unités d'occupation du sol de 2015

3-2. Croissance démographique entre 1972 et 2015

Entre 1972 et 2015, la ville de Dakar a connu une forte explosion démographique. La rapide croissance démographique est liée à une forte immigration issue de l'exode rural. La sécheresse des années 1970 - 1980, les situations de crise des années 1990, la dynamique démographique et les politiques de décentralisation,

régionale, foncières et sociales mises en œuvre, de nombreux migrants venus de l'intérieur du pays et de la sous-région ont renforcé ce peuplement. Ainsi, entre 1972 et 1984 la population a connu une augmentation de 228809 habitants (108 %) avec une densité passant de 2725 hbts / km² à 5672 hbts / km² dans la même période. Cette période coïncide avec la crise du monde rural des années 1970, entraînant une importante mobilité de la population, principalement vers Dakar. Entre 1984 et 2002 la population a augmenté de 515543 habitants (117 %) avec une densité accrue en 2002 estimée à 12312 hbts / km² alors que la région de Dakar faisait 4 231 hbts / km². Cela montre le mouvement massif des populations des autres régions vers Dakar mais aussi l'accroissement naturel de la population dakaroise. La période entre 2002 et 2015 est marquée par une augmentation démographique plus modérée de la ville de Dakar égale à 245848 habitants (25,7 %) mais avec une densité toujours forte estimée à 15478 hbts / km². Toutefois, on note depuis quelques années un léger déplacement des populations vers les zones rurales (Rufisque) du fait de l'épuisement des réserves de terres à usage d'habitation dans les zones urbaines et du désenclavement des zones rurales par le développement fulgurant du réseau routier et autoroutier de la région [10]. Le **Tableau 7** et les **Figures 5 et 6** ci-dessous constituent des illustrations de l'évolution et de la densité de la population de Dakar de 1972 à 2015.

Tableau 7 : Évolution de la population de la ville de Dakar de 1972 à 2015

Années	1972	1984	2002	2015
Populations	211545	440354	955897	1201745
Densités	2725	5672	12312	15478

Source : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD)

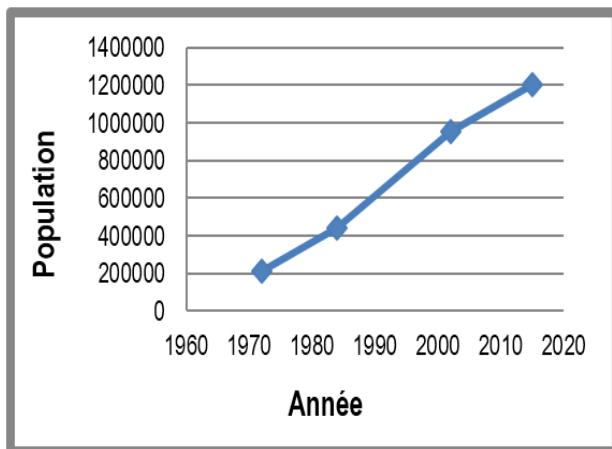


Figure 5 : Évolution de la population de Dakar de 1972 à 2015

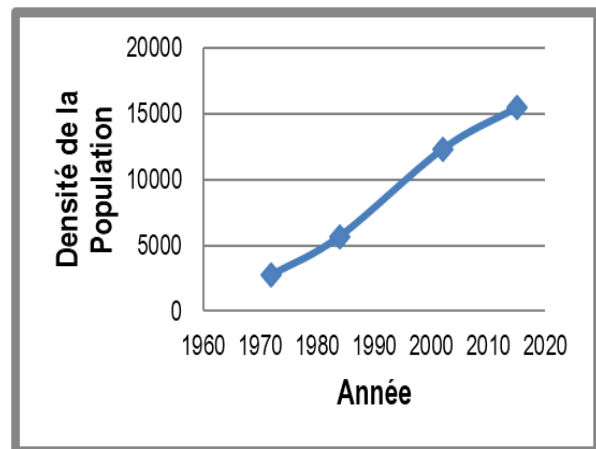


Figure 6 : Densité de la population de Dakar de 1972 à 2015

Source : ANSD, 2015

Parallèlement à l'augmentation de la population, la croissance de la superficie du bâti s'est produite d'une façon exponentielle. La **Figure 7** ci-dessous montre ce phénomène.

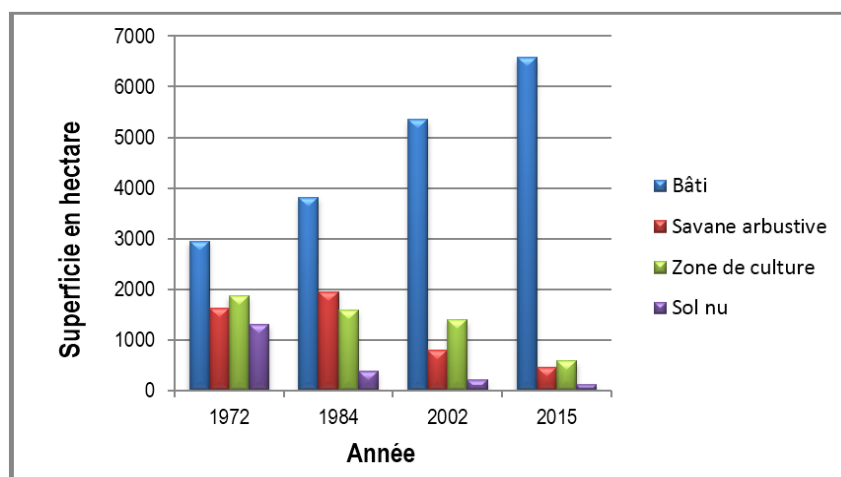


Figure 7 : Évolution des superficies des unités d'occupation du sol

Source : Calculs effectués par l'auteur

La **Figure** ci-dessus fait ressortir la tyrannie du bâti sur toutes les autres unités d'occupation du sol. À part la savane arbustive qui a connu une légère progression entre 1972 et 1984 du fait de la destruction massive de la petite forêt claire aux abords de l'aéroport et dans la zone des Niayes, toutes les autres unités ont subi une dégradation continue.

3-3. Prédiction de l'occupation du sol de Dakar en 2035

3-3-1. Matrice de probabilité de transition entre 2015 et 2035

La probabilité de transition des unités d'occupation du sol est calculée par pixel, puisque le modèle de probabilité de transition du logiciel Idrisi se passe pixel par pixel. Cette probabilité de transition renseigne sur les éventualités de changement ou de conversion des unités d'occupation du sol. La matrice de probabilité de transition est un fichier texte qui enregistre le nombre de pixels qui devraient changer d'un type d'occupation du sol à un autre type d'occupation du sol au cours de la période de vingt (20) ans considérée. Les lignes représentent les anciennes catégories d'occupation du sol et les colonnes représentent les catégories les plus récentes (**Tableau 8**).

Tableau 8 : Matrice de probabilité de transition

2035	Bâti	Savane arbustive	Zone de culture	Sol nu
2015				
Bâti	0,8745	0,005	0,1117	0,0054
Savane arbustive	0,7116	0,1037	0,1663	0,0184
Zone de culture	0,6222	0,0374	0,3321	0,0045
Sol nu	0,8748	0,0047	0,0073	0,1081

Source : Calculs effectués par l'auteur

Les valeurs du **Tableau 8** indiquent les probabilités de changement d'une catégorie à une autre et au sein d'une même catégorie. L'examen du tableau montre que parmi les unités d'occupation du sol de la ville, la probabilité de changement du bâti est la plus forte soit 0,8745. Pratiquement, toutes les autres unités d'occupation du sol contribuent grandement à l'expansion de la zone bâtie : Savane arbustive (0,71), Zone de culture (0,62) et Sol nu (0,87).

3-3-2. Occupation du sol de Dakar en 2035

La **Figure 7a** ci-dessous représente la carte d'occupation du sol projetée de la ville de Dakar en 2035.

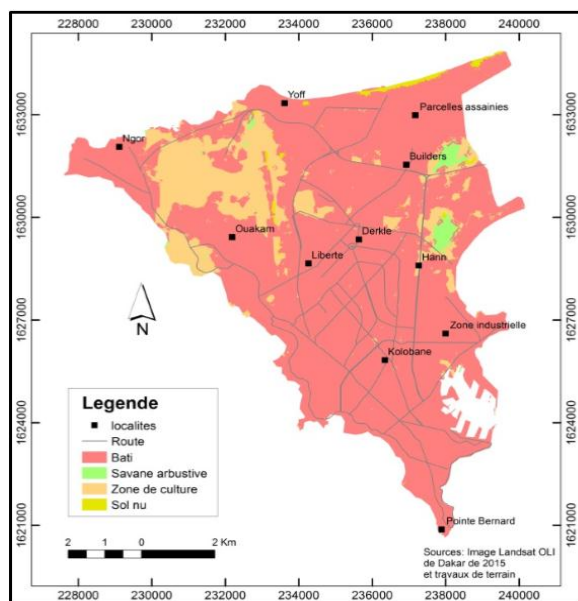


Figure 7a : Carte d'occupation du sol projetée en 2035

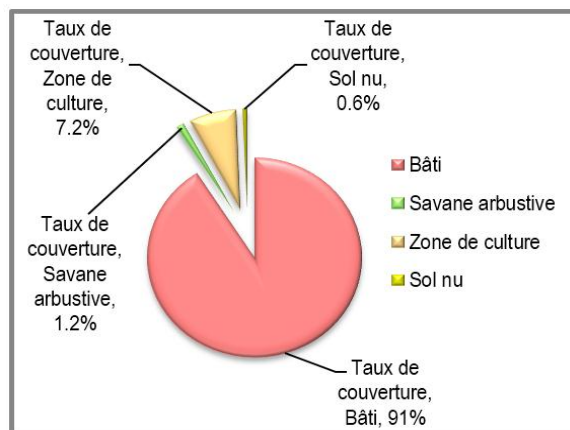


Figure 7b : Diagramme des unités d'occupation du sol projeté en 2035

Les **Figures 7a et 7b** montrent une véritable saturation de la zone bâtie à Dakar à l'horizon 2035 et une quasi disparition des milieux naturels. La proportion du bâti (91 %) s'est presque stabilisée comparée à celle de 2015 égale à 84 %. Il ne restera pratiquement plus de poche constructible si les tendances évolutives se maintiennent.

4. Discussion

4-1. Dynamique spatiale de la ville de Dakar entre 1972 et 2015

La présente étude a permis de mettre en exergue la capacité des images satellitaires Landsat dans l'étude du processus spatio-temporelle des grandes villes. En effet, quatre images de différents capteurs (MSS, TM, ETM+ et OLI) et de différentes dates (1972, 1984, 2002 et 2015) ont été améliorées et classifiées par l'algorithme de classification supervisée. De ces différentes classifications, les états d'occupation du sol aux différentes dates ont pu être cartographiés de façon satisfaisante. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de [11] qui ont mené une étude de changement de l'occupation du sol à l'aide des images Landsat et SPOT dans le champ volcanique de la Sierra Chichinautzin au Mexique. D'autre part, l'étude a montré que la ville de Dakar, en tant qu'entité complexe et soumise sans cesse à de nombreux défis de l'urbanisation, est au cœur d'une gestion en évolution continue et pour laquelle les outils de la télédétection et du SIG se révèlent très utiles. Le même phénomène est identifié par [3] dans une étude similaire sur la ville de Pondichéry en Inde. Le suivi de l'extension des milieux urbains et périurbains permet d'aider à la prise de décision dans le cadre d'opérations d'aménagement du territoire. Pour ce faire, la détermination des unités d'occupation du sol et l'identification des changements au sein de ces unités à travers les images de télédétection [12, 13] permettent de mettre en évidence le processus de l'étalement urbain et périurbain. De la télédétection au système d'information géographique, les différentes cartes d'occupation du sol ont été

croisées pour déterminer les occurrences de transitions entre unités d'occupation du sol sur les différentes périodes. La même méthode a été adoptée par les Auteurs des références [14 - 17] qui ont utilisé des logiciels d'Information Géographique et des images aériennes et satellitaires, pour identifier les différentes classes d'occupation du sol, et montrer leur évolution à travers une étude diachronique. Leurs résultats, montrant une artificialisation des milieux naturels (forêts, Niayes, etc.) et des milieux agricoles, confirment ceux de cette présente étude. Selon [15], ces changements essentiellement dus à l'avancée du front d'urbanisation, posent des problèmes environnementaux et sociaux dont l'Auteur de [16] a constaté à travers un important mouvement de spéculation foncière dans la zone urbaine de Dakar. L'identification des changements futurs dans l'espace urbain de Dakar a révélé un avenir sombre pour les activités maraichères. La diminution des terres cultivées a déjà entraîné une remise en question des capacités de la production dans l'agriculture maraichère. Cette situation confirme les résultats de [18] qui a effectué une projection des unités d'occupation du sol de la ville d'Ibadan sur une période de vingt ans et qui a trouvé une quasi disparition des terres cultivées. Cela a eu comme résultante la diminution des rendements et la faiblesse du pouvoir d'achat des acteurs du secteur.

4-2. Effet de l'évolution démographique sur la croissance spatiale

L'explosion démographique de Dakar a fait subir de très fortes mutations aux espaces naturels. De 211545 habitants en 1972 la population de Dakar est passée à 1201745 habitants en 2015 soit un accroissement de 468 %. Dans la même période la zone bâtie est passée de 2949.46 hectares à 6581.26 hectares soit un accroissement de 123 %. Cela montre une forte demande foncière dans un espace réduit créant ainsi une forte pression sur les espaces naturels et une densification des surfaces bâties. Ce phénomène décelé dans cette étude renforce les résultats de [19] qui, à travers son étude intitulée «Croissance démographique et modes d'insertion des populations dans le tissu urbain de Bamako» a montré la densification de la surface bâtie et l'évolution de la taille des parcelles dans les lotissements. Le besoin en zone d'habitation a entraîné la reconversion de vastes espaces cultivables qui ont été utilisés pour la construction. Ce résultat est en concordance avec celui de [20] qui ont étudié la dynamique de l'occupation du sol et ont montré l'expansion effrénée de la zone bâtie dans la ville de Benin, capitale de l'état d'Edo au Nigeria en utilisant les images Landsat de 1987 à 2008.

5. Conclusion

La présente étude a permis, grâce à la classification et aux matrices de transition, de quantifier les changements opérés dans la ville de Dakar. Des changements ont été identifiés dans leur état passé et présent. A l'aide de la télédétection et du SIG, des analyses comparatives ont été effectuées en tenant compte des différentes unités d'occupation du sol. L'analyse révèle une dégradation des espaces naturels et une progression fulgurante du bâti. Ceci a été mis en évidence à travers les cartes de l'occupation du sol de la ville de Dakar. Ces changements sont dus à la croissance démographique qui a conduit les populations à satisfaire leurs besoins en habitations, en infrastructures et en équipements de base au détriment des écosystèmes de la ville. On assiste à une urbanisation galopante dans la ville de Dakar. L'utilisation des images satellitaires multi-temporelles de Landsat aide grandement à l'observation des changements de l'occupation du sol. L'étude montre concrètement les atouts opérationnels offerts par le traitement des images satellitaires couplé avec l'utilisation du SIG dans l'analyse de la dynamique spatiale des milieux urbains. Le Système d'Information Géographique permet de suivre l'évolution spatiale, en identifiant les tendances actuelles et futures de l'occupation du sol dans l'espace urbain de Dakar. La télédétection et le SIG constituent donc des outils efficaces de gestion de l'espace urbain.

Références

- [1] - BAFD, OCDE et PNUD, Perspectives économiques en Afrique : Villes durables et transformation structurelle, Paris, (2016) 434 p.
- [2] - C. MBOW, Goe Ville région de Dakar. Institut Africain de Gestion Urbaine, Dakar, (2008) 159 p.
- [3] - E. KIEFFER et A. SERRADJ, La télédétection au service des études urbaines : Expansion de la ville de Pondichéry entre 1973 et 2009. *Géomatique expert*, 95 (2013) 69 p.
- [4] - F. BENDRAOUA, A. BEDIDI et B. CERVELLE, Dynamique spatio-temporelle de l'agglomération oranaise (Algérie) par Télédétection et SIG, CFC, N° 209 (2011) 103 - 113
- [5] - M. KUFFER, K. PFEFFER and R. SLIUZAS, Slums from Space - 15 Years of Slum Mapping Using Remote Sensing, *Remote Sens.*, 8, 455 (2016) 1 - 29
- [6] - A. DIOP, Dynamique de l'occupation des sols des Niayes de la Région de Dakar de 1954 à 2003 : exemples de la Grande Niaye de Pikine et de la Niaye de Yeumbeul. institut des Sciences de l'Environnement. Dakar, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, (2005) 92 p.
- [7] - MUAT, Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar Horizon 2025 - Rapport de Présentation., Ministère de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire, (2007) 158 p.
- [8] - Conseil Régional Dakar : Avant projet Schéma Régional d'Aménagement du territoire de la région de Dakar. Dakar, Région de Dakar, Agence de Développement Municipal, (2004) 112 p.
- [9] - M. L. N'DIAYE, Dynamique de l'occupation du sol de la région de Dakar de 1954 à 2009 : exemple de la commune d'arrondissement de Ouakam approche méthodologique par SIG, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des lettres et sciences humaines. Mémoire de master II, (2012) 134 p.
- [10] - ANSD, Situation économique et sociale régionale de Dakar, SRSD de Dakar, (2013) 129 p.
- [11] - C. NOYOLA-MEDRANO, C. MERING, B. ROJAS & A. MARCO, Evaluation du changement de l'occupation du sol à l'aide des images landsat et spot : Champ volcanique de lasierra chichinautzin (mexique). *Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica*, (2009) 12 p.
- [12] - F. GUERRA, W. TORRES, J. A. PEREZET & A. M. MARTINEZ, Apport de deux images MSS et TM de Landsat au suivi cartographique des dynamiques spatiales récentes des milieux périurbains dans le bassin du lac de Valencia (Venezuela). Télédétection des milieux urbains et périurbains. Ed. AUPELF - UREF, (1997) 307 - 314 p.
- [13] - S. GADAL, J. P. GILG, & I. BIRAUD, Caractérisation des zones urbaines par télédétection spatiale. Ecole des hautes études en sciences sociales, (2000) 14 p.
- [14] - CSE, Dynamique de l'occupation du sol dans la région de Dakar. Evolution des zones agricoles urbaines et périurbaines, (2004) 31 p.
- [15] - A. DIOP, Dynamique de l'occupation du sol des Niayes de la région de Dakar de 1954 à 2003 : Exemple de la Grande Niaye de Pikine et de la Niaye de Yeumbeul, Mémoire DEA, ISE, (2006) 83 p.
- [16] - O. THIAM, L'axe Dakar-Touba (Sénégal) : analyse spatiale d'un corridor urbain émergent. Géographie. Université d'Avignon, (2008) 309 p.
- [17] - A. S. GONDA, Cartographie de la dynamique de l'occupation des sols et de l'érosion dans la ville de Niamey et sa périphérie, UAMN, Maîtrise de Géographie, (2010)
- [18] - O. O. FABIYI, Urban Land Use Change Analysis of a Traditional City from Remote Sensing Data : The Case of Ibadan Metropolitan Area, Nigeria. *Humanity & Social Sciences Journal*, 1 (1) (2006) 42 - 64
- [19] - B. DIARRA, Croissance démographique et modes d'insertion des populations dans le tissu urbain de Bamako. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2, 13 (2015)
- [20] - A. M. OLAYIWOLA et O. E IGBAVBOA, Land Use Dynamics and Expansion of the Built-Up Area in Benin City, Nigeria. *Mediterranean Journal of Social Sciences MCSER Publishing, Rome-Italy*, Vol. 5, N° 20 September (2014) 11 p.