

Détermination de scénario d'occupation du sol dans le contexte du changement climatique dans le bassin versant du fleuve Sénégal

Awa Niang Fall¹, Abdoulaye FATY¹, Mbayang Thiam¹, Alioune KANE¹, Marco Pastori²

, Cesar Carmona²

¹ Université Cheikh Anta Diop de Dakar – BP 5005 – Dakar SENEGAL

² GFT Italia, External consultant for the Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy;

abdoulaye.faty@ucad.edu.sn

Résumé

Dans le bassin versant du fleuve Sénégal, l'occupation des terres connaît une dynamique importante du fait des activités humaines intenses mettant l'écosystème en équilibre précaire. L'objectif de cette étude est de quantifier la dynamique paysagère et d'explorer les futurs possibles de l'occupation des terres à partir des outils de télédétection, de SIG et de la modélisation spatio-temporelle. Les données socio-économiques et images Modis –Terra (2007, 2014 et 2019) ont été utilisées. Une classification multi-date a permis de quantifier les changements d'occupation des terres. Le modèle Land Change Modeler (LCM) a permis de simuler et de faire des projections jusqu'à l'horizon 2030 de l'occupation des terres du bassin versant du fleuve Sénégal. Il ressort des résultats qu'entre 2007 et 2019, une régression sensible des formations végétales naturelles (des plans d'eau et forêts et savanes arborées) et une progression des formations anthropiques (mosaïques de cultures et de jachères) pour la même période. Les trois scénarii Business-As-Usual (BAU), Croissance Economique Rapide (CER) et Durabilité Environnementale Coordinnée (DEC), extrapolant les tendances actuelles, montrent qu'à l'horizon 2030 (horizon ODD) ce paysage sera dominé par les mosaïques de cultures et jachères environ 18%. Les ressources ligneuses occupent 32, 13% de la superficie du secteur dans le scénario DEC, 31,2 % dans le scénario BAU et 31,4 % dans le scénario CER. Le scénario DEC donne l'espoir que la restauration et la préservation des ressources végétales est encore possible si les décideurs en prennent conscience.

Mots clés : Scénario d'occupation du sol – changement climatique – modélisation spatio-temporelle – Restauration - Préservation des ressources végétales

Introduction

Le contexte Nexus explique que la terre connaisse de profondes mutations spatiales. En Afrique de l'ouest et particulièrement l'hydrosystème du bassin versant du fleuve Sénégal, ces mutations spatiales se traduisent par la dégradation du couvert végétal qui se dégrade de jour en jour. Elles sont des écosystèmes fragiles reposant sur la coexistence entre une strate herbacée et une strate ligneuse [1]. Ces ressources subissent de fortes pressions anthropiques du fait de l'explosion démographique, l'implantation de barrages hydro-électriques et d'un système cultural purement extensif dans le bassin versant du fleuve Sénégal.

L'extension accrue des aires de cultures (agrobusiness dans la vallée et le delta), l'abattage excessif du bois et des agglomérations engendre une réduction progressive de l'étendue des surfaces boisées [2] et une déstabilisation de la structure des sols [3]. La rotation des cultures et la jachère ont aussi des perturbations majeures sur ces systèmes écologiques [4] en équilibre précaire. Les changements d'usage des terres ont ainsi des répercussions directes sur l'occupation des terres et sur la configuration du paysage de ce milieu [5]. Ce changement de la configuration du paysage dépend de l'intensité et/ ou la durée des facteurs de pression.

Ainsi, la végétation est particulièrement sensible aux dynamiques de la composante anthropique, notamment l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation du bois et l'urbanisation croissante [6] observées dans ce milieu. Face à cette dégradation continue du couvert végétal, on se demande quel est l'avenir du paysage du bassin du fleuve Sénégal ?

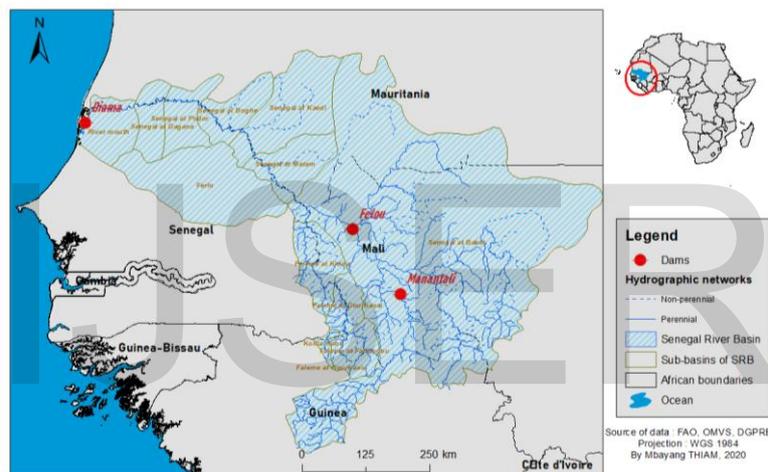
Depuis quelques décennies, la modélisation et la projection de changement d'occupation des terres s'impose comme outil pertinent d'aide à la décision. Elle permet d'analyser les politiques de planification territoriale dans le but d'évaluer et d'anticiper leurs impacts environnementaux [7]. L'originalité de cette recherche réside dans le fait que la modélisation de la dynamique de l'occupation des terres permettra de suivre la tendance évolutive du paysage et de trouver des règles acceptables pour préserver les ressources naturelles, notamment les ressources ligneuses de ce milieu.

II. Données et méthodes

II.1. Description de la zone d'étude

Le bassin versant du fleuve Sénégal est situé dans la partie ouest de l'Afrique entre les latitudes 10°30' et 17°30' et les longitudes 7°30' et 16°30'. D'une superficie d'environ 325 000 km², il est drainé par un fleuve long de 1 800 km qui est subdivisé en trois grandes parties : le haut bassin (du Fouta Djallon à Bakel), la vallée (de Bakel à Dagana) et le Delta (de Dagana à Saint-Louis). Il est partagé par quatre états riverains (Guinée, Mali, Mauritanie et Sénégal).

Le bassin du fleuve Sénégal est réparti en quatre domaines climatiques (domaine guinéen ; soudanien ; subsoudanien et sahélien). Chaque domaine climatique présente les caractéristiques physiques particulières.



Carte 1: Présentation générale du bassin versant du fleuve Sénégal

II.2. Données et matériels

Dans le cadre de cette étude, les données utilisées pour déterminer la dynamique de l'occupation des terres sont essentiellement des images satellitaires Modis Terra du 23 janvier 2007, du 04 février 2014 et du 07 janvier 2019 de 250 m de résolution. Ces images ont été téléchargées gratuitement sur le site de modis Terra sur un enregistrement de 16 jours.

L'image SRTM de 2007 (résolution 90 m) a été utilisée pour la réalisation des Modèles Numériques de Terrain pour déterminer la carte d'altitude et pente). Les cartes topographiques et fond de carte de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) ont été également utilisés dans cette étude.

Compte tenu de l'étendue de la zone d'étude, le logiciel BaseCamp combiné avec les connaissances du terrain et quelques coordonnées GPS (Global Positioning System) ont été utilisés pour localiser la position des différents points de contrôle terrain. A ces données spatiales s'ajoutent quelques données socio-économiques (densité, superficies emblavées, pédologie, etc.) collectées auprès de l'Organisation pour la Mise en valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) et indispensables pour la simulation de l'occupation des terres. Le logiciel Terrset à travers son outil Land Change Modeler (LCM) a été utilisé pour la simulation de l'occupation des terres à l'horizon 2030.

II. 3. Méthodes

✓ Dynamique de l'occupation des terres

Le logiciel Terrset a permis de réaliser trois cartes d'occupation des terres à partir des images satellitaires de 2007, 2014 et 2019. Dans ce présent article, les auteurs n'ont présenté que les tableaux statistiques d'occupation du sol issus du traitement des variables spatiales. Les bandes spectrales donnent des informations sur le couvert végétal. Elles ont été superposées par synthèse additive des couleurs primaires du visible. Ainsi la composition colorée en fausses couleurs avec la combinaison de 36 bandes ont été utilisées. Compte tenu de l'étendu de la zone d'étude, la méthode de classification supervisée selon l'algorithme du maximum de vraisemblance a été utilisée. La classification établie ainsi que les couleurs de représentation de chaque catégorie d'occupation des terres ont été adaptées de la nomenclature Corine Land Cover (CLC). En tout 150 points GPS sur une image BaseCamp ont été collectés le long de trois (03) transects, soit de 50 points par transect. Il s'agit d'un transect dans la zone à végétation développée (le domaine guinéen), un autre dans la zone à végétation moyennement dégradée (le domaine soudanien) et un dernier dans la zone à végétation très dégradée (le domaine sahélien). L'indice de Kappa a également permis de valider les classifications. Les cartes d'occupation des terres réalisées ont fourni les données de base pour l'analyse et la quantification du paysage. Les différents indices suivants ont été calculés pour mieux apprécier la dynamique observée :

✓ Calcul du taux d'évolution

La dynamique de chaque catégorie d'occupation sera appréciée en calculant le taux d'évolution $E_{(i,k)}$ des superficies d'occupation des terres de la façon suivante :

Soit S_i la superficie d'une catégorie d'occupation des terres de l'année i et S_k , celle d'une catégorie d'occupation des terres de l'année k , avec $k > i$. $E_{(i,k)}$ sera égale à :

$$E_{(i,k)} = \frac{S_k - S_i}{S_i} \times 100$$

Si $E_{(i,k)} = 0$, on conclut qu'il y a stabilité de cette catégorie d'occupation des terres ;

Si $E_{(i,k)} < 0$, on conclut qu'il y a régression de cette catégorie ;

Si $E_{(i,k)} > 0$, il y a extension ou évolution de cette catégorie.

✓ Simulation de l'occupation des terres

Le modèle de prédiction utilisé ici est Land Change Modeler (LCM) implémenté dans le logiciel Terrset (ex Idrisi). Ce modèle s'appuie sur les connaissances passées et actuelles de l'occupation des terres pour prédire le futur. Plusieurs facteurs influençant les changements d'occupation des terres ont été intégrés dans ce modèle. Il s'agit de la pente, l'altitude, la pédologie, la distance aux champs, la distance aux plantations, la densité. L'indice V de Cramer a été calculé pour chaque facteur explicatif et a permis de retenir ceux qui contribuent le mieux à la mise en place de chaque catégorie d'occupation des terres. Les variables explicatives utilisées ici sont de deux types : dynamiques et statiques. Les variables statiques (altitude, pente, pédologie) traduisent l'aptitude pour chaque transition prise en considération et restent stables au cours du temps. Les variables dynamiques (proximité aux routes, proximité aux types d'occupation des terres déjà existants) sont recalculées à chaque pas de temps durant le processus de prédiction. La réalisation de la carte de changement de 2007-2019 a permis d'identifier les transitions majeures et de les regrouper en sous-modèles.

Les tableaux de prédiction ont été élaborés par le réseau de neurones multicouches à partir de l'algorithme de classification des types d'occupations du sol du bassin du fleuve Sénégal. Ceux-ci assignent à chaque pixel une catégorie de détérioration à l'aide du processus de décision multi-objectif (MOLA). Pour attribuer la quantité de changement, l'algorithme s'appuie sur la matrice de probabilité de transition 2019-2030 générée. Deux types de tableaux ont été générés à la sortie du modèle : un tableau de simulation dite « hard », qui alloue à chaque pixel du tableau un type d'occupation des terres et un seul, et un résultat de simulation dit « soft », qui associe à chaque pixel une valeur d'intensité de changement au cours du temps, une sorte de propension générale au changement d'occupation des terres quelle qu'en soit la nature. Cette propension est calculée par cumul des probabilités de changement à chaque pas de la simulation.

✓ Description des différents scénarios prospectifs

Trois scénarios ont été élaborés pour prédire les tendances actuelles de changement et d'utilisation des sols afin de faciliter les prises de décisions. Il s'agit de :

Scénario 1 : Business As Usual (BAU) extrapolant les tendances actuelles en 2030

Le scénario BAU est un scénario tendanciel qui part de l'hypothèse de l'absence de nouvelles politiques économiques ou environnementales. C'est un scénario dans lequel les futures distributions et d'utilisation des terres suivent les tendances observées dans le passé. Il se base sur les données socioéconomiques passées récentes (2007-2019), par exemple, la croissance économique et démographique. Le secteur n'attire pas l'arrivée de nouveaux habitants qui pourraient éventuellement perturber le système en place. Du coup, la demande en superficie à emblaver et la demande en bois de chauffage resteront dans une dynamique similaire à celle observée au cours de la période 2007-2019.

Scénario 2 : Durabilité Environnementale Coordonnée (DEC) 2030

Le principal objectif du scénario DEC est de protéger le reste des ressources végétales encore en place. Dans ce scénario, les Etats membres de l'OMVS encouragent la foresterie et la restauration des berges comme préconiser dans le SDAGE. C'est un scénario dans lequel la législation et les subventions gouvernementales encouragent l'émergence de la sylviculture (multiplication des plantations et de l'agroforesterie) et la protection des ressources ligneuses en subventionnant le prix du gaz pour qu'il soit accessible à tous les ménages ou en créant des plantations pour bois de feu à exploiter par les populations (mécanismes de transformation du typha en charbon). Dans ce scénario les probabilités pour les savanes arborées et arbustives à se transformer en mosaïques de cultures en 2030 ont été modifiées à la hausse dans la matrice de transition. Tandis que celles des forêts denses, forêts claires et savanes boisées à se transformer en catégories plus dégradées (pauvres en ressources ligneuses) en 2030 ont été réduites de façon à protéger (favoriser la persistance) le couvert végétal arboré et arbustif encore présent. Aussi, les probabilités de transformation des savanes arborées et arbustives et des mosaïques de cultures et jachères à se transformer en plantations en 2030 ont été augmentées de façon à favoriser la sylviculture et le développement de l'agroforesterie.

Scénario 3 : Croissance Economique Rapide (CER) 2030 : Le scénario CER est un scénario socio-économique, c'est-à-dire d'accélération de la destruction du couvert végétal arboré et arbustif et d'élargissement des terres agricoles (tendance à la catastrophe). Dans ce scénario, la croissance démographique et économique sera très élevée et se soldant par une dégradation accrue de l'environnement. C'est un scénario pessimiste, mais très probable dans ce milieu d'étude où il n'y a actuellement aucune politique de gestion durable des ressources naturelles. C'est un scénario dans lequel seules les superficies des mosaïques de cultures et jachères et les agglomérations ont été augmentées de façon considérable. Du coup, les probabilités de transformation des savanes arborées et arbustives en forêts denses et forêts claires et savanes boisées ont été baissées. Tandis que les probabilités des savanes arborées et arbustives, des forêts denses et forêts claires et savanes boisées à se transformer en mosaïques de cultures et jachères ont été augmentées.

III. Résultats

III.1. Dynamique de l'occupation des terres en 2007-2014 et 2014-2019

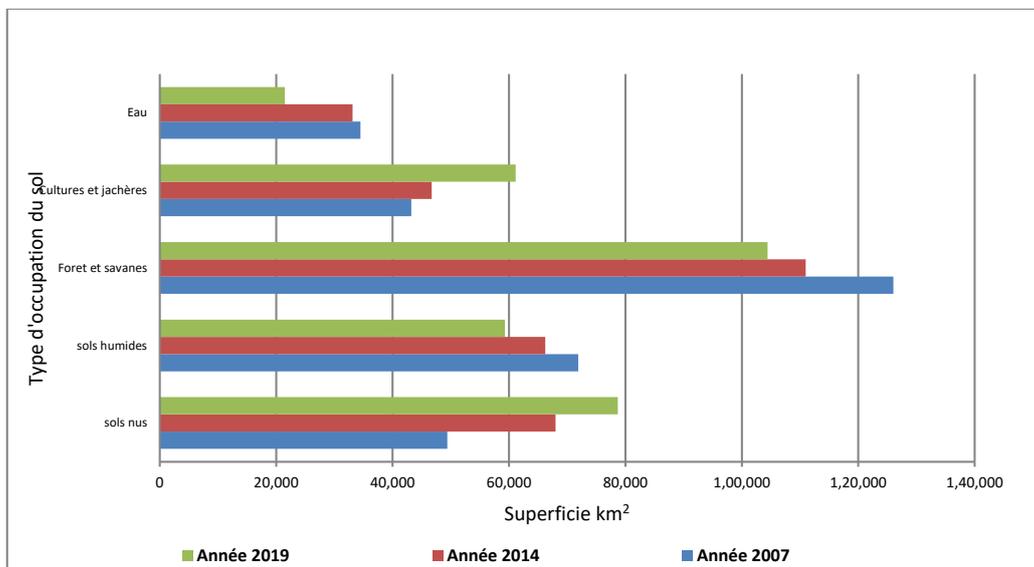
L'analyse des cartes d'occupations des terres de 2007, 2014 et 2019 à travers le tableau de synthèse ont permis de constater une différence dans la dynamique observée au cours des deux périodes 2007-2014 et 2014-2019. Le tableau des types d'occupation du sol présente une synthèse statistique issue de l'analyse diachronique (tableau 1).

Tableau 1 : Evolution des statistiques d’occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Sénégal (2007 à 2019)

Catégories d’occupations du sol	Superficies en 2007		Superficies en 2014		Superficie en 2019		Différences (%)	
	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	2007-2014	2014-2019
sols nus	15	49 400	22	67 990	24	78679	7,0	2
sols humides	22	71 880	20	66232	18	59 287	-2,0	-2
Forêt et savane	39	126 040	34	110 958	31,2	101 411	-5,0	-2
Cultures et jachères	13	43 200	15	46 710	18	60 130	2,0	3
Eau	11	34 480	9	33 110	6	21492	-2,0	-3
Coef Kappa		0,80		0,78		0,87		
Total	100	325 000	100	325 000	100	325 000		

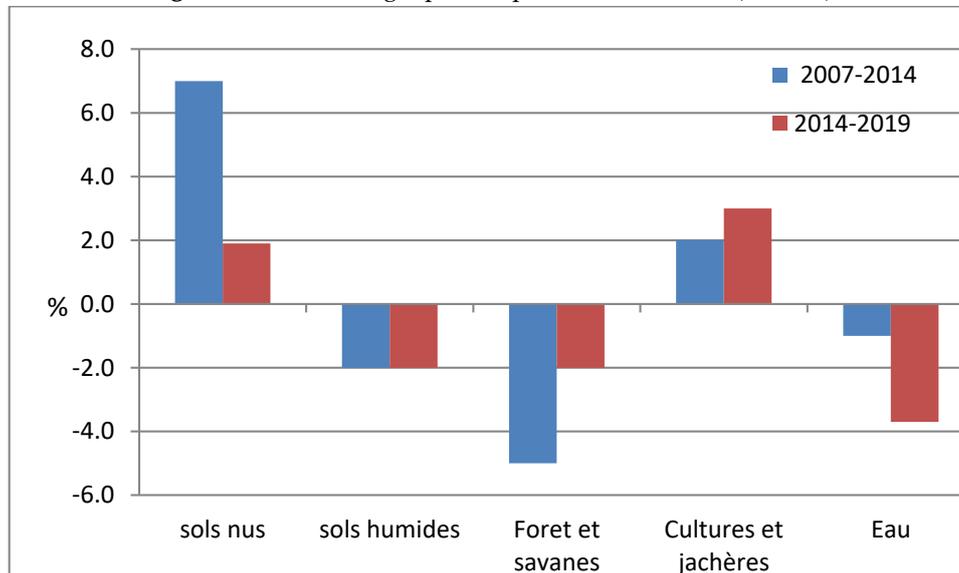
L’examen du tableau 1 permet de constater que l’indice de Kappa issu du traitement des indicateurs d’occupation du sol pour chacune des trois classifications est supérieur à 75 % (seuil recommandé). Ceci montre que ces types d’occupation des terres sont acceptables et se résument sur la figure 1. Dans le contexte du changement climatique, nous constatons que les classes de forêt, savanes ; les zones humides et les superficies d’eau ont tendance à baisser au même moment que les sols nus et les cultures et jachères augmentent.

Figure 1 : Evolution des types d’occupation du sol dans le bassin du fleuve Sénégal



En ce qui concerne la dynamique d’occupation des terres, les forêts et savanes ont connu une régression de 5 % au cours de la période 2007-2014 contre 2 % pour la période 2014-2019. Les sols nus et les cultures et jachères, ont connu respectivement une progression de 7 % ; 2 % au cours de la période 2007-2014 contre respectivement 2 % ; 3 % au cours de la période 2014 – 2019. La figure 2 présente le LUCC budget (Land-Use and Land Cover Change) calculé pour les deux périodes 2007-2014 et 2014-2019.

Figure 1 : LUCC budget pour la période 2007 - 2014 (en Km²)



Il ressort des LUCC budget (2007 - 2014 et 2014-2019) que les formations végétales naturelles comme les savanes arborées et arbustives, les forêts denses, forêts claires et savanes boisées ont perdu des superficies au profit des mosaïques de cultures et jachères, plantations et agglomérations.

Globalement, on peut retenir que de 2007 à 2014, les formations végétales naturelles (forêts denses, forêts claires et savanes boisées) ont régressé au profit des formations anthropiques (mosaïques de cultures et jachères, agglomérations, plantations et sols nus). Ces mutations spatiales qui s'expliquent par plusieurs raisons dont l'évolution démographique ne sont pas de nature à faciliter les simulations. En effet, on observe une dynamique très différente entre les deux périodes.

III.2. Mise en œuvre de la simulation prospective de l'occupation des terres

La combinaison de la matrice de transition adaptée aux différents scénarii Business As Usual, DEC et CER avec les cartes de potentiel de transition et les facteurs explicatifs a permis d'obtenir les tableaux de prédiction 2030 (tableau 2) et les statistiques relatives à la superficie des catégories d'occupation des terres (tableau 2).

Tableau 2 : Evolution des statistiques d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Sénégal (2030)

Catégories	occupation sol 2019		Scenario BAU		Scenario CER		Scenario DEC	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
sols nus	78679	24,21	78679	24,2	79348	27,0	87679	24,4
sols humides	59 287	18,24	59 287	18,2	59 725	18,4	56 287	17,3
Forêt et savanes	101 411	31,2	101 411	31,2	103 382	31,4	104 411	32,13
Cultures et jachères	60 130	18,5	60 130	18,8	60 054	18,5	61 131	18,81
Eau	21492	6,61	21492	6,6	20491	6,3	19492	6,0
Total	325 000	100	325 000	100	325 000	100	325 000	100

Coef Kappa	0,87	0,87	0,89	0,79
------------	------	------	------	------

A la lecture du tableau 2, il ressort que dans le scénario « Business-As-Usual (BAU) » (scénario de référence), les superficies des forêts et les savanes sont statiques par rapport à l'année de référence 2019. La superficie des plantations, des mosaïques de cultures et jachères et des agglomérations vont augmenter respectivement de 0,3 % par rapport aux deux autres scénarios. Les superficies des forêts denses, des forêts claires et savanes boisées et des savanes arborées et arbustives vont considérablement transformées en mosaïques de cultures et jachères. Ainsi, la conversion de ces terres en terres cultivées devrait se produire principalement dans les parties moins accidentées autour de la réserve du Baoulé.

Dans le scénario de croissance économique rapide (CER), les mosaïques de cultures et jachères vont évoluer de façon considérable (exagérée) de 0,3 % de la superficie d'occupation de référence. La conséquence est une régression plus accentuée des formations végétales naturelles que celle observée au niveau des scénarios BAU et DEC.

Dans le scénario de durabilité environnementale coordonnée (DEC), nous avons supposé que l'utilisation du sol est réglementée par une politique de protection de l'environnement au cours de la période 2019-2030. Les forêts denses et les savanes arborées et arbustives ont régressé respectivement de seulement de -0,27 % par rapport à la référence 2019. Les mosaïques de cultures et jachères augmenteront respectivement de 0,31 %. L'expansion de la superficie de forêts claires et savanes boisées proviendrait principalement des savanes arborées et arbustives.

Dans ce scénario durabilité environnementale coordonnée (DEC), la zone de forêts et savanes a augmenté de manière significative (1,61 %) par rapport au scénario de référence. Ceci témoigne que la politique de protection de l'environnement jouerait un rôle positif dans la conservation des ressources végétales naturelles. De plus, cette politique a encouragé à la fois l'agriculture et une augmentation de la zone sylvicole.

Dans ces trois scénarii, la superficie augmentée au niveau des plantations proviendrait majoritairement des savanes arborée et arbustives et des mosaïques de cultures et jachères. L'expansion de la zone bâtie (agglomération) proviendrait principalement de la conversion des mosaïques de cultures et jachères. Ces dernières doivent leur expansion aux zones de forêts denses, de forêts claires et savanes boisées, de savanes arborées et arbustives.

III.3 Comparaison des cartes simulées des trois scénarios BAU, DEC et CER

L'étude comparée des scénarios Business-As-Usual (BUA), durabilité environnementale coordonnée (DEC) et croissance économique rapide (CER) permet de constater que dans l'ensemble des trois scénarios, le scénario CER est le plus sévère avec une occupation de plus de 27 % de la zone d'étude pour les sols nus. Cette catégorie d'occupation des terres est concentrée beaucoup plus dans le nord (Mauritanie) et la zone guinéenne du bassin (les couloirs d'orpaillages et industries minières).

IV. Discussion

Pendant de longue durée, les forêts et savanes du bassin sont détruites et les terres mises en culture. Dès que de faibles rendements agricoles commencent par être enregistrés, ces terres sont mises en jachères. Souvent ces jachères ne reviennent plus à la forêt mais sont réinsérés dans une rotation de champs cultivés ou sont transformées en savanes arborées ou arbustives simplement. Ceci corrobore les résultats obtenus [8]. Ces mêmes auteurs avaient démontré dans leur étude qu'au nord-ouest du bassin, l'agrobusiness joue un rôle aussi important dans le développement de l'agriculture.

En résumé, la tendance de régression du paysage ligneux au profit de la culture et des espaces nus observée depuis 2007 a été aussi observée dans plusieurs rapports de l'OMVS malgré que la spécificité des types d'occupation du sol n'ait pas fait l'objet d'une étude approfondie. Par ailleurs, cette dégradation influence surtout les espaces de végétations denses. L'utilisation de ces espaces déboisés permet de bénéficier de

nouvelles terres fertiles et donc d'augmenter les productions agricoles. Du coup, la déforestation entraîne une perte de la biodiversité en raison de la destruction de nombreux d'habitats naturels.

Les différents scénarios prospectifs conçus ici tiennent compte des différentes activités socio-économiques développées dans le bassin versant du fleuve Sénégal. De façon globale, la tendance évolutive des formations végétales dans cette étude est régressive et celle des formations anthropiques évoluent de façon progressive. Dans ce scénario BAU, les superficies des mosaïques de cultures et jachères restent statique par rapport à l'année de référence. Le scénario catastrophique (CER) prévoit que les formations végétales naturelles vont régresser au profit de celles anthropiques. Ces prévisions concordent avec le rapport de SDAGE à l'horizon 2025. Le scénario durabilité environnementale coordonnée (DEC) qui combine à la fois la préservation du couvert végétal avec les activités agricoles responsabilise les Etats du bassin et l'OMVS dans son rôle de contrôle de la déforestation et de subvention du gaz domestique pour remplacer le bois de feu ou de développer les alternatives de transformations du typha en charbon de bois.

Conclusion

En définitive, les auteurs retiendront que le bassin versant du fleuve Sénégal a connu une dynamique spatiale importante entre 1986 (mise en place de barrages) à 2019. Les changements observés s'opèrent de façon différente au cours des périodes. De façon globale, ce milieu a vu ces formations végétales naturelles notamment les forêts denses, forêts claires et savanes boisées se réduire au profit des formations anthropiques comme les mosaïques de cultures et jachères, les plantations. Cette dynamique spatiale du paysage s'explique surtout par les pressions anthropiques.

L'approche prospective utilisée dans cette étude a permis de comprendre et de montrer le devenir des territoires à l'horizon 2030. Le modèle dynamique LCM utilisé pour la simulation permet d'observer des changements dans l'occupation du sol en fonction du scénario utilisé. Il est à retenir que, quel que soit le scénario, la superficie des mosaïques de cultures et jachères, des zones bâties et des plantations sont en augmentation. Ce paysage dont dépend la survie des populations évolue dans le sens de sa dégradation. Et sans inversion de la tendance actuelle, la situation s'aggravera d'ici 2030 et pourrait devenir irréversible. Cependant les résultats obtenus avec le scénario Durabilité Environnementale Coordonnée (DEC) montrent que l'espoir est permis. Au-delà de l'exploitation des ressources ligneuses et de l'expansion des terres agricoles, pour améliorer la sécurité alimentaire, il est indispensable de mettre en place des stratégies de gestion durable des ressources naturelles de ce milieu. Les décideurs et acteurs en charge de la gestion territoriale doivent donc prendre en compte ces résultats dans leurs prises de décisions.

Référence

- [1] Sambou et al, 2011 : Ressources végétales et préférences sociales en milieu rural sénégalais - http://bft.cirad.fr/cd/BFT_310_57-68.pdf
- [2] FAO 2016 : Situation des forêts du monde. Forêts et agriculture : défis et possibilité concernant l'utilisation des terres. Rome (Italie), 137 p. ISBN 978-92-5-209208-7
- [3] Lavieren et al. 1998 : Profil de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, <https://edepot.wur.nl/387981>
- [4] Faye E., Masse D. et Diatta M. 2002 : Dynamique de la régénération ligneuse durant la phase de culture dans un système de culture semi-permanente du sud du Sénégal. *Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad-Cirad, Montpellier, France.
- [5] Bah, O. A., Kone, T., Yaffa, S., & Ndiaye, M. L. 2019 : Land Use and Land Cover Dynamics in Central River Region of the Gambia, West Africa from 1984 to 2017. *American Journal of Modern Energy*, 5(2), 5-18. doi:10.11648/j.ajme.20190502.11
- [6] Bigot S., Zin I., Diedhiou A. 2005 : Apports de données de HRV de SPOT pour l'étude des variations phénologiques dans le bassin de l'Ouémé (Bénin). *Télé-détection*. Vol 4(4), pp 339-353.
- [7] Faty A. 2019 : Modélisation hydrologique du haut bassin versant du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité hydro-climatique : Apport de la Télé-détection et du modèle Mike SHE, 235 pages, Département de Géographie - UCAD

IJSER