

ETUDE DE L'ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION : CAS DU DÉPARTEMENT DE BAMBEY (SENEGAL)

MANE Samba Guorgui ^{1,*}, MBAYE Modou ², FAYE Mactar ¹, FAYE Gayane ²

¹ Equipe de recherche efficacité et systèmes énergétiques, Université Alioune Diop de Bambey

² Laboratoire de Télédétection Appliquée, Université Cheikh Anta Diop de Dakar

*samabaguorgui.mane@uadb.edu.sn, mactar.faye@uadb.edu.sn

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 27 novembre 2020

Réçu en format révisé le : 12 juillet 2021

Accepté le : 05 novembre 2021

Mots-Clés: Précipitation ; NDVI ; VCI ;

Sécheresse ; Bambey.

RÉSUMÉ

Le changement climatique a pour principale conséquence l'accélération et l'accentuation de la sécheresse en Afrique au sud du Sahara. Cet article étudie l'évolution de la sécheresse dans le département de Bambey au Sénégal ces dernières années. Dans cette étude, les données de la pluviométrie, de l'humidité du sol et du NDVI sont des données satellitaires. Le logiciel libre R a été utilisé pour traiter et visualiser les données. À partir du NDVI statistique, l'Indice de Condition de la Végétation (VCI) du département de Bambey a été déterminé de 2001 à 2019. Sur cette période, les dynamiques de la pluviométrie de l'humidité du sol et du VCI ont été analysées. À partir du NDVI spatial, la cartographie du VCI a été réalisée pour les saisons sèche et pluvieuse des années 2016 et 2017.

Les résultats révèlent globalement que les conditions de la végétation sont assez bonnes pendant la saison des pluies avec une évolution positive de l'indice de végétation entre 2001 et 2013 suivie d'une légère baisse.

L'analyse statistique du VCI montre que le département de Bambey est soumis à une sécheresse très sévère pendant la saison sèche. Cette situation évolue vers une très faible sécheresse en plein hivernage. L'analyse spatiale du VCI montre que le niveau de gravité de la sécheresse n'est pas uniforme dans tout le département de Bambey.

I. INTRODUCTION

La diminution de la quantité des précipitations entraîne l'évolution de la sécheresse dans plusieurs endroits du monde. La sécheresse est la catastrophe naturelle la plus répandue et la plus importante au monde du fait de ses importantes conséquences sur l'environnement [1]. La sécheresse est l'un des facteurs qui jouent un rôle important dans le développement de l'agriculture [2,3]. Son évolution dans le monde représente une réelle menace [1, 4,5]. Comme tout phénomène naturel, les risques et impacts de la sécheresse peuvent être atténués grâce à une détection précoce. Afin de détecter, d'évaluer et de gérer les risques de sécheresse dans un certain nombre de régions du monde, les méthodes de sciences d'observation de la terre sont appliquées pour surveiller les changements de la végétation, car elles jouent un rôle important en offrant des informations à jour sur des échelles spatiales et temporelles [6-8]. Les études faites sur la sécheresse jusqu'ici sont souvent sur des résolutions spatiales de l'ordre des 250m [1-3], contrairement à cette présente étude, la sécheresse est étudiée avec une résolution de 10m grâce au satellite Sentinel-2 level 1C.

La sécheresse, associée à une faible pluviométrie, est un événement climatique normal mais son effet varie d'une région à une autre. C'est dans ce contexte que sont identifiés les différents types de sécheresses suivantes [9, 10] :

- La sécheresse météorologique : qui est mesurée en termes de déficit de précipitations pouvant être observé sur une longue période.
- La sécheresse hydrologique : mesurée par le déficit en disponibilité de l'eau en surface et des réservoirs d'eaux souterraines.
- La sécheresse agricole : mesurée en termes de déficit d'humidité du sol, de précipitations, d'eaux souterraines et de la réduction du rendement des cultures.
- La sécheresse socio-économique : est la phase finale des sécheresses qui est causée par une pénurie prolongée dans la production agricole et alimentaire, affectant ainsi l'économie globale.

L'Afrique est confrontée à des sécheresses accrues qui entraînent une baisse de la production agricole, en particulier dans les pays en développement [11,12]. Le secteur agricole est décrit comme l'un des secteurs les plus vulnérables à ce phénomène [12]. Au Sénégal en général et dans le département de Bambey en particulier, ce secteur est la principale activité de 60% à 70% de la population active et constitue aussi une composante essentielle de l'économie [13]. Le bassin arachidier dont Bambey fait partie est marquée depuis plusieurs décennies par une baisse de la pluviométrie [14]. Ainsi, avec la pression anthropique et l'évolution climatique, elles ont contribué à une dégradation accélérée des écosystèmes [15]. Elles conduisent à la dénudation de sols ainsi qu'à leur érosion [16].

L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique de la pluviométrie et du couvert végétal de 2001 à 2019, et de cartographier à haute résolution la couverture végétale dans le département de Bambey à l'aide des données issues des sciences d'observation de la terre.

II. ZONE D'ETUDES, DONNEES UTILISES ET METHODES

2.1. Zone d'étude et données utilisées

Situé dans la partie Ouest de la région de Diourbel, le département de Bambey est à 25 km de la capitale régionale, Diourbel, et à 120 km de la capitale du Sénégal, Dakar. Couvrant une superficie de 1341 km², le dit département compte une population de 299.476 habitants, soit une densité de 239 habitants au km² [17]. Il est situé à une latitude de 14°45'Nord et une longitude de 16°30'Ouest.

Le département de Bambey est soumis au climat soudano-sahélien (chaud et sec) avec une alternance d'une saison des pluies courte qui varie généralement de Juillet à Octobre et une longue saison sèche qui va de Novembre à Juin [18]. Au plan de la pluviométrie, après des années de sécheresse, les pluies sont redevenues plus abondantes avec des précipitations moyennes se situant actuellement entre 400 et 500mm même si l'hivernage demeure encore tantôt tardif tantôt précoce, et inégalement distribuée sur le territoire régional [18]. Il est aussi soumis à une forte circulation des vents dominants tels que l'alizé continental ou l'harmattan et la mousson [19]. La température varie annuellement de 21 à 38°C en moyenne. Durant la saison froide (novembre-février), les températures sont relativement basses et varient de 18 à 24°C, alors qu'en saison sèche et chaude (mars-mai), les températures sont maximales et varient de 34 à 40°C.

Bambey a pratiquement un sol argileux ne favorisant pas l'infiltration des eaux pluviales sur plusieurs parties du département, entraînant donc une récurrence des inondations. Bambey vit l'hivernage dans les eaux à cause de son site concave et en forme de cuvette [18].

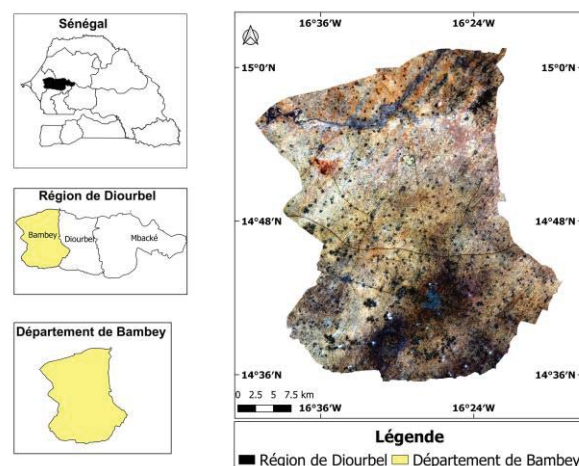


Figure 1 - Carte de localisation du Département de Bambey

2.2 Données utilisées

Les données utilisées dans cette étude sont les statistiques moyennes de la pluviométrie et la végétation de Bambey. A ces données statistiques s'ajoutent celles spatiales de la couverture végétale. Elles sont obtenues par télédétection optique grâce aux satellites CHIRPS DAILY, FLDAS et MODIS NDVI250m MOD13Q1.06 pour respectivement, la pluviométrie, l'humidité du sol et la couverture végétale. La distribution spatiale de la végétation est obtenue à partir du satellite Sentinel-2 level1C. Toutes ces données sont obtenues à partir de la plateforme Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/0831d916c600507188a921840efee0c2>).

2.3. Méthodes

Pour ressortir les collections d'images et extraire les données statistiques un filtrage spatiotemporel et nuageux a été fait.

Les données sont importées et traitées dans le logiciel libre R pour faire l'évaluation temporelle de la précipitation, de l'humidité du sol et de l'Indice de Condition de la Végétation (VCI). Pour une analyse spatiale de la couverture végétale les images de très haute résolution de Sentinel-2 level 1C ont été cartographiées. La méthodologie utilisée est schématisée sur la figure 2.

Le NDVI est l'indice le plus connu pour sa sensibilité à la présence d'une végétation verte et pour son efficacité dans le suivi des sécheresses [24]. Malgré cela, son interprétation peut être biaisée dans les régions arides à faible densité de végétation où la présence de sol est importante [25]. Cette présente étude utilise le VCI pour y remédier, car il permet non seulement la description de la végétation mais aussi l'estimation des changements spatiaux et temporels de la végétation et des impacts météorologiques sur la végétation. C'est un indice de végétation dont le bruit est réduit et plusieurs expériences témoignent de son excellente capacité à détecter la sécheresse et à mesurer le moment de son apparition, son

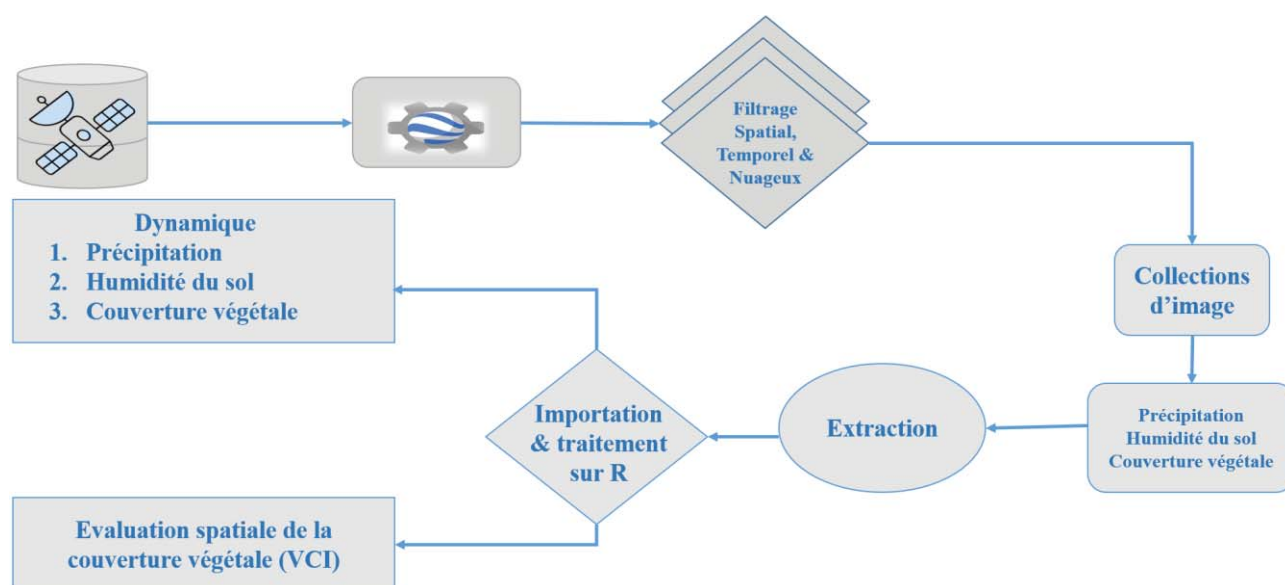


Figure 2 - Organigramme méthodologique

intensité, sa durée et son impact sur la végétation même pour des zones arides [26]. Il fournit des informations précises sur la sécheresse, qu'elles soient des cas bien définies, prolongées, étendue et très forte, mais aussi pour les sécheresses très localisées, de courte durée et mal définies.

Le NDVI est un indice qui reflète l'état de santé des plantes, la vitalité, la verdure et la quantité de végétation. Il est obtenu à l'aide de l'expression suivante :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

Avec NIR et RED les réflectances dans la bande proche infrarouge et rouge respectivement.

La comparaison entre VCI, NDVI et la dynamique des précipitations a montré que les estimations du VCI représentaient mieux la dynamique des précipitations par rapport au NDVI [26].

Le NDVI minimum peut être considéré comme un seuil initial à partir duquel la végétation commence à se développer [26]. Comme pour le concept maximal, la différence entre le NDVI observé et cette valeur seuil peut caractériser l'intensité de la croissance de la végétation. Dans ce contexte, plus la différence est grande, plus la croissance est susceptible d'être intense [24,26].

Le VCI permet donc de détecter les situations de sécheresses en se basant sur les conditions de la végétation par rapport aux situations extrêmes et par rapport à la distribution climatique. Il se calcule à partir du NDVI grâce à la formule suivante :

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} 100 \quad (2)$$

Où NDVI est la valeur réelle de NDVI, $NDVI_{min}$ et $NDVI_{max}$ sont respectivement les minima et maxima absolus hebdomadaires du NDVI. Les valeurs qui indiquent des conditions optimales ou supérieures à la

normale sont comprises entre 50% et 100%. Les valeurs de VCI indiquent différents degrés de gravité de la sécheresse à savoir : de 0 à 20% qui reflète une sécheresse très sévère ; de 20 à 40% une sécheresse sévère ; de 40 à 60% une sécheresse modérée ; de 60 à 80% une sécheresse très faible et enfin les valeurs de 80 à 100% indiquent une absence de sécheresse. Ces valeurs sont résumées dans le tableau 1 suivant :

• Table 1. Classification de la sécheresse en rapport avec le VCI

VCI (%)	Classe de gravité de la sécheresse
0 à 20	Sécheresse très sévère
20 à 40	Sécheresse sévère
40 à 60	Sécheresse modérée
60 à 80	Très faible sécheresse
80 à 100	Pas de sécheresse

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse temporelle de la précipitation entre 2001 et 2019

La figure 3 montre la variation temporelle de la précipitation cumulée de 2001 à 2019. Elle révèle trois périodes. Du premier jour Julien (premier janvier) au 181^{ème} jour julien (30 juin) [18], la précipitation cumulée reste constante. Ce qui montre une absence de pluies. Du 182^{ème} jour julien au 304^{ème} jour (31 octobre) [18], la précipitation cumulée augmente. C'est la période des pluies.

Du 305^{ème} jour julien (premier novembre) au 365^{ème} jour julien (31 décembre) [18], la précipitation cumulée reste constante. Dans le département de Bambey, il y a donc deux saisons ; la saison sèche et la saison des pluies de juillet à octobre. La figure montre également que la pluviométrie cumulée varie généralement entre 400 mm et

500 mm. On note cependant une année de pluviométrie exceptionnelle (2010). La figure indique également une discontinuité de la précipitation cumulée pendant la saison des pluies, cela s'explique par l'irrégularité de la pluie.

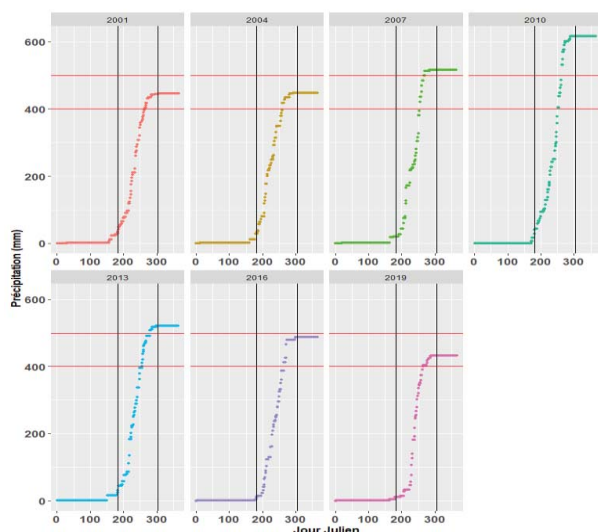


Figure 3 - Variation temporelle de la précipitation cumulée entre 2001 et 2019

La figure 4 montre la variation de précipitation moyenne annuelle de 2001 à 2019. De 2001 à 2010, la précipitation augmente et elle diminue progressivement 2010 à 2019.

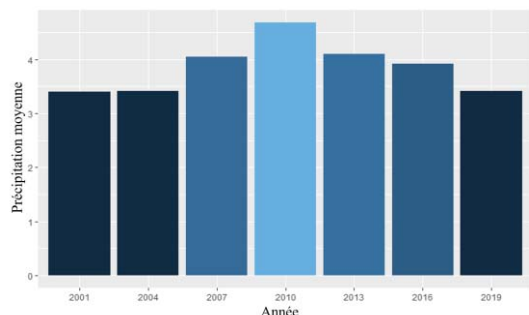


Figure 4 - Variation temporelle de la précipitation moyenne entre 2001 et 2019

3.2 Analyse temporelle de l'Indice de Condition de Végétation entre 2001 et 2019

La figure 5 illustre la variation temporelle de l'humidité du sol entre 2001 et 2019. L'humidité du sol passe de 0,15 m^3/m^3 en saison sèche à 0,33 m^3/m^3 et 0,39 m^3/m^3 en saison des pluies en 2001 et 2007, respectivement. L'humidité du sol moyenne en saison des pluies est d'environ 0,35 m^3/m^3 .

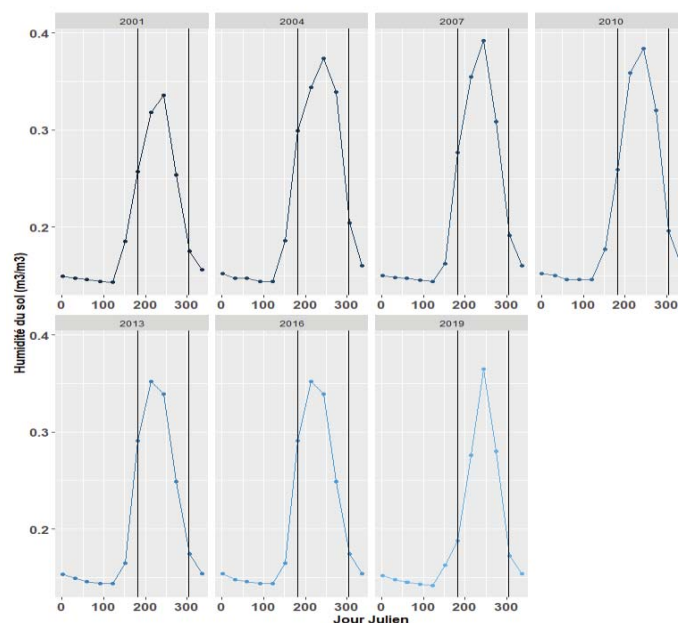


Figure 5 - Variation temporelle de l'humidité du sol entre 2001 et 2019

3.3 Analyse temporelle de l'Indice de Condition de Végétation entre 2001 et 2019

La figure 6 présente la variation du VCI en fonction des jours juliens des années 2001 à 2019. Pendant la saison sèche, les valeurs du VCI sont généralement comprises entre 0 et 25%. D'après le tableau 1 [24-26], le département de Bambey est soumis à une sécheresse très sévère durant cette période. Les valeurs du VCI en 2001 varient entre 25% en début de saison des pluies et 80% en pleine saison des pluies. La gravité de la sécheresse passe alors de très sévère en début de saison des pluies à très faible sécheresse en plein hivernage. Cette augmentation importante de la végétation s'explique par la quantité et la qualité des pluies en 2001. En effet, on note peu de discontinuité sur la courbe de précipitation cumulée. En 2010, on note une évolution en dent de scie du VCI. Cette évolution s'explique par plusieurs périodes de pause de la pluie pendant la saison pluvieuse comme le montre les discontinuités sur la courbe de précipitation cumulée en 2010 de la figure 3. En 2019, on note que le VCI est passé de 25 à 50 %. Cette faible croissance s'explique par la faible pluviométrie enregistrée en 2018. La figure 6 montre également une dégénérescence continue de la végétation depuis 2001.

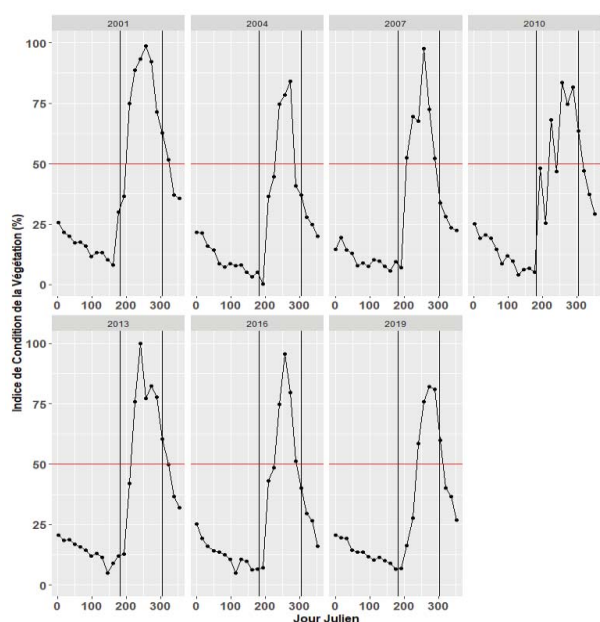


Figure 6 - Variation temporelle de l'Indice de Condition de la Végétation entre 2001 et 2019

La variation de la moyenne annuelle du VCI entre 2001 et 2019 est représentée par la figure 7. Elle montre que le VCI moyen maximal est obtenu en 2001 avec une valeur de 41%. Le VCI moyen minimal est obtenu en 2004 avec une valeur de 25 %. La comparaison des figures 4 et 7 montre que le maximum de précipitation (2010) ne correspond pas au maximum de VCI (2001). De même, le minimum de précipitation (2019) ne correspond pas au minimum de VCI (2004). Il n'y a donc pas de corrélation directe entre les précipitations et la végétation même si ces précipitations ont un fort impact sur la végétation. La répartition dans le temps joue un rôle important sur la végétation.

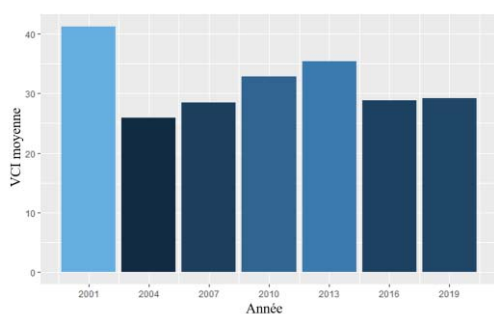


Figure 7 - Variation temporelle de la moyenne annuelle l'Indice de Condition de la Végétation entre 2001 et 2019

3.4. Analyse spatiale de l'Indice de Condition de la Végétation de 2016 et 2017

La figure 8 illustre la variation spatiale du VCI pendant la saison sèche et la saison pluvieuse des années 2016 et 2017.

Pour l'année 2016, le VCI varie en moyenne entre 20 et 40% pendant la saison des pluies. Cependant, pendant

cette saison, on note un VCI de plus 60 % dans certaines zones et inférieur à 20 % dans d'autres. Le niveau de gravité de la sécheresse n'est donc pas uniforme dans tout le département de Bambey. Il peut être modéré dans certains endroits et critique dans d'autres.

Pour l'année 2017, le VCI varie en moyenne entre 40 et 60% pendant la saison des pluies. Comparer à 2016, on note une régénérescence de la végétation due à une bonne continuité des pluies pendant l'hivernage de 2017, et la végétation qui est restée encore active du fait de la réserve hydrique issue de la saison des pluies précédente [23]. Pendant la saison des pluies de l'année 2017, le VCI est plus important au nord-est et centre qu'au sud-ouest.

Cette figure montre que la distribution spatiale de la végétation est inégale.

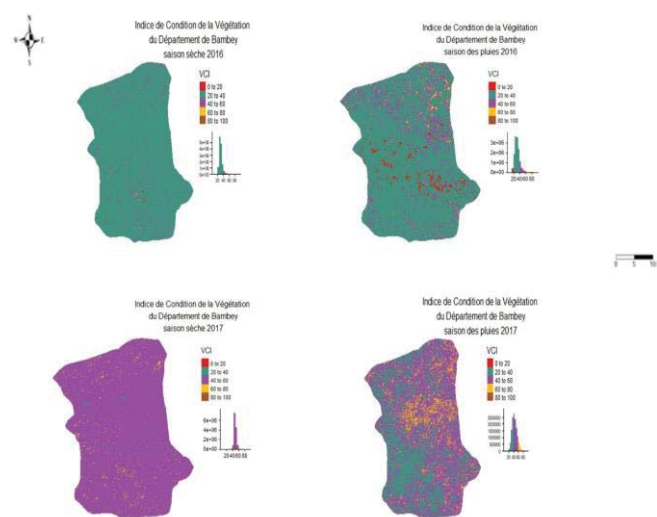


Figure 8 - Variation spatio-temporelle de l'Indice de Condition de la Végétation entre 2016 et 2017

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude que nous avons menée avait pour objectif de faire le suivi de l'évolution de la sécheresse de 2001 à 2019 dans le département de Bambey. Pour atteindre cet objectif nous avons fait recours aux données satellitaires. Les données ont permis d'étudier la dynamique de la précipitation, de l'humidité du sol et de la couverture végétale grâce au VCI entre 2001 et 2019 et aussi de réaliser la cartographie à haute résolution (10m) du VCI du département de Bambey en 2016 et 2017.

Les résultats montrent que le département de Bambey a une saison des pluies qui s'étale sur 4 mois avec une pluviométrie cumulée comprise entre 400 mm et 500 mm. La saison des pluies dans le département est discontinue. L'humidité moyenne du sol est de 0,15 m³/m³ et 0,35 m³/m³ en saison sèche et en saison des pluies, respectivement. L'analyse statistique de l'Indice de Condition de la Végétation montre que le département de

Bambey est soumis à une sécheresse très sévère pendant la saison sèche. Cette situation évolue vers une très faible sécheresse en plein hivernage. L'analyse spatiale du VCI montre que le niveau de gravité de la sécheresse n'est pas uniforme dans tout le département de Bambey. Il peut être modéré dans certains endroits et critique dans d'autres. Une dégénérescence continue de la végétation est notée depuis 2001.

En perspective, une étude plus poussée de recherche de corrélations entre les différents paramètres étudiés est prévue afin de faire de la prédiction. Une analyse détaillée des cartes de VCI et une étude de terrain pourrait permettre d'identifier les zones du département de Bambey qui présentent une meilleure couverture végétale et cerner les causes. L'étude pourrait être étendue à la recherche de corrélations entre les productions céréalières départementales et les paramètres comme la pluviométrie et l'humidité du sol.

REFERENCES

- [1] Yeji Lu, Huanjie Cai, Tingting Jiang, Shikun Sun, Yubao Wang, Jinfeng Zhao, Xiang Yu, and Jingxin Sun. Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278:107623, November 2019.
- [2] Dina M. Abdelzaher, Aleksey Martynov, and Angie M. Abdel Zaher. Vulnerability to climate change: Are innovative countries in a better position? *Research in International Business and Finance*, 51:101098, January 2020.
- [3] Wuletawu Abera, Lulseged Tamene, Assefa Abegaz, and Dawit Solomon. Understanding climate and land surface changes impact on water resources using Budyko framework and remote sensing data in Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 167:56-64, August 2019.
- [4] R.P. Kipling, C.F.E. Topp, A. Bannink, D.J. Bartley, I. Blanco-Penedo, R. Cortignani, A. del Prado, G. Dono, P. Faverdin, A.-I. Graux, N.J. Hutchings, L. Lauwers, Özkan Gülzari, P. Reidsma, S. Rolinski, M. Ruiz-Ramos, D.L. Sanders, R. Sándor, M. Schönhart, G. Seddaiu, J. van Middelkoop, S. Shrestha, I. Weindl, and V. Eory. To what extent is climate change adaptation a novel challenge for agricultural modellers? *Environmental Modelling & Software*, 120:104492, October 2019.
- [5] Jeffrey D. Michler, Kathy Baylis, Mary Arends Kuenning, and Kizito Mazvimavi. Conservation agriculture and climate resilience. *Journal of Environmental Economics and Management*, 93:148-169, January 2019.
- [6] A. Anyamba and C.J. Tucker. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments*, 63(3):596-614, November 2005.
- [7] J.T Al-Bakri and J.C Taylor. Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan. *Journal of Arid Environments*, 54(3): 579-593, July 2003.
- [8] Abdulkhadar Badeghar and Balasaheb Jamadar. Review on Drought Risk Assessment by using Remote Sensing and GIS. 06 (07):5, 2019.
- [9] Muhammad Khubaib Abuzar, Muhammad Shafiq, Syed Amer Mahmood, Muhammad Irfan, Tayyaba Khalil, Nusaiba Khubaib, Amna Hamid, and Sobia Shaista. Drought Risk Assessment in the Khushab Region of Pakistan Using Satellite Remote Sensing and Geospatial Methods. 10:9, 2019.
- [10] Abdel-Aziz Belal, Hassan R. El-Ramady, Elsayed S. Mohamed, and Ahmed M. Saleh. Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1):35-53, January 2014.
- [11] Yeji Lu, Huanjie Cai, Tingting Jiang, Shikun Sun, Yubao Wang, Jinfeng Zhao, Xiang Yu, and Jingxin Sun. Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278:107623, November 2019.
- [12] Francis Z. Naab, Zaid Abubakari, and Abubakari Ahmed. The role of climate services in agricultural productivity in Ghana: The perspectives of farmers and institutions. *Climate Services*, 13 :24-32, January 2019.
- [13] Modou Mbaye and Bienvenu Sambou. Identification des impacts de la stratégie de développement agricole appliquée au Sénégal de 2008 à 2010 : perspectives d'une agriculture durable. Page 18, 2015.
- [14] Mamadou DIONE, Oumar DIOP, Papa Nouhine DIEYE, Babacar NDAO. Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal. Vol 8 N°3, ISRA 2008 ISSN 0850-8933.
- [15] Bignebat Céline et Sakho-Jimbira Maam Suwadu. Migrations et diversification des activités économiques locales : étude du Bassin arachidier du Sénégal. *Mondes en développement*, 2013/4 n°164, p.93-114. DOI : 10.3917/med.164.0093
- [16] ROQUET D. (2008) Partir pour mieux durer : la migration comme réponse à la sécheresse au Sénégal ? *Espace populations sociétés* 2008-1, 37-53
- [17] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), 2013
- [18] Comité Technique Régional. Draft du Plan Départemental de Développement de Bambey, 2017.

- [19] Programme National d'Infrastructure Rural(PNIR), 2005.
- [20] Didan, K. (2015). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-06-04 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- [21] Chris C. Funk, Pete J. Peterson, Martin F. Landsfeld, Diego H. Pedreros, James P. Verdin, James D. Rowland, Bo E. Romero, Gregory J. Husak, Joel C. Michaelsen, and Andrew P. Verdin. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. Data Series 832, 2014.
- [22] Solomon Hailu Gebrechorkos, Stephan Hülsmann, and Christian Bernhofer. Evaluation of multiple climate data sources for managing environmental resources in East Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(8): 4547-4564, August 2018.
- [23] MCNALLY, Amy, ARSENAULT, Kristi, KUMAR, Sujay, et al. A land data assimilation system for Sub-Saharan Africa food and water security applications. *Scientific data*, vol. 4, no 1, p. 1-19, 2017
- [24] A. Bannari, D. Morin, F. Bonn, and A. R. Huete. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2): 95-120, August 1995.
- [25] F. N. Kogan. Remote sensing of weather impacts on vegetation in nonhomogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11(8):1405-1419, August 1990.
- [26] F. N. Kogan. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection, 1995
- [27] Evolution de la végétation. <https://eduscol.education.fr/obter/applipcd/climat/theme/climat17.htm>, 23 juil. 2020.