

UTILISATION DES DONNÉES MODIS ET DE SPOT POUR L'ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE DEUX TERRITOIRES : (RÉSERVE PROTÉGÉE) ET (UNITÉS PASTORALES) AU FERLO (SÉNÉGAL)

SARR M.-A. ^{(1), (2)}, FAYE G. ⁽²⁾, BEYE G. ⁽²⁾, NDIONE J.-A. ⁽²⁾, CODJIA C. ⁽³⁾

(1) Département de Géographie, Université de Montréal, Canada [mamadou.adama.sarr@umontreal.ca]

(2) Centre de Suivi Écologique, Dakar, Sénégal [gayane.faye@gmail.com].

(3) Département de Géographie, Université de Québec à Montréal, Montréal, Canada.

Résumé – La dynamique des feux sur les territoires sahéliens du Sénégal, déjà fragilisés par des facteurs environnementaux passés et actuels, est un paramètre aggravant de la détérioration des ressources. Deux zones d'étude aux caractéristiques territoriales différentes sont choisies : le Ferlo-Sud (zone naturelle et protégée) et le Kanel-UP (zone anthropisée). Les données matricielles de feux (MODIS) et les synthèses décennales de NDVI (SPOT VEGETATION) couvrant la période 2001-2013 sont exploitées. La méthodologie se base sur l'évaluation des occurrences des feux et une superposition pixel par pixel des images NDVI et des feux à partir de transects Est-Ouest pour chaque zone. Les résultats révèlent des superficies de feux plus importantes avec une occurrence plus significative à Kanel-UP qu'au Ferlo-Sud. On observe également une forte pression des feux sur l'activité chlorophyllienne au Ferlo-Sud.

Mots-clés : Feux de brousse, végétation, Ferlo, NDVI, MODIS.

Abstract – Using MODIS and SPOT data for analysis the dynamics of two territory: (protected area) and (pastoral units) in Ferlo (Senegal). The dynamics of fires on the Sahelian areas of Senegal, already weakened by past and current environmental factors is parameter aggravating resource degradation. Two study areas at different territorial characteristics are chosen: Ferlo-Sud (natural and protected area) and Kanel-UP (anthropized area). MODIS burned area and decadal synthesis NDVI (SPOT VEGETATION) covering the 2001-2013 periods is exploited. The methodology is based on the evaluation of occurrences burned pixel and a pixel by pixel overlay NDVI and MODIS burned area from east-west transects for each zone. The results show the largest burned areas with more significant occurrence in Kanel-UP at Ferlo-Sud. There is an also strong pressure fire on chlorophyll activity at Ferlo-Sud.

Keywords: Burned area, vegetation, Ferlo, NDVI, MODIS.

Introduction

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture estime qu'environ 350 millions d'hectares de terres boisées, de friches et de cultures sont ravagés par les flammes chaque année dans le monde (FAO, 2009). Ces incendies provoquent plusieurs conséquences dont le réchauffement climatique, des pertes en vies humaines, la pollution de l'air, la désertification et la perte inestimable de la biodiversité. En région sahélienne, les feux sont l'un des principaux facteurs de dégradation de l'environnement en raison des menaces qu'ils exercent sur le patrimoine faunique et surtout floristique déjà rendus vulnérables par une importante variabilité climatique. Les impacts notés au Sénégal en général peuvent aller jusqu'à la disparition progressive du couvert végétal, la baisse de la fertilité des sols, le déficit du fourrage pour le bétail et l'augmentation de la concentration du CO₂ dans la basse couche de l'atmosphère (Schmitz *et al.*, 1996 ; Brookman-Amisshah *et al.*, 1980 ; Louppe *et al.*, 1995).

Au Sénégal, la quasi-totalité des feux de brousse est liée aux usages domestiques, aux récoltes du miel, à l'écobuage ou débroussaillage par le feu, à l'élevage et à la chasse. L'évolution des feux en lien avec le suivi des espaces végétaux dans le contexte du réchauffement climatique global est un paramètre qui nécessiterait un suivi à l'aide des données satellitaires. Le territoire d'étude est composé d'une zone de réserve protégée (Ferlo-Sud) d'une part et d'autre part, d'une zone d'activité pastorale dynamique dominée par des Unités Pastorales située dans le département de Kanel (Kanel-UP). Ces deux zones sont pertinentes pour une analyse comparative sur la base d'une relation entre la dynamique des feux et la couverture végétale. Les images de télédétection, combinées à d'autres données thématiques conventionnelles, peuvent renseigner sur la dynamique spatio-temporelle des événements de feu et de la végétation à l'échelle nationale (Mbow *et al.*, 2000 ; Sarr, 2009). La présente étude vise à analyser sur un intervalle de 13 années (2001-2013) la dynamique

spatio-temporelle des feux actifs en lien avec la couverture végétale (NDVI – indice de végétation normalisé) selon deux transects (Nord-Sud et Est-Ouest) dans chaque zone d'étude.

1. Caractéristiques générales des zones d'étude

Les deux zones d'étude sont localisées dans la partie orientale de la zone sylvo-pastorale communément appelée le Ferlo. Elles sont situées dans le domaine climatique sahélien sénégalais où le régime climatique est déterminé par une alternance saisonnière de 4 mois de pluie (avec un maximum en août) et de 8 mois de saison sèche. Les températures moyennes mensuelles varient entre un maximum en mai (34,9°C) et un minimum en janvier (24,8°C) tandis que l'humidité relative présente un maximum de 74 % en septembre et un minimum de 23 % en avril et en mai.

Dans cette étude, les deux zones caractérisées par une différence dans l'occupation et l'utilisation du sol sont identifiées et comparées (figure-1). Le Ferlo-Sud est un espace protégé situé dans la Réserve de Faune du Ferlo Sud (RFFS). Créé et aménagé depuis 1972, le Ferlo-Sud connaît une dynamique territoriale protégée contre toutes formes de pressions anthropiques (élevage, agriculture, habitat,...). Sa superficie est d'environ 6.300 km².

La zone de Kanel (Kanel-UP) est essentiellement dominée par des unités pastorales (UP). Une UP représente un espace et un ensemble des ressources polarisées par un forage pastoral (Faye, 2001). Il s'agit pour un ensemble de localités de se partager un même espace pastoral voire agricole et d'exploiter les mêmes points d'eau compte tenu de leurs intérêts économiques et de leurs liens historiques et de voisinage (Wane *et al.*, 2006). Les UP sont des indicateurs pertinents de modification de la dynamique du milieu. La superficie de Kanel-UP est relativement identique à celle du Ferlo-Sud par soucis de comparaison.

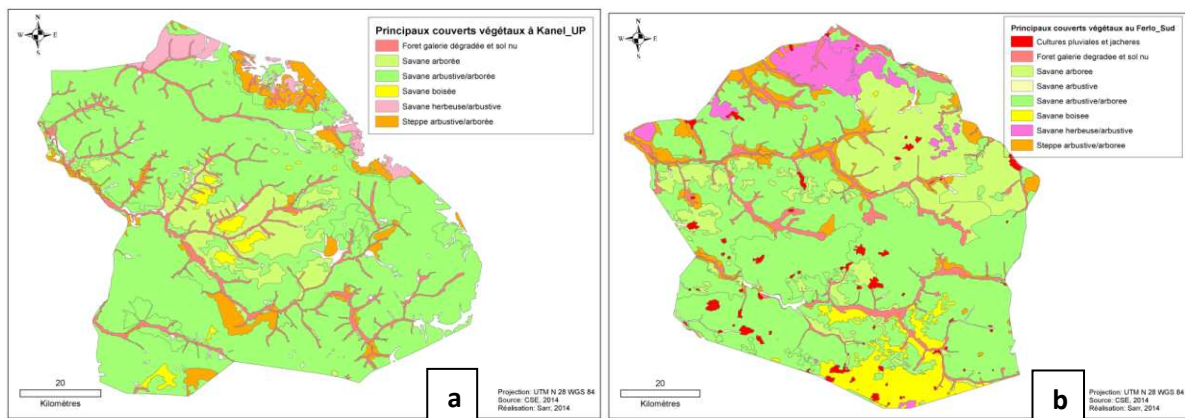


Figure 1. Les principaux types de couverture végétale en 2014 à Kanel-UP (a) et Ferlo-Sud (b).

2. Matériels et méthode

Dans le cadre de ce travail, différentes sources de données sont exploitées (tableau 1). Les données MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* ; <ftp://ba1.geog.umd.edu/>) sont fournies par les capteurs Terra, fonctionnel depuis 2000 et Aqua, depuis 2002 et sont adaptées pour la détection des feux actifs (Kaufman *et al.*, 1998 ; Giglio *et al.*, 2003). Les images MODIS (à 500 m de résolution) obtenues sous format *Geotiff* sont ensuite codées de la façon suivante (Eau : 9999 ; Nuage : 10000 ; Pas de données : 0 et Pixels de feux : 1 à 366 correspondant aux jours juliens).

Les données NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) du capteur VÉGÉTATION de SPOT à 1km de résolution sont disponibles par téléchargement via le site internet VITO

(ftp:www.vito-eodata.be/): Les données de synthèse décadaire sont disponibles en deux versions S10 et D10. Nous avons utilisé ici les produits S10, qui sont obtenues par une technique de synthèse temporelle fondée sur la comparaison pixel par pixel de 10 valeurs journalières de réflectance pour en dériver les meilleures estimations dans les canaux rouge et proche infrarouge, à partir desquelles l'indice NDVI est calculé. On obtient ainsi une valeur de NDVI qui est la valeur maximale observée dans la période (technique MVC = *Maximum Value Compositing*).

Tableau 1. Les caractéristiques des données utilisées

Supports	Sources	Echelles ou résolution spatiale	Période couverte
MODIS (produits feux)	ftp://ba1.geog.umd.edu/	500 m	2001 - 2013
SPOT (NDVI)	ftp:www.vito-eodata.be/	1 km	2001 - 2013
Cartes d'occupation du sol	Centre de Suivi Écologique	Choix de définition	2014

Dans cette étude, un premier aperçu global de la dynamique des feux selon les zones d'étude passe par une analyse des surfaces brûlées sur le plan spatial et temporel. Ensuite deux approches méthodologiques seront utilisées. La première consistera à chercher les patrons les plus brûlés au cours entre 2001 et 2013. La seconde approche se basera sur la superposition pixel par pixel des images NDVI et celles des feux pour chaque zone d'étude après avoir procédé à une analyse du NDVI moyen mensuel entre 2001 et 2013 sur la base d'une classification non supervisée *ISODATA* en 2 classes.

3. Résultats et discussions

Globalement, Kanel-UP reste plus touchée en termes de surfaces brûlées que Ferlo-Sud. Pour les occurrences 1 et 2 années, la zone de Ferlo-Sud est plus atteinte par les feux actifs que celle de Kanel-UP (figure-2). 47% et 29,3% des pixels brûlés ont successivement une occurrence d'une et de 2 années au Ferlo-Sud alors qu'à Kanel ces proportions sont de 36,8% et de 28,2%. En revanche, pour les occurrences de 3 à 6 années, les pourcentages de surfaces brûlées sont plus importants à Kanel-UP qu'au Ferlo-Sud. Ainsi, à titre d'exemple, près de 15,2% au Ferlo-Sud contre 17,1% à Kanel-UP des pixels brûlés ont connu 3 années d'occurrence. Cette même situation est également observable pour les occurrences de 4, 5 et de 6 années.

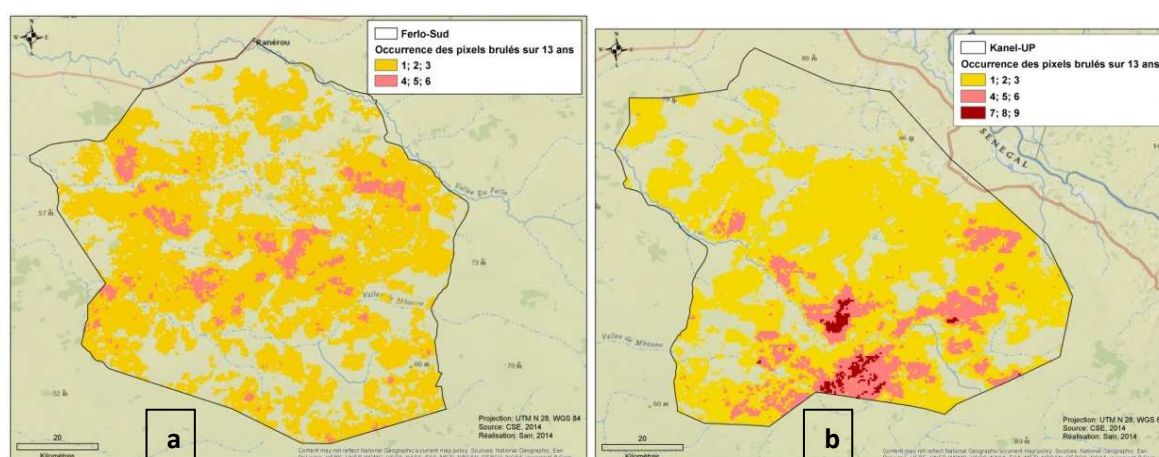


Figure 2. L'occurrence des pixels brûlés sur la période 2001-2013 au Ferlo-Sud (a) et à Kanel-UP (b)

Les évolutions du NDVI et des feux de 2001 à 2013 sur le transect Est-Ouest mettent en évidence un impact très significatif des feux sur l'activité chlorophyllienne de la végétation dans la zone de Ferlo-Sud par rapport à Kanel-UP (figure-3). Un tel résultat traduit une activité de feux plus intense sur la zone de Ferlo-Sud. A noter que les feux de brousse corrélés

avec d'autres facteurs additionnels pourraient impacter sur le NDVI de l'année suivante en fonction de leurs intensités et de leurs étendues.

On note comme pour la zone de Ferlo-Sud une augmentation progressive de l'écart du NDVI en saison sèche, ce qui est le résultat d'une plus importante activité chlorophyllienne ces dernières années dans cette zone.

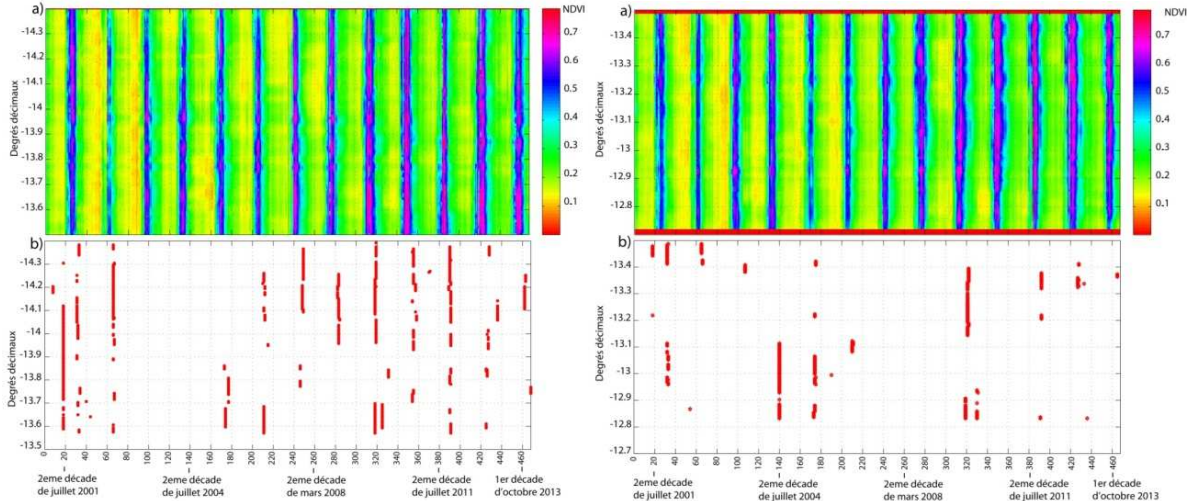


Figure 3. Évolution du NDVI (a) et des feux (b) sur la période 2001-2013 sur le transect Est-Ouest au Ferlo-Sud (image de gauche) et Kanel-UP (image de droite)

Les évolutions du NDVI et des feux de 2001 à 2013 sur le transect Nord-Sud montrent une interrelation faible liée à l'hétérogénéité des feux sur ce transect (figure-4). Au Ferlo-Sud, l'analyse globale de l'évolution du NDVI montre très nettement un gradient Nord-Sud au cours des 13 années (figure-4). Ce gradient est relativement moins net à Kanel-UP. Une tendance croissante des valeurs du NDVI au profit des dernières années est également observée au Ferlo-Sud de même qu'à Kanel-UP. Autant à Kanel-UP qu'au Ferlo-Sud, la situation des feux actifs est très hétérogène, inorganisée et moins intense de 2001 à 2013.

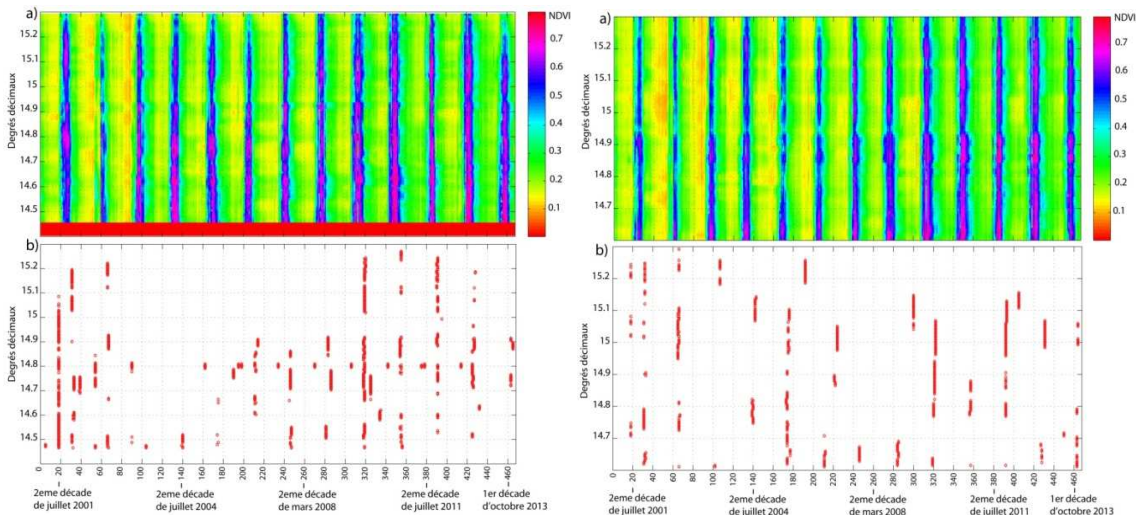


Figure 4. Évolution du NDVI (a) et des feux (b) sur la période 2001-2013 sur le transect Nord-Sud au Ferlo-Sud (image de gauche) et Kanel-UP (image de droite)

Conclusion

La dynamique des feux et de la végétation sur la base d'une comparaison entre zones d'activités humaines de Kanel-UP (unités pastorales) et zones protégées de Ferlo-Sud (réserve naturelle) révèle des superficies de feux plus importantes et une occurrence plus significative

des patrons de feux les plus brûlés à Kanel-UP qu'au Ferlo-Sud. Cette situation renvoie à la pertinence du caractère de zone protégée du Ferlo-Sud. Enfin, l'analyse comparative des feux et du NDVI traduit une forte pression des feux sur l'activité chlorophyllienne au Ferlo-Sud selon le transect Est-Ouest. Au-delà des caractéristiques différentes des deux zones d'étude confirmées par l'étude, l'évolution du NDVI résulte aussi de l'impact des feux et de la pluviométrie.

Pour bien mesurer l'ampleur de ce phénomène, il faudrait que d'autres études à une plus grande échelle soient réalisées. En effet, le végétal naturel perçoit les incitations du milieu physique mais exprime toujours sa réponse avec une inertie propre à chaque espèce constitutive du tapis. Par conséquent, il est difficile d'affirmer si la production mesurée dans les parcours est celle de la saison en cours, de celle qui la précède immédiatement, ou de toutes celles qui l'ont précédée (Martini *et al.*, 2005 ; Philippon *et al.* 2007), car les comportements des organismes sont à la fois opportunistes et stratégiques pour assurer leur propre survie. Opportunistes pour saisir toutes les occasions offertes ; stratégiques pour ne pas engager toutes les potentialités même si le contexte s'avère favorable. En d'autres termes, l'incitation du milieu physique et la réaction du milieu biologique ont des échelles de temps qui, contrairement aux apparences, sont parfaitement désynchronisées.

Bibliographie

Brookman-Ammissah J, Hall J.-B, Swaine M.-D, Attakorah J.-Y, 1980 : A re-assessment of fire protection experiment in northeastern Ghana savanna. *Journal of Applied Ecology*, **17**, 85-99.

FAO, 2009 : *Feux de forêts : Les pays en développement plus vulnérables*. <http://www.un.org/apps/news/fr/storyF.asp?NewsID=19702&Cr=incendies&Cr1=FAO#.VFEAMhY0-qk>

Faye M., 2001 : « La gestion communautaire des ressources pastorales du Ferlo sénégalais : l'expérience du projet d'appui à l'élevage », in *Elevage et gestion des parcours au Sahel, implications pour le développement*, E. Tielkes, E. Schlecht et P. Hiernaux (Editeurs), Allemagne, Stuttgart, pp. 165-72.

Giglio L, Descloitres J, Justice C.-O, and Kaufman Y, 2003 : An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, **87**, 273-282.

Kaufman Y.-J, Hobbs P.-V, Kirchoff V, 1998 : Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) Experiment. *J. Geophys. Res.*, 103 (D24), **31**, 783-808.

Louppe D, Ouattara N, Coulibaly A, 1995 : Effet des feux de brousse sur la végétation. *Bois et Forêts des Tropiques*, **245**. 59-73.

Martiny N, Camberlin P, Richard Y, 2005 : Interannual persistence effects in vegetation dynamics of semi-arid Africa. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L24403, doi:10.1029/2005GL024634

Mbow C, Nielsen T.-T, Rasmussen, K., 2000 : Savanna fires in east-central Senegal: Distribution patterns, resource management and perceptions. *Human Ecology*, **28**(4), 561-583.

Philippon N, Jarlan L, Martiny N, Camberlin P, Mougou E 2007 : Characterization of the interannual and intraseasonal variability of West African vegetation between 1982 and 2002 by means of NOAA AVHRR NDVI data. *J. Climate*, **20**, 1202-1218.

Sarr M.-A., 2009 : *Évolution récente du climat et de la végétation au Sénégal (cas du Ferlo)*. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3, LCRE UMR 5600 CNRS. 410 p.

Schmitz A., Fall, A.-O., Rouchiche S., 1996 : *Contrôle et utilisation du feu en zones arides et subhumides africaines*. Cahiers FAO Conservation. **29**, 211p.

Wane A, Ancy V, Grosdidier B, 2006 : « Les unités pastorales du Sahel sénégalais, outil de gestion de l'élevage et des espaces pastoraux. Projet durable ou projet de développement durable ». *Développement Durable & Territoires, Dossier 8 : Méthodologies et pratiques territoriales de l'évaluation en matière de développement durable*, 18p. (<http://developpementdurable.revues.org/index3292.html>).

DOI: 10.4000/developpementdurable.3292