

Etude décennale (2005-2015) par imagerie satellitale de l'évolution spatiotemporelle des feux de brousse dans l'arrondissement de Koussanar (Région de Tambacounda)

[Decennial study (2005-2015) by imagery satellitale of the spatiotemporelle evolution of the bush fires in the district of Koussanar (Area of Tambacounda)]

Amsatou THIAM¹, Abdoulaye WELE², Serigne Modou SARR¹, and Cheickh Mame Mor MBODJI¹

¹Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR), Université de Thiès, BP 54, Bambey, Sénégal

²Centre de Suivi Ecologique, Sénégal

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study is to have a real knowledge by locality of dynamics and the propagation mode of the bush fires in time in space. To achieve our goal a methodological approach was adopted by a use on the one hand satellite images and software of SIG for the image processing and on the other hand cards of investigations for the talks, the GPS for the localization of the CVD (Village Committee of Development), of the mowings for the collection of herbaceous biomass and of the compasses for the determination of the transect. This work was supplemented by investigations into the ground and that made it possible to determine on average 10000 hectares which burn each season is to say October to May with reduction (controlled fire) for the period from October at November. The study highlighted on the one hand that late fires intervene in second half of the dry season to reach significant proportions in February and Mars and on the other hand that the occurrences of fire are observed in the South of the district where is the classified field. The estimate of the vegetable biomass is obtained starting from a correlation of the data to the level satellite to extract the Index from Vegetation by the Standardized Difference (NDVI) of the channels red and near infra-red to the imagery of the year corresponding and the data of ground for the determination of the herbaceous and woody production to the level of the sites of control on the ground. Each more than 60% of the total production of the vegetable biomass disappears under the action of fires.

KEYWORDS: bush fires, occurrence, satellite Koussanar, NDVI (Index from Vegetation by the Standardized Difference).

RÉSUMÉ: L'objectif de cette étude est d'avoir une connaissance réelle par localité de la dynamique et du mode propagation des feux de brousse dans le temps dans l'espace. Pour atteindre notre objectif une approche méthodologique a été adoptée par une utilisation d'une part des images satellitaires et des logiciels de SIG pour le traitement des images et d'autre part des fiches d'enquêtes pour les entretiens, le GPS pour la localisation des CVD, des fauches, pour la collecte de biomasse herbacée et des boussoles pour la détermination du transect. L'analyse de l'évolution des feux a été faite à partir des données statistiques obtenues à partir des images de MODIS (MCD45A1) pour déterminer les occurrences de feu de 2005 à 2015. L'étude a mis en évidence d'une part que les feux tardifs interviennent dans la deuxième moitié de la saison sèche pour atteindre des proportions importantes en Février et Mars et d'autre part que les occurrences de feu sont plus observées au Sud de l'arrondissement où se trouve le domaine classé. L'estimation de la biomasse végétale est obtenue à partir d'une corrélation des données au niveau satellitale pour extraire l'Indice de Végétation par la Différence Normalisée (NDVI) des canaux rouge et proche infrarouge de l'imagerie de l'année correspondante et des données de terrain pour la détermination de la production herbacée et ligneuse au niveau des sites de contrôle au sol. Chaque année plus de 60% de la production totale de la biomasse végétale disparaît sous l'action des feux.

MOTS-CLEFS: feux de brousse, occurrence, satellite Koussanar, NDVI (Indice de Végétation par la Différence Normalisée).

1 INTRODUCTION

Le feu est l'un des facteurs qui influence la dynamique des écosystèmes de savane en raison des vastes étendues de végétation perdues chaque année, la dynamique des peuplements et les émissions de gaz à effet de serre [1]. La savane africaine occidentale est un des paysages tropicaux les plus largement parcourus par les feux de brousse [2].

La dégradation des écosystèmes forestiers par les feux de brousses constitue des menaces réelles sur nos ressources naturelles, en particulier celles végétales. Les feux sont souvent observés pendant la saison sèche et sont essentiellement d'origine anthropique. Leurs impacts sur la végétation sont relatifs et suscitent beaucoup de débats et une opposition d'idées dans la communauté scientifique. Certains auteurs [3], [4] défendent leur utilité pour l'aménagement des savanes, d'autres comme [5], [6] soulignent leurs effets négatifs sur le milieu biophysique. Cette controverse montre la complexité du phénomène et l'insuffisance d'informations scientifiques relatives à l'impact du feu sur nos écosystèmes.

Parfois, les feux sont utilisés comme un moyen d'aménagement dans la zone tropicale. Cependant, d'une manière générale les feux sont considérés comme négatifs sur l'environnement avec des conséquences importantes et variables. Les plus citées sont la dégradation quantitative et qualitative de la végétation, la perte de biodiversité, l'érosion des sols et la réduction à long terme de leur fertilité, la perturbation du bilan hydrique, le dégagement de gaz à effet de serre, sans compter les conséquences socio-économiques.

Face à l'ampleur du phénomène des feux, les structures techniques en charge de la question, utilisent de multiples stratégies de lutte et de prévention des incendies dont l'efficacité devrait reposer sur une connaissance approfondie de la distribution et de l'étendue des feux. « L'observation des informations relatives aux incendies de forêt sur une période assez longue peut apporter des renseignements indispensables à l'élaboration des politiques de prévention et de lutte active. Dès lors, il s'avère essentiel d'obtenir des statistiques fiables sur l'évolution des feux afin d'améliorer la connaissance du phénomène, d'orienter les choix techniques et économiques à effectuer en matière de prévention et de lutte. » [7]. Au Sénégal, les études sur les feux de brousse ont certes fourni des informations importantes, mais méritent d'être diversifiées et complétées. Ces études concernent plus les causes et les conséquences des feux sur la végétation parmi celles-ci on peut citer les travaux de [8]. Les méthodes pour discriminer les feux actifs des traces de feu avec les outils de la télédétection [9] ; [10] ou les possibilités de les prévenir ou de les combattre, [11]. Peu d'études sont effectuées sur leur évolution spatio-temporelle, exceptées celles de [12], [10], [13].

Aujourd'hui l'évolution des feux de brousse est relativement peu cernée au niveau local, notamment dans le cadre de la décentralisation et de ses implications aux plans technique, humain, financier, etc. La finalité de cette étude est d'avoir une connaissance réelle par localité de la dynamique et du mode propagation des feux de brousse dans le temps dans l'espace.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

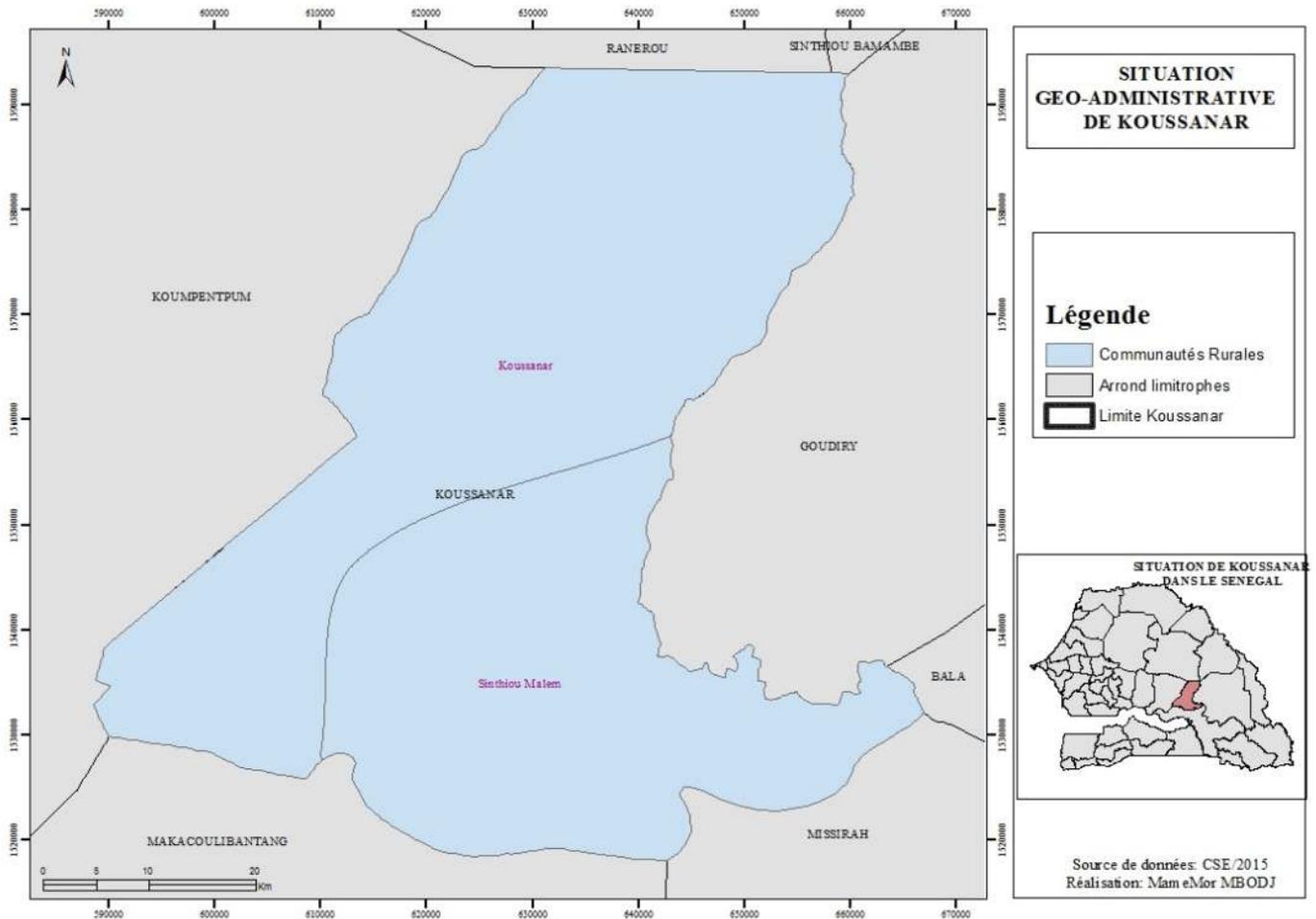
2.1 MATÉRIEL

2.1.1 LES OUTILS

Ces outils sont constitués par : les images satellitaires pour l'acquisition de données; les logiciels de SIG (Arc View 3.3, ArcGis 10.2) pour traiter les images satellitaires; les fiches d'enquêtes pour mener des enquêtes semi-structurées; les GPS pour la localisation des CVD (Comité Villageois de Développement); les dictaphone et appareil numérique, qui servent à enregistrer les entretiens et à prendre des photos ; les fiches d'inventaires de biomasse; les rubans métriques, cadre métallique de 1m², Fauches, Coupe- coupe pour la collecte de biomasse herbacée ; les boussoles pour la détermination du transect ; un ordinateur et logiciels de traitement de données (Word, Excel, Sphinx).

2.1.2 LOCALISATION DU SITE D'ÉTUDE

L'arrondissement de Koussanar est situé dans le département de Tambacounda (région de Tambacounda). Il est limité à l'est par l'arrondissement de Goudiry, à l'ouest par l'arrondissement de Koumpentoum, au nord par le département de Ourosogui (Matam) et au sud par l'arrondissement de Maka Coulibantan (carte 1). L'arrondissement de Koussanar s'étend sur 3116 km² avec un total de 162 villages. Il est caractérisé par une forte concentration humaine, notamment dans la zone sud, surtout au niveau des chefs-lieux des deux communes que sont Sinthiou Malème et Koussanar.



Carte 1 : Situation Géo-Administrative de Koussanar

Le climat : L'arrondissement de Koussanar est localisé dans la zone soudano-sahélienne marquée par une pluviométrie très variable (400 à 1000mm) et une forte chaleur. On y distingue une saison sèche allant de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. Les moyennes des températures minimales de l'ordre de 17°C sont enregistrées de novembre à février. Les moyennes des températures maximales sont observées entre le mois d'avril et le mois de mai.

Les sols : Au niveau de l'arrondissement, selon [14], ce sont surtout les sols ferrugineux non lessivés (dior) et ceux lessivés (deck dior) qui sont les plus représentatifs (près de 90%). Ils sont principalement de type argileux difficile à cultiver lorsqu'ils sont imbibés et quand ils sont secs.

2.1.3 MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'arrondissement de koussanar compte quatre (04) forêts classées : Forêt classée de Tambacounda Nord, Forêt classée de Tambacounda Sud, Forêt classée de Ouli et Forêt classée de Botou. Les superficies respectives sont : 75000 ; 12500 ; 14500 et 11200 hectares.

La végétation : La végétation est principalement constituée de savane boisée, savane arborée et de savane arbustive. Au niveau de ces espèces ligneuses, la famille des combrétacées est la plus représentée suivie de celle des rubiacées. Les familles des anacardiées, césalpiniacées, fabacées, et mimosacées occupent la troisième place. Les familles les moins représentées sont les bombacacées, célastracées, sterculiacées et les tiliacées. Les espèces herbacées : *Andropogon amplexans* Stapf Var., *Andropogon gayanus* Stapf., *Andropogon pseudapricus* Stapf., *Alysicarpus ovalifolius* (Shum & Thonn) J., *Bracharia* sp., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Indigofera* sp., *Pennisetum pedicellatum* Trin., *Spermacoce stachydea* DC., *Schyzachyrium exile* Stapf., *Tephrosia purpurea* (L.) Pers.

2.1.4 LA POPULATION

Faunique : La faune de l'arrondissement de Koussanar est relativement variée et est essentiellement constituée de phacochères (*Phacochoerus aethiopicus*), de pintades (*Numida meleagris*), de francolins (*Francolinus francolinus*), de singes rouges (*Erythrocebus patas*), des chacals (*Canis aureus*), d'oiseaux, etc.

Humaine : Elle est constituée des groupements ethniques répartis comme suit : peuls (plus de 50%), mandingues (plus de 30%), bambaras (environ 7%) et wolofs (moins de 4%). Le reste est constitué de minorités Koniaguïs, Sérères entre autres [16]

2.2 MÉTHODES

2.2.1 UTILISATION DES IMAGES SATELLITAIRES

L'exploitation des images satellitaires nous a permis :

- d'analyser la dynamique des feux de brousse. Les données de feux actifs de la nouvelle génération des satellites EOS (Earth Observation Satellite) notamment les capteurs MODIS à savoir TERRA et AQUA (MCD45A1) ont été utilisées ;
- d'exploiter les données journalières pour le recensement des feux actifs géo-référencés. L'utilisation de ces données journalières sur une période de dix années avec une résolution de 1000 mètres a permis de faire le recensement des points (d'octobre 2005 à Mai 2015) de feux actifs géo-référencés (ou nombre de pixels brûlés) et classés sur une base mensuelle puis par saison et aussi par ordre d'apparition pendant chaque saison sur l'ensemble de l'arrondissement de Koussanar ;
- de déterminer des superficies brûlées. Pour obtenir les superficies brûlées, il est créé un cercle de 500 m de rayon ou « buffer » autour de chaque point classé comme feu. Afin d'éviter de compter plusieurs fois un pixel brûlé ou de morceler les superficies, il est fait une « dissolution » des zones contiguës sous Arc-GIS ;
- d'élaborer des cartes de distribution des feux et calcul des surfaces brûlées.

Nous avons utilisé les documents cartographiques existants numérisés et corrigés géométriquement (vecteurs) que nous avons superposés aux couches cartographiques (*Shapefile*) représentatives des feux. Cette opération nous a permis de déterminer des statistiques sur les superficies brûlées et d'élaborer des cartes de la distribution spatiale des feux de l'arrondissement. Ainsi pour plus de précision, nous avons mis à contribution les images des scènes LANDSAT (LE7203050) des saisons 2005-2006, 2010-2011 et 2014-2015 qui ont une résolution de 30 mètres pour affiner et améliorer la fiabilité des superficies obtenues par l'intermédiaire de MODIS. Ces images LANDSAT ont été téléchargées, traitées et comparées avec les données MODIS. Afin de faciliter l'interprétation des surfaces en feux, il est fait une composition colorée des bandes suivantes : MIR [Moyen Infra Rouge], PIR [Proche Infra Rouge] et R [Rouge]. Ce qui a ainsi permis d'apporter une correction des superficies brûlées trouvées par le calcul et l'application d'un rapport entre les superficies déterminées par LANDSAT et celles qui l'ont été par MODIS. A cet effet, la moyennes des statistiques des 3 saisons précitées ont été utilisées et ont permis en définitive, d'avoir un facteur correctif de 0,82 que nous avons appliqué aux résultats issus des images MODIS sur toute la période d'étude ;

- d'estimer la biomasse végétale. L'acquisition des données est faite d'une part au niveau satellitale pour extraire l'Indice de Végétation par la Différence Normalisée (NDVI) des canaux rouge et proche infrarouge de l'imagerie de l'année correspondante et d'autre part au niveau du terrain pour la détermination de la production herbacée et ligneuse au niveau des sites de contrôle au sol. Les traitements des données collectées sur le terrain ont permis de déterminer la corrélation entre le NDVI et la production totale.

2.2.2 LES TRAVAUX DE TERRAIN

Ces travaux regroupent à la fois les enquêtes de terrain et la détermination de la production herbacée et ligneuse. Ces enquêtes permettent la vérification sur le terrain dans le souci de corroborer les principales observations notamment sur la fréquence et la distribution des feux.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISATION DES FEUX DANS LE SECTEUR D'ÉTUDE

3.1.1 LA NATURE DES FEUX

Les feux contrôlés appelés feux précoces. Cette pratique se fait d'octobre à Novembre en collaboration avec le service des Eaux et Forêts. La majeure partie de ces feux sont observés dans le domaine protégé (Forêt communautaire)

Les feux tardifs. Ils sont souvent appelés sous le nom de feu de brousse. Les occurrences de ces feux sont répertoriées dans la seconde moitié de la saison sèche (Décembre à Mai).

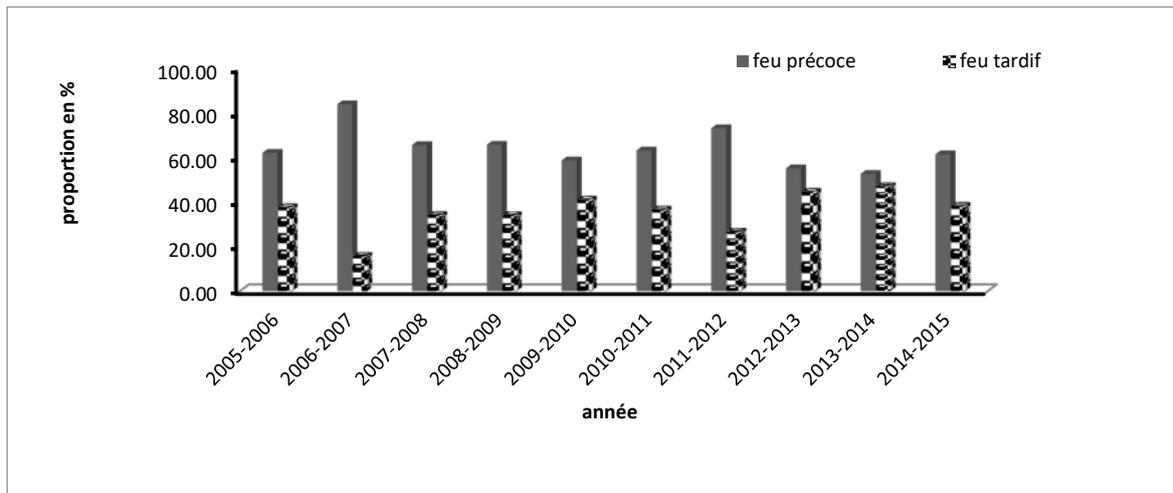


Fig. 1. Proportion des feux précoces et feux tardifs par saison durant la période d'étude

3.1.2 LES CAUSES DES FEUX

Pour connaître les principales causes des feux de brousse dans la zone, nous avons procédé à une interview semi-structurée à l'issue de laquelle les résultats (Figure 2) ont été constatés.

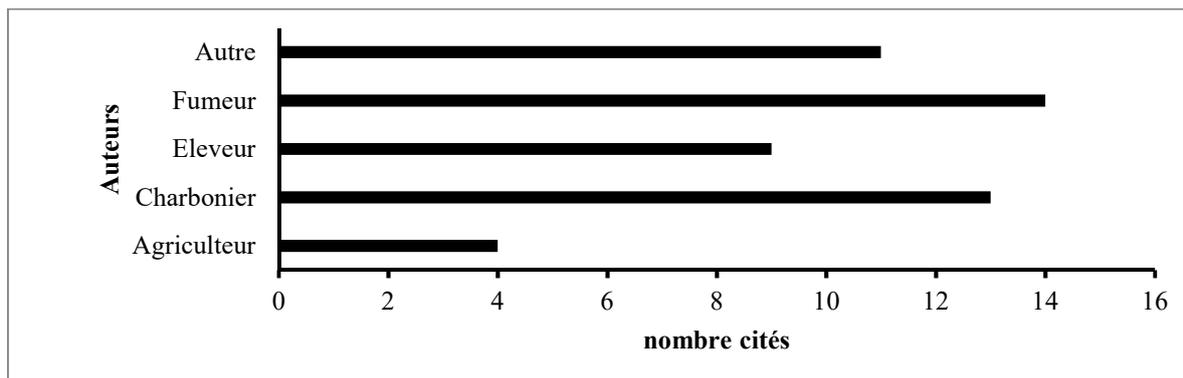


Fig. 2. Les auteurs des feux de brousse

NB : Autre : (les bergers et producteurs de miel).

3.1.3 LES TYPES DE FEU

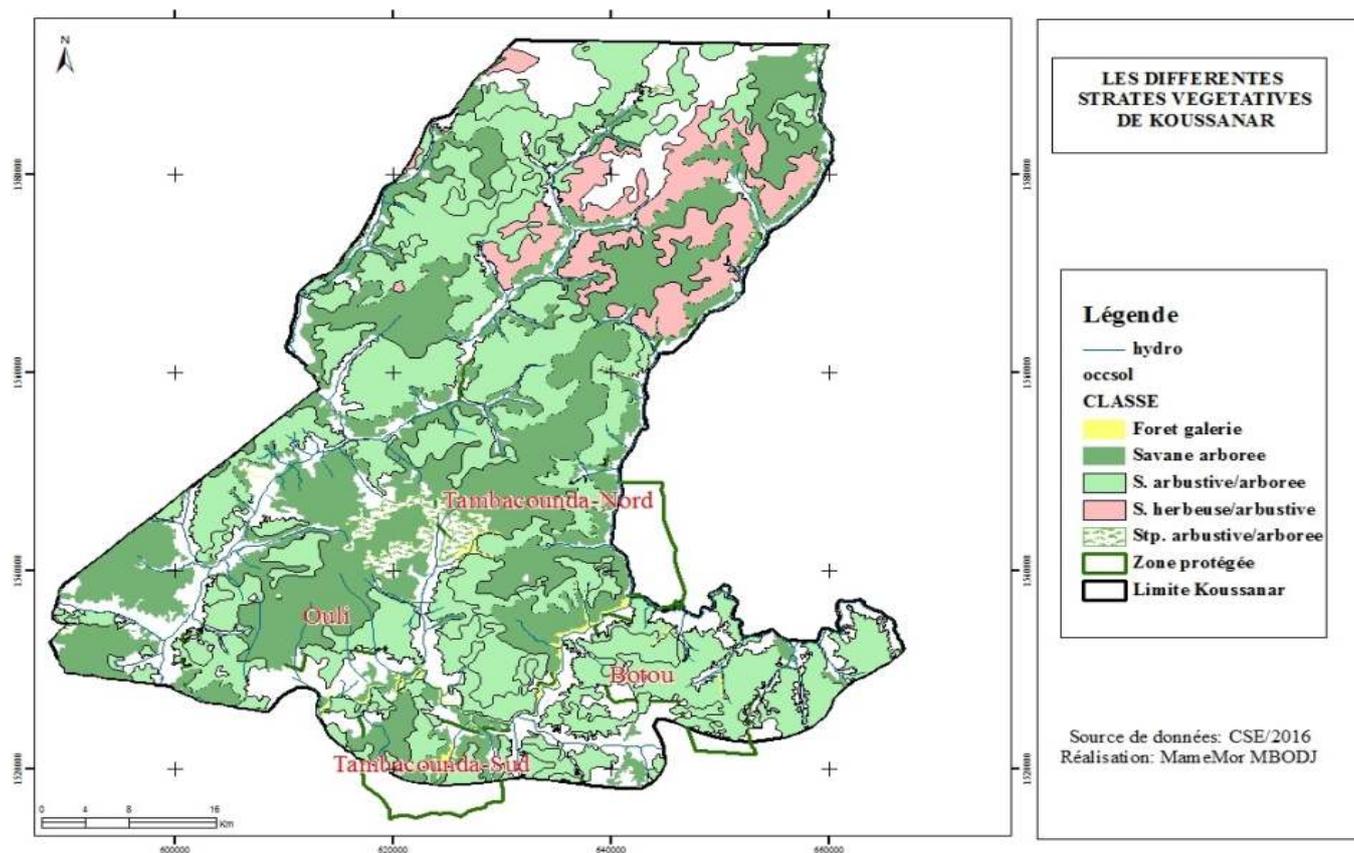
Les enquêtes et observations sur le terrain ont révélé que l'essentiel des feux qui se déclarent dans l'arrondissement de Koussanar sont des feux de surface, quelques feux de cime sont notés au mois de mai. (Voir Photo 1).



Photo 1. Passage d'un feu de surface forêt classée de Tamba (Mbodji, 2016)

3.2 ELABORATION DES DIFFÉRENTES CARTES PAR UTILISATION DES DONNÉES SATELLITALES

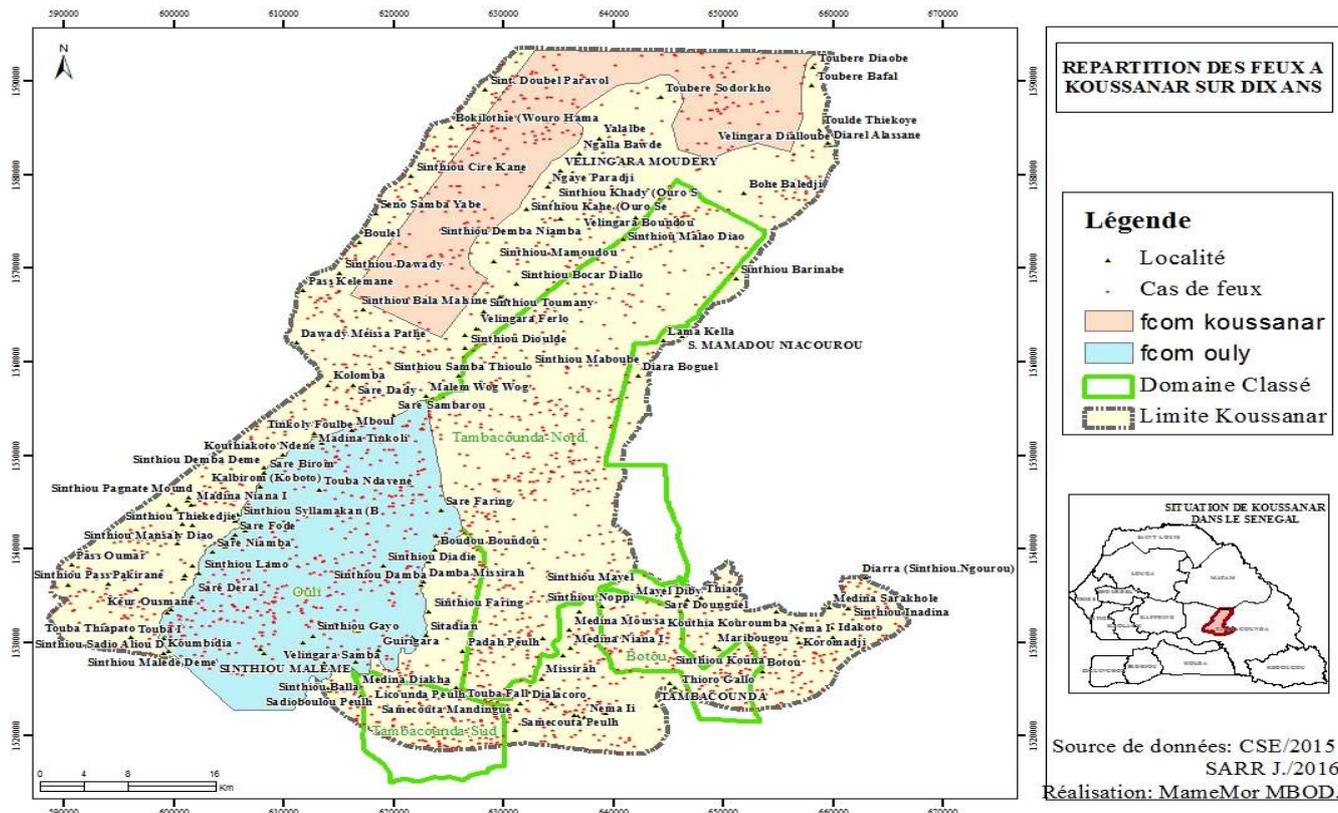
3.2.1 CARTE DES FORMATIONS VÉGÉTALES



Carte 2 : Les formations végétales dans l'arrondissement de Koussanar

3.2.2 CARTE DE LA RÉPARTITION DES FEUX DANS LE SITE D'OCTOBRE 2005 À FÉVRIER 2015

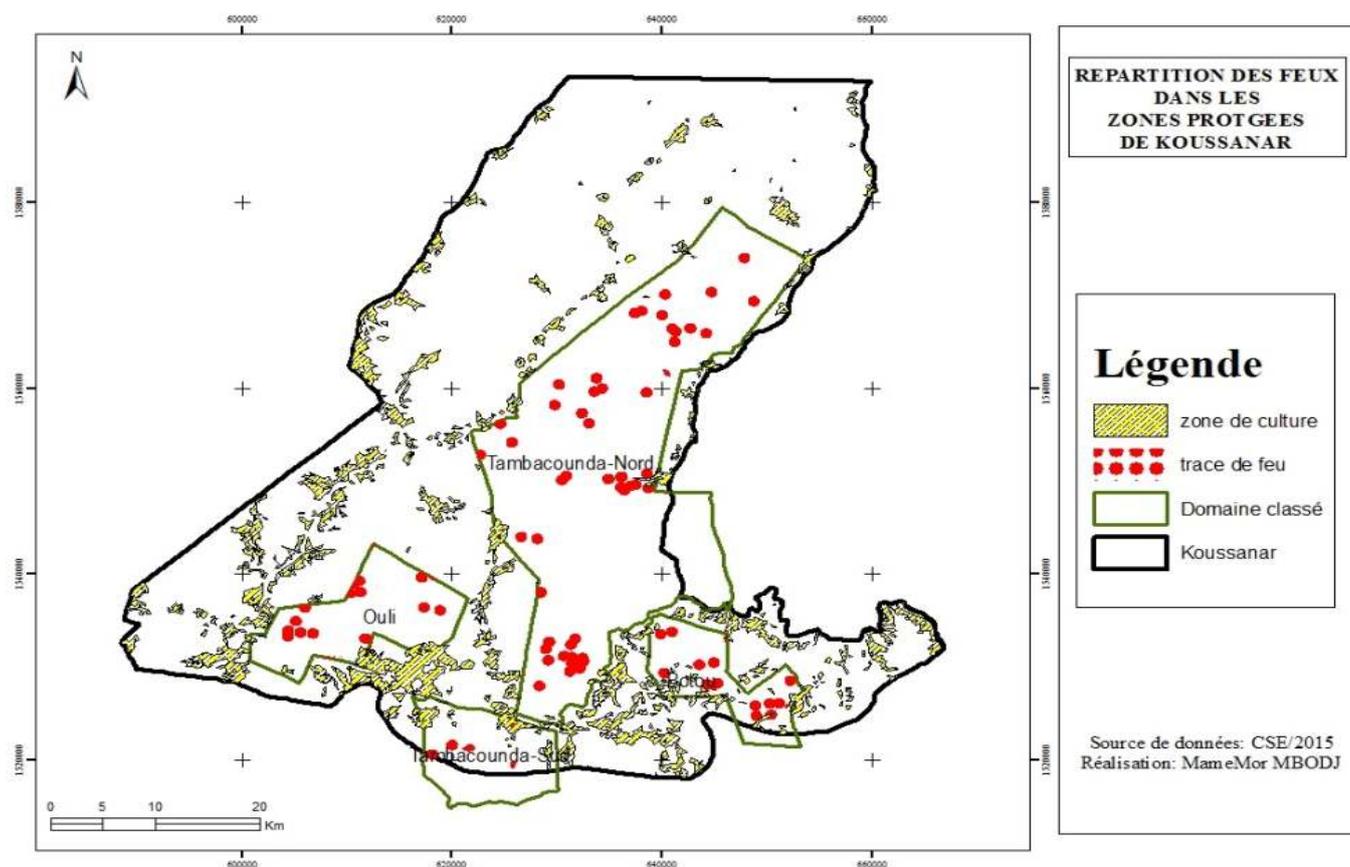
D'octobre 2005 à février 2015, mille sept cent quarante-quatre (1744) foyers de feux se sont déclarés dans l'arrondissement de Koussanar. (Carte 3)



Carte 3: Répartition des feux dans l'arrondissement de Koussanar entre octobre 2005 et février 2015

3.2.3 CARTE DE RÉPARTITION DES FEUX DANS LE DOMAINE CLASSÉ (FORÊTS CLASSÉES) D'OCTOBRE 2005 À FÉVRIER 2015

Le domaine classé (Forêts classées) de Koussanar présente une superficie brûlée de 48995 hectares sur la période d'étude dans l'arrondissement, représentant les 49,65 % des surfaces brûlées avec des superficies variables pouvant aller jusqu'à 3000 hectares par occurrence de feu



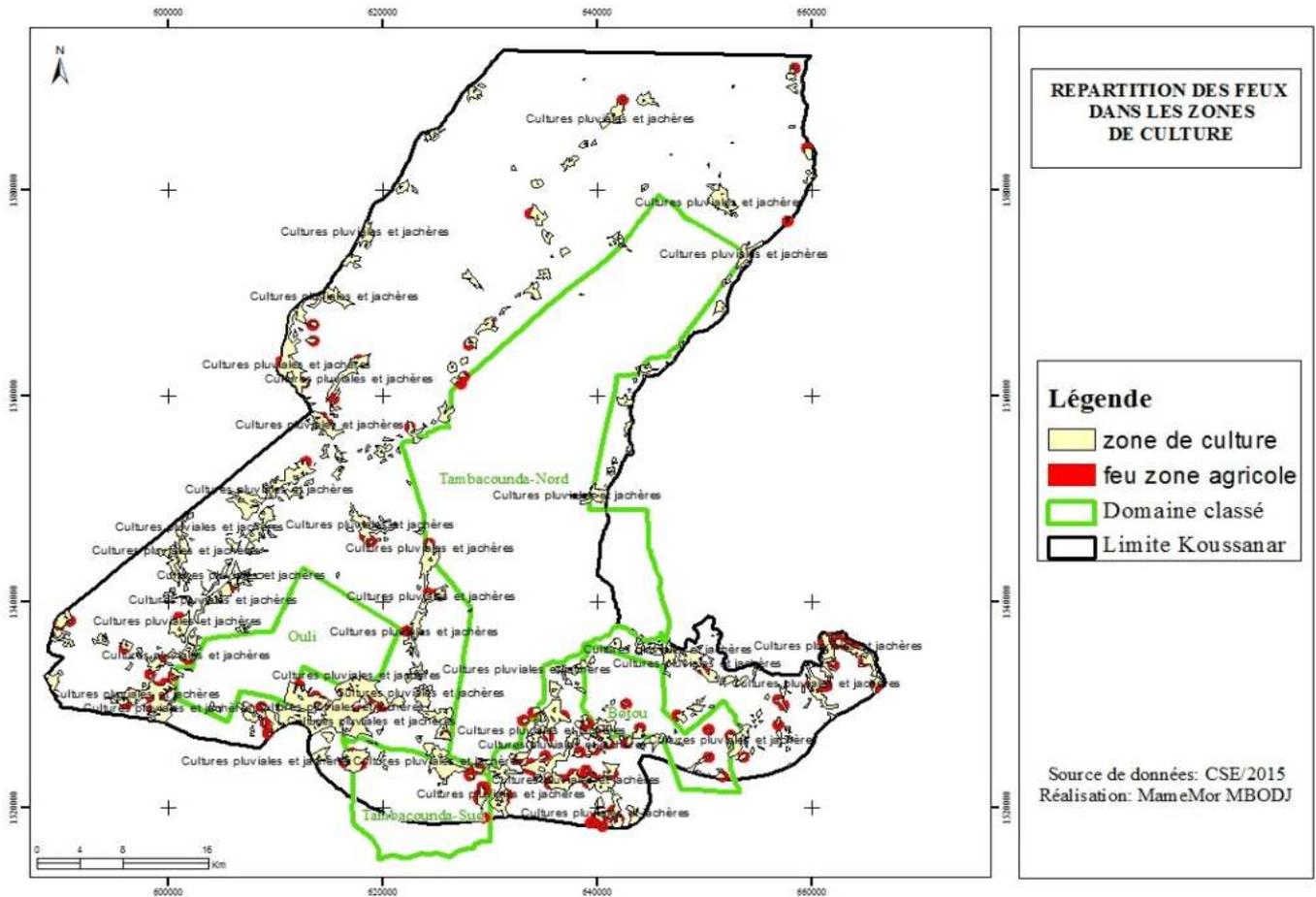
Carte 4 : Répartition des feux dans le domaine classé (Forêts classées) entre octobre 2005 et février 2015

Tableau 1. Statistique des occurrences de feux dans les forêts classées de Koussanar de 2005 à 2015

Rubrique	Chiffres
Nombre de cas de feu	172
Superficie minimale (ha)	78
Superficie maximale (ha)	3365
Superficie totale (ha)	48995
Moyenne (ha)	284,8547

3.2.4 CARTE DE RÉPARTITION DES FEUX DANS LES ZONES DE CULTURE D'OCTOBRE 2005 À FÉVRIER 2015

Les zones de culture situées au Sud de l'arrondissement ont connu plus d'occurrence de feux que celles situées au Centre et au Nord.



Carte 5 : Répartition des feux dans le domaine classé (Forêts classées) entre octobre 2005 et février

Tableau 2 : Statistique des occurrences de feux dans les zones de culture de Koussanar de 2005 à 2015

Rubrique	Chiffres
Nombre de cas de feu	87
Superficie minimale (ha)	78
Superficie maximale (ha)	471
Superficie totale (ha)	9927
Moyenne (ha)	114,1034

3.2.5 EVOLUTION DES SUPERFICIES BRÛLÉES ET DES NOMBRES DE FEUX.

- Par saison

L'évolution des superficies brûlées pendant les 10 ans (2005-2015) est montrée par la *figure 3*. Nous constatons également que les saisons 2005-2006 et 2010-2011 sont les périodes où il y'a eu plus d'incendies dans la zone avec des pics importants correspondant à respectivement 12615,84 et 15121,20 hectares brûlées pendant ces deux saisons. Ce qui représente 28,11% de la superficie totale brûlée pendant la période d'étude. La moyenne des superficies brûlées par saison est de 9867,62 hectares.

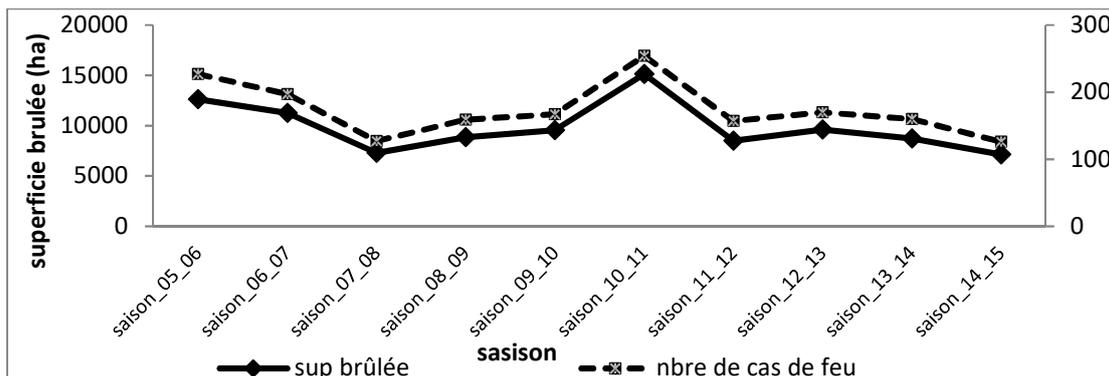


Figure 3: Evolution du nombre et de la superficie des feux sur Koussanar de 2005 à 2015

• Mensuelle par saison

Entre 2005 et 2015, les superficies brûlées à Koussanar ont varié entre 7306,83 ha et 15121,20 ha par saison, la saison 2007-2008 s'est distinguée des autres par sa faible superficie affectée par les feux (7306,83 ha). La plupart des superficies brûlées l'ont été au début de la saison sèche ; la saison des feux débute généralement dès le mois d'octobre dans la zone de Koussanar avec des superficies importantes. Les résultats montrent d'une manière générale que les surfaces affectées par les feux augmentent d'octobre à novembre puis baissent à partir de décembre jusqu'à la fin de la saison. (Figure 4). Suivant les saisons, une certaine régularité de l'évolution des superficies brûlées est notée. Les courbes ont presque les mêmes allures durant les 10 ans d'étude.

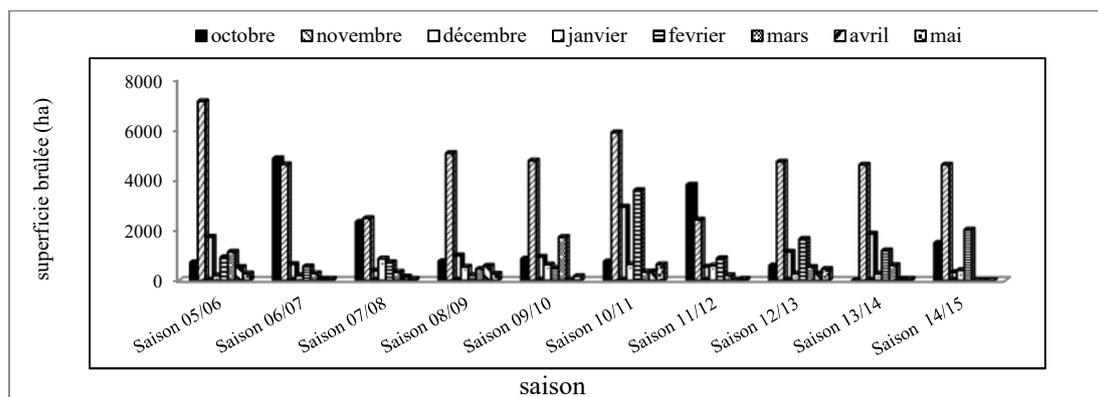


Figure 4 : Evolution saisonnière des feux de l'arrondissement de Koussanar

3.2.6 LES HEURES D'OCCURRENCE DES FEUX

L'exploitation des données satellitaires a montré aussi que la plupart des feux se déclarent généralement entre 11h et 14h de la journée.

3.2.7 COMPARAISON DES MÉTHODES DE SUIVIES DE L'ÉVOLUTION DES FEUX

L'exploitation des données (2012 à 2015) de la brigade forestière de Koussanar sur les feux a montré une certaine différence sur les surfaces brûlées par les feux. Cependant les surfaces brûlées obtenues à partir des données MODIS sont nettement supérieures à celles obtenues par la brigade forestière (Figure 5).

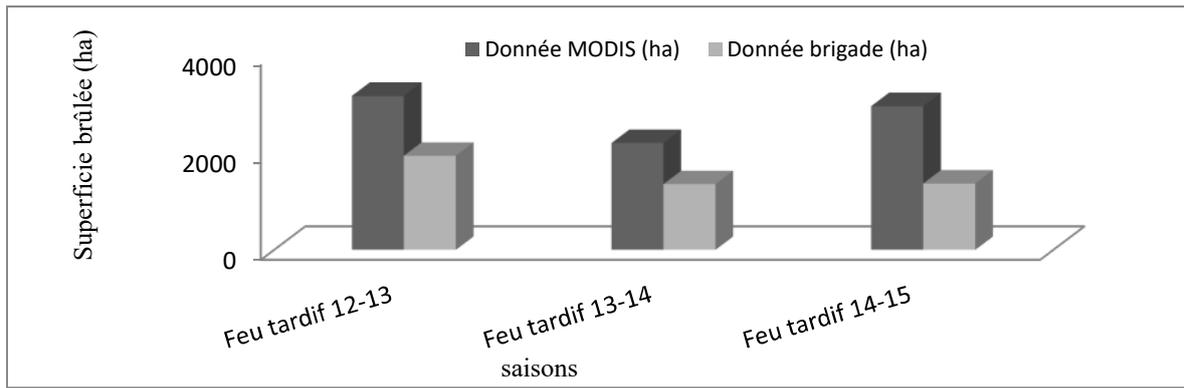


Figure 5 : Comparaison des superficies brûlées données

4 DISCUSSIONS

Dans le cadre de l'évolution spatio-temporelle des feux de brousse, l'étude a montré que la saison des feux à Koussanar peut être divisée en deux grandes phases : une phase de recrudescence des feux qui va d'octobre à décembre, et une phase de faible fréquence des feux qui couvre le reste de la saison sèche. Ceci est un peu différent des résultats de [15]: « L'analyse temporelle des feux de brousse montre deux grandes phases d'évolution. Une première qui montre une forte fréquence des feux (novembre-mars) et une deuxième période caractérisée par une fréquence de feu faible (avril-juin) ». Quant à [10] a trouvé que globalement, la saison des feux s'étend du mois d'octobre au mois de mai et que la plupart des superficies brûlées l'ont été au début de la saison sèche (entre octobre et janvier), quelle que soit la zone écologique considérée. Les rapports mensuels produits par la brigade forestière de Koussanar viennent confirmer que la saison des feux à Koussanar s'étend d'octobre à mai de l'année suivante.

Le mois de novembre occupe près de 60% des superficies brûlées par saison et correspond à la période des feux précoces. Ceci est différent des résultats de [12] qui sur un total de 820 pixels de feu, enregistrés sur la série temporelle de 1996-1997, les 584 sont des feux de décembre, soit 71% des feux.

Selon [10], la taille moyenne des feux dans les zones nord-soudanienne et sud-soudanienne est respectivement 67,25 hectares et 67,41 hectares mais avec des écart-types très élevés, ceci confirme nos résultats. En effet nous avons trouvé que la moyenne des feux à Koussanar est de 70,04 hectares avec une variabilité de 10,24 à 470 hectares par occurrence de feux.

Entre 2005 et 2015, les superficies brûlées à Koussanar ont varié entre 7306,83 ha et 15121,20 ha par saison ; la saison 2007-2008 s'étant distinguée des autres par sa faible superficie affectée par les feux (7306,83 ha). La baisse des surfaces brûlées pendant la période 2007-2009 est explicable d'une part par la baisse de la pluviométrie et d'autre part par la présence sur le terrain du Fonds Mondial Environnement financé par la Banque Mondiale qui, à l'époque, avait équipé les CVD en matériel de lutte et a renforcé les séances de sensibilisation.

Malgré la présence d'un pare-feu périmétral, la forêt classée de Tamba Nord brûle beaucoup plus que les autres forêts classées, car elle est ceinturée par plusieurs villages, et est traversée par beaucoup de pistes ainsi que de routes secondaires, situation à laquelle s'ajoute son importante étendue. Les enquêtés ont aussi évoqué la forte présence des exploitants clandestins dans la forêt, ce qui augmente le risque de feu.

L'exploitation des données satellitaires a montré que la plupart des feux se déclarent généralement entre 11h et 14h de la journée. Les enquêtes ont confirmé que les feux se déclarent généralement entre 10h et 15h de la journée. Les feux actifs détectés sont ceux qui sont actifs au moment du passage du satellite. Au Sénégal, les satellites TERRA et AQUA passent à 10 h 40mn et 15 h 00mn, cette période correspond à une forte activité de feux liée essentiellement aux activités rurales [15].

Le Sud et le Centre brûlent plus que le Nord car la pluviométrie y est importante, donc la quantité de biomasse herbacée produite est considérable. En plus, les CVD du Nord sont plus conscients des risques de feu et de leur impact notamment sur leur bétail et sont plus engagés dans la lutte contre ces feux de brousse.

Le domaine classé qui occupe 1132 km² soit plus de 32% de l'étendue de l'arrondissement présente une superficie de 48995 hectares de forêt brûlés sur la période d'étude représentant les 49,65% des surfaces incendiées. Cela veut dire que le domaine classé est assujéti à plus de risques de feu que les autres parties de l'arrondissement ; situation similaire comme l'a observée

et notée par [12] dans son étude où le Parc National du Niokolo Koba (PNNK) qui représente 25 % des images présente plus de 30 % des feux identifiés pendant une saison entière (1996-1997).

Les zones de culture situées au Sud de l'arrondissement de Koussanar ont connu plus d'occurrence de feux que celles situées au Centre et au Nord, car ces populations pratiquent les feux de débroussaillments (agriculture sur brûlis) surtout pendant le mois de mai.

Dans la comparaison des superficies brûlées des données MODIS et celles de la Brigade forestière, la différence observée est imputable à deux faits :

Au niveau de la brigade forestière ; Ce sont les villageois notamment les commissions de lutte contre les feux des CVD qui avertissent le service forestier du déclenchement des feux. Les enquêtes ont montré que ces feux ne sont signalés que lorsque les biens matériels sont menacés ou quand le feu ravage une superficie très grande. Donc le service forestier ne peut répertorier tous les feux.

Au niveau de la télédétection avec des images MODIS, la procédure d'identification des feux actifs s'accompagne d'un certain nombre de biais qui font que la précision des résultats de l'analyse des images dépend de la prise en compte de quelques contraintes d'ordre méthodologique [12]. Ces contraintes peuvent être situées à deux niveaux :

- - Une sous-estimation des surfaces brûlées : certaines images sont nuageuses et ne peuvent être exploitées, ce qui fait que certains feux actifs ne sont pas géo référencés entraînant de ce fait une perte de données. Le passage du satellite à des heures précises peut entraîner la non identification de certains feux déclarés avant ou après le passage du satellite s'ils sont éphémères.
- - Une surestimation des superficies affectées : selon [17] un pixel de feu de 1 km² peut être classifié comme brûlé dès que les 50% sont affectés, alors qu'un pixel peut ne pas être affecté entièrement. Ceci peut entraîner donc une surestimation des superficies affectées par le feu.

L'ampleur des feux d'une zone donnée est complexe et dépend en partie des caractéristiques topographiques et socio-économiques de la région. C'est pour cela qu'on ne peut tirer des conclusions locales à partir d'une tendance nationale. D'où le besoin de disposer au niveau local d'un service de gestion des données sur le feu. Aujourd'hui la promotion de la télédétection satellitale peut satisfaire cette exigence en raison de son accessibilité.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Pour ce faire, nous avons utilisé les données MODIS (MCD45A1) qui ont l'avantage de donner des informations sur les feux à temps réel et renseignent sur leur distribution spatiale et les données LANDSAT (LE7203050) ayant une meilleure résolution spatiale (30 m). Ces dernières ont été mises à contribution et ont permis de trouver un coefficient de 0,82 pour corriger les superficies trouvées avec MODIS. Tout ce processus a été complété par des enquêtes de terrain pour vérifier certaines observations. En moyenne près de 10000 hectares de végétation brûlent chaque année dans l'arrondissement de Koussanar avec une variabilité assez grande. La plupart des feux se déclarent en début de saison sèche (octobre-Novembre) ; ce sont des feux dits précoces, ils se déclenchent presque dans tout l'arrondissement mais sont surtout localisés dans le domaine protégé. Les feux tardifs interviennent dans la deuxième moitié de la saison sèche et atteignent des proportions importantes en février et mars ; ces feux tardifs sont surtout localisés au Sud de l'arrondissement et dans les forêts classées. Ces dernières sont le lieu de recrudescence des feux. En effet, sur les 10 ans d'étude, près de 50% des superficies brûlées y sont répertoriés. Ces foyers de feu entraînent une perte importante en biomasse soit plus de la moitié de la production totale par an.

REFERENCES

- [1] Guiguindibaye M., Belem M., Boussim J., 2013.- Caractéristiques des feux dans un incendie en savane soudanienne au Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (3) : 1147-1156P.
- [2] Devineau J.L., Fournier A., Ngnan S., 2010.- Savana fire regimes assessment with Modis fire data : their relationship to land cover and plant species distribution in west Burkina faso (West Africa). *Journal of arid environment*, 74 (9): 1092-1101.
- [3] Centre de Suivi Ecologique (CSE). Février 2007.- Etude d'impact des Feux de brousse sur 1' eau, les sols et la végétation dans la partie guinéenne du bassin du fleuve Sénégal. Rapport final, Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS), 131p.
- [4] Anne Fournier, Manaka Douanio, Ali Bene. 2012.

- [5] Pratique et perception des feux de végétation dans un paysage de vergers. Le pays sèmè (Kéné Dougou, Burkina Faso). In Anne Fournier et Urbain Yamago. 2011.
- [6] Pourquoi et comment utiliser le feu comme outil de gestion en savane. Programme CORUS2 2007 : L'homme dans son environnement, (2007-2011) projet 6075, Gestion des activités d'élevage et des feux de végétation et conservation.
- [7] HOOCK J. 1971. Les savanes GUYANAISES : KOUROU, Essai de phytoécologie numérique. MÉMOIRES ORSTOM N°44, Docteur ès-Sciences, ORSTOM PARIS.
- [8] Kluser S., De Bono A., Giuliani G., Peduzzi P., 2004.- Les Feux de Végétation, un impact double pour la planète. Bulletin d'Alerte Environnementale, (3) Programme des Nations Unies pour L'environnement, 4P.
- [9] Louppe D., Ouattara N., Coulibaly A., 1995.- Effet des feux de brousse sur la végétation. BOIS et FORETS DES TROPIQUES, N° 245-3^{ème} trimestre, p. 59-69.
- [10] Collin P., Jappiot M., Mariel A., Cabaret C., Veillon S., Brocchiero F., 2001.- Protection contre l'incendie. Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen. CEMAGREF, Département Gestion des territoires, Unité de recherche : agriculture et forêt méditerranéennes, Cahier Conservation FAO 36, 164p.
- [11] Declaire Y., 1999.- Développement de la gestion des feux de brousse au Sénégal, Rapport GTZ, PSACD Novembre 1999.
- [12] Mbow C., 2005.- Utilisation des données basse et moyenne résolution pour le suivi des feux de brousse et l'analyse des risques d'incendie (MODIS, SPOT4-VEGETATION). *Journal des Sciences pour l'Ingénieur*, 5 : 67 – 77.
- [13] Sow M., 2013. - Caractérisation du risque de feu de brousse dans les savanes du Sénégal par approche expérimentale et par télédétection. Thèse doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Institut des Sciences de la Terre.
- [14] Michel A., GUEYE B., 2010.- Vers une stratégie de Gestion des feux de Brousse dans la zone d'intervention de wula-nafaa (régions de Tambacounda, Kolda et Sédhiou). Rapport USAID/WULA-NAFAA Aout 2010.
- [15] Mbow C., 2000.- Etude des caractéristiques spatio-temporelles des feux de brousse et de leur relation avec la végétation dans le parc national du Niokolokoba (sud-est du Sénégal). Thèse de Doctorat de troisième cycle en sciences de l'environnement, Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, 121p
- [16] Sarr M.-A., Faye G., Beye G., Ndione J.-A., Codjia C., 2015.- Utilisation des données MODIS et de SPOT pour l'analyse de la dynamique de deux territoires : (réserve protégée) et (unités pastorales) au Ferlo (Sénégal). XXVIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 5p.
- [17] Thiam E., 2006.- Activités rurales et patrimoine ligneux : implication des populations, enjeux et perspectives de gestion dans la communauté rurale de Koussanar (département de Tambacounda au Sénégal). Maitrise, Université Gaston Berger de Saint-Louis, 90P.
- [18] Mbow C., 2004.- Rapport sur les feux de brousse au Sénégal pour la saison sèche de novembre 2003 à mars 2004. Institut des Sciences de la Terre, 09p.
- [19] Mbodji M. M. 2016. Etude décennale (2005-2015) par imagerie satellitale de l'évolution spatiotemporelle des feux de brousse dans l'arrondissement de Koussanar, région de Tambacounda
- [20] H.D. Eva, J.-M. Grégoire, P. Mayaux et D. Chevallier, 2003.- Suivi des feux de végétation dans les aires protégées d'Afrique sub-saharienne. Apport des techniques spatiales et des données satellitales pour le suivi des feux en Afrique sub-saharienne. Rapport du Commission Européenne, Direction Générale, Centre Commun de Recherche, 72p.