

## **Dynamique spatio-temporelle de la biomasse fourragère liée aux fluctuations pluviométriques dans le département de l'Alibori au Bénin (Afrique de l'Ouest)**

### **[ Spatio-temporal dynamics of fodder biomass linked to rainfall fluctuations in the Alibori Department in Benin (West Africa) ]**

*Soufouyane Zakari*

Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des SIG, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Institut du Cadre de Vie (ICaV),  
Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2025 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:** Alibori is by excellence, a pastoral cattle breeding region subjected to many climatic constraints which block the development of the rural world. This article studied the impact of the pluviometric fluctuations on the fodder production in the Department of Alibori. For that purpose, the Maximum Value Composite (MVC) method was used for the image processing Landsat OLI/TIRS of 2013 and 2014. The follow-up of the fodder production is made through the decadal data during rain seasons by the growth index standardized (ICN). The chi-square test was used for to evaluate the correlation between the values of ICN and precipitations. The MaxEnt model made it possible to evaluate the level of importance of precipitation in the growth of the fodder resources. The average values of the ICN observed in the sudanian domain are higher than those of the sudano-sahelian field. The evolution of the index of standardized growth follows the gradient south-north. One notes overall a relation between the pace of ICN and the pluviometric height during every year and especially for period of growth ranging between May at September. The studied fodder herbaceous species develop better when monthly pluviometry oscillates around 20 mm. Monitoring the spatio-temporal dynamics of fodder biomass provided a better account of the annual production of crops and pastures, thus making it possible to implement strategies in the spatial mobility of the cattle herd.

**KEYWORDS:** forage resources, growth Index standardized, cattle breeding, rainy season, Alibori.

**RESUME:** L'Alibori est par excellence, une région d'élevage pastoral bovin soumis à de nombreuses contraintes climatiques qui entravent le développement du monde rural. Le présent article a étudié l'impact des fluctuations pluviométriques sur la production fourragère dans le Département de l'Alibori. Pour y parvenir, la méthode de Maximum Value Composite (MVC) a été utilisée pour le traitement des images Landsat OLI/TIRS de 2013 et 2014. Le suivi de la production fourragère est fait à travers les données décennales au cours des saisons des pluies par l'indice de croissance normalisée (ICN). Le test de Pearson a servi pour évaluer la corrélation entre les valeurs de ICN et les précipitations. Le modèle MaxEnt a permis d'évaluer le niveau d'importance de la précipitation dans la croissance des ressources fourragères. Les valeurs moyennes de l'ICN observées dans le domaine soudanien sont supérieures à celles du domaine soudano-sahélien. L'évolution de l'indice de croissance normalisée suit le gradient sud-nord. On note globalement une relation entre l'allure de l'ICN et la hauteur pluviométrique durant toutes les années et surtout pendant la période de croissance comprise entre mai et septembre. Les espèces herbacées fourragères étudiées se développent mieux lorsque la pluviométrie mensuelle oscille autour de 20 mm. Le suivi de la dynamique spatio-temporelle de la biomasse fourragère a rendu davantage compte de la production annuelle des cultures et des pâturages permettant ainsi de mettre en place des stratégies dans la mobilité spatiale du cheptel bovin.

**MOTS-CLEFS:** biomasse fourragère, indice de croissance normalisée, élevage bovin, saison des pluies, Alibori.

## **1 INTRODUCTION**

Les épisodes de sécheresse des années 1970 et 1980 ont imposé une réorganisation de la mobilité dans le sous-secteur élevage en Afrique de l'Ouest. Les pays côtiers à l'instar du Bénin, du Togo et du Ghana constituaient alors des zones d'accueil des transhumants

venant des pays sahéliens. Mais dans ces derniers, des contraintes existent aujourd'hui concernant les ressources alimentaires issues des pâturages qui, normalement, devraient constituer la majeure partie de l'alimentation du bétail [1]. Par exemple, l'accroissement des effectifs du cheptel occasionne la surexploitation des pâturages; l'extension rapide des espaces cultivés et la mise en valeur agricole de certains espaces pastoraux stratégiques (bas-fonds, mares, plaines d'inondation, bourgoutières, etc.) conduisent à l'obstruction des couloirs de transhumance et à la réduction des ressources pastorales avec ses corollaires [2].

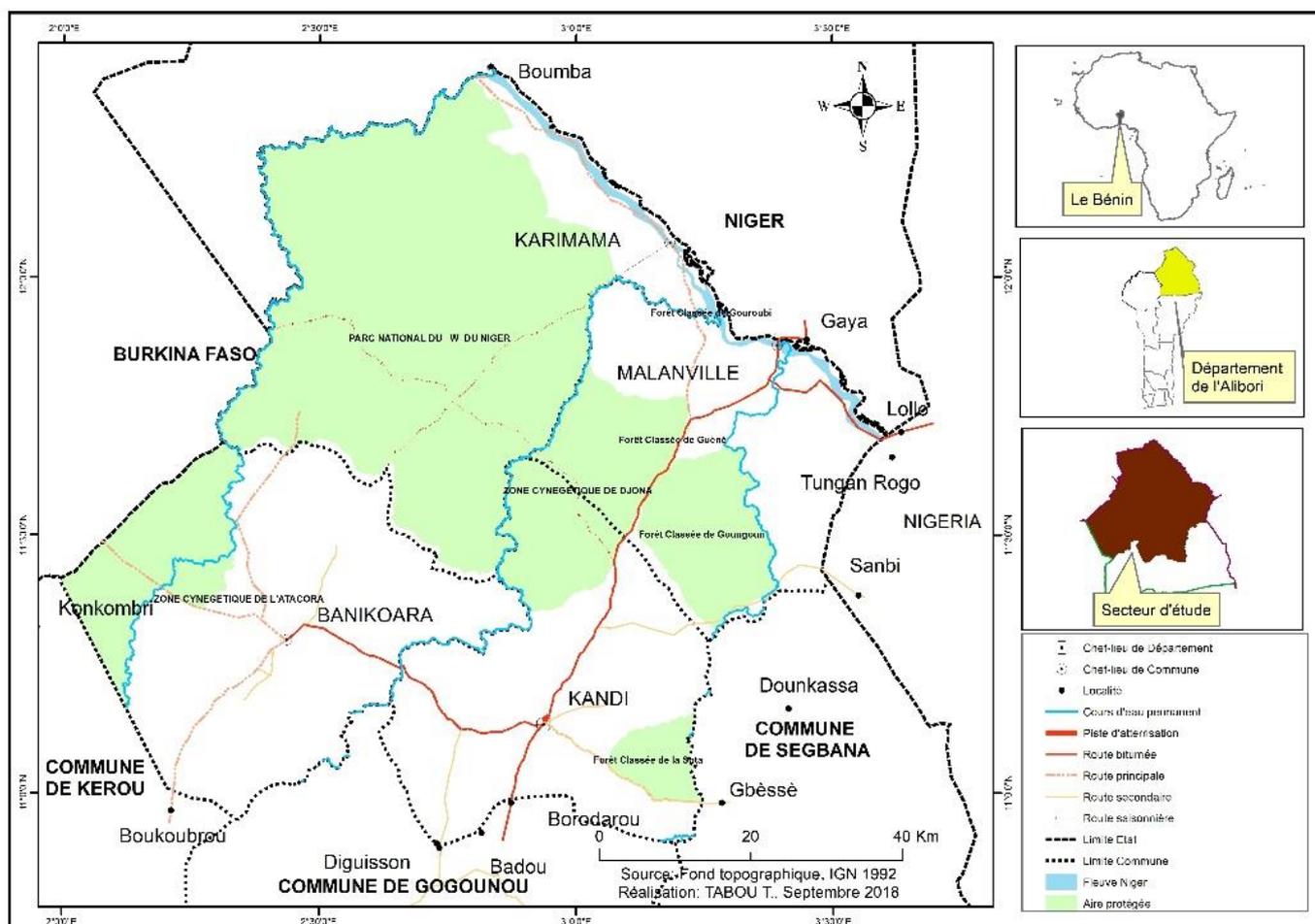
Outre ces contraintes anthropiques, l'élevage pastoral rencontre d'autres difficultés qui sont de plus en plus récurrentes et réduisent les revenus issus de l'activité. En effet, l'analyse de la vulnérabilité a permis de faire remarquer que l'élevage bovin fait partie des activités économiques les plus vulnérables aux changements environnementaux et que les éleveurs craignent plus les sécheresses et les inondations que les baisses de la pluviométrie [3]. Face aux questionnements sur la vulnérabilité de l'élevage aux différentes contraintes climatiques et environnementales, il est utile d'explorer la disponibilité temporelle de ressources fourragères. Cette démarche permettrait aux agropasteurs de renforcer les stratégies endogènes d'adaptation en cas d'occurrence de ces contraintes climatiques afin d'atténuer les effets sur les troupeaux.

Plusieurs travaux se sont intéressés sur les problèmes liés à l'élevage pastoral au Bénin ([4], [5], [6]). La présente recherche s'intéresse en particulier la question de la dynamique des ressources fourragères.

## 2 MATERIEL ET METHODE

### 2.1 MILIEU D'ETUDE

Le département de l'Alibori jouit des climats soudanien et soudano-sahélien. Le milieu d'étude est comprises entre les latitudes 10°54' et 12°24' Nord et les longitudes 2° et 3°36' Est et couvre une superficie de 17182 Km<sup>2</sup> dont près de la moitié est occupée par les aires protégées (figure 1). Ces deux climats présentent la même tendance pluviométrique (figure 2).



**Fig. 1. Localisation du milieu d'étude**

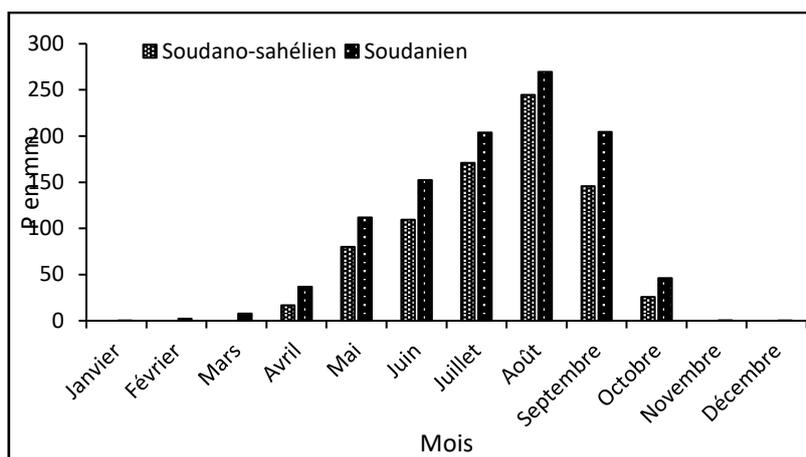


Fig. 2. Régime pluviométrique des domaines soudanien et soudano-sahélien

## 2.2 DONNEES UTILISEES

### 2.2.1 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Pour éviter l'utilisation de données pluviométriques avec beaucoup de lagune, seules les stations synoptiques de Gaya et de Kandi ont été prises en compte dans l'étude. Ces données climatologiques sont celles de la série 1981-2017. Cette série prend en compte les années 80 qui sont considérées comme une période où toutes les activités agricoles et principalement l'élevage ont connu une baisse historique de productivité dans le sahel. C'est en ce moment donc que les éleveurs transhumants se sont plus intéressés aux aires de pâturage des pays côtiers.

Les données sont collectées à l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar) et dans les laboratoires du campus d'Abomey-Calavi. Les données collectées sur le site <https://freemeteo.fr> ont permis de faire la comparaison des jours pluvieux.

### 2.2.2 DONNEES SATELLITAIRES

Elles sont relatives aux images Landsat OLI/TIRS d'accès libre, d'une résolution spatiale de 30 m et de résolution temporelle de 16 jours. Les images Landsat utilisées sont celles des deuxièmes décades d'avril, mai; des premières décades de juin, septembre et octobre puis celle de la troisième décade de juillet. La série chronologique de l'étude est de 2013 à 2017. En effet, les images satellitaires utilisées ne sont disponibles qu'à partir de 2013 et le MVC (Max Value Composite) n'utilise que des images de mêmes caractéristiques. Ces images de la scène (P192 et R052) ont été téléchargées sur le site [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov). Le choix de ces images sur les décades concernées répond à certains critères: l'image doit être de la décade concernée et le taux de couverture nuageuse ne dépasse pas 1 % de la superficie totale. Ces critères ont permis d'écarter les images des décades du mois d'août qui est le seul mois de l'année où le bilan hydrique est supérieur à l'ETP dans le milieu soudano-sahélien [7].

## 2.3 METHODE DE COLLECTE DE DONNEES

Pour la modélisation de la niche climatique et l'évaluation de la production des parcours naturels, le GPS a servi à la prise des coordonnées géographiques de quelques points sur les parcours de Malanville et Kandi puis à compléter les points pris sur les parcours des communes de Karimama et Banikoara par [8]. Certains de ces points ont également servi de points de présence des espèces *Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia barteri*, *Hyparrhenia rufa* et *Pennisetum purpureum*. Les valeurs de ces points ont été extraites des données raster de ICN (indice de croissance normalisée) de toutes les images décadaires à l'aide du logiciel ArcGIS 10.4.

## 2.4 METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNEES

### 2.4.1 MODELE MAX VALUE COMPOSITE (MVC)

Le traitement des images Landsat réalisé avec ENVI 5.1 (figure 3). Les bandes 4 (rouge) et 5 (infrarouge) ont été utilisées pour le calcul du NDVI puis de l'ICN dont les formules sont respectivement:

$$NDVI = \text{float}(b5) - b4 / \text{float}(b5) + b5 \quad (1)$$

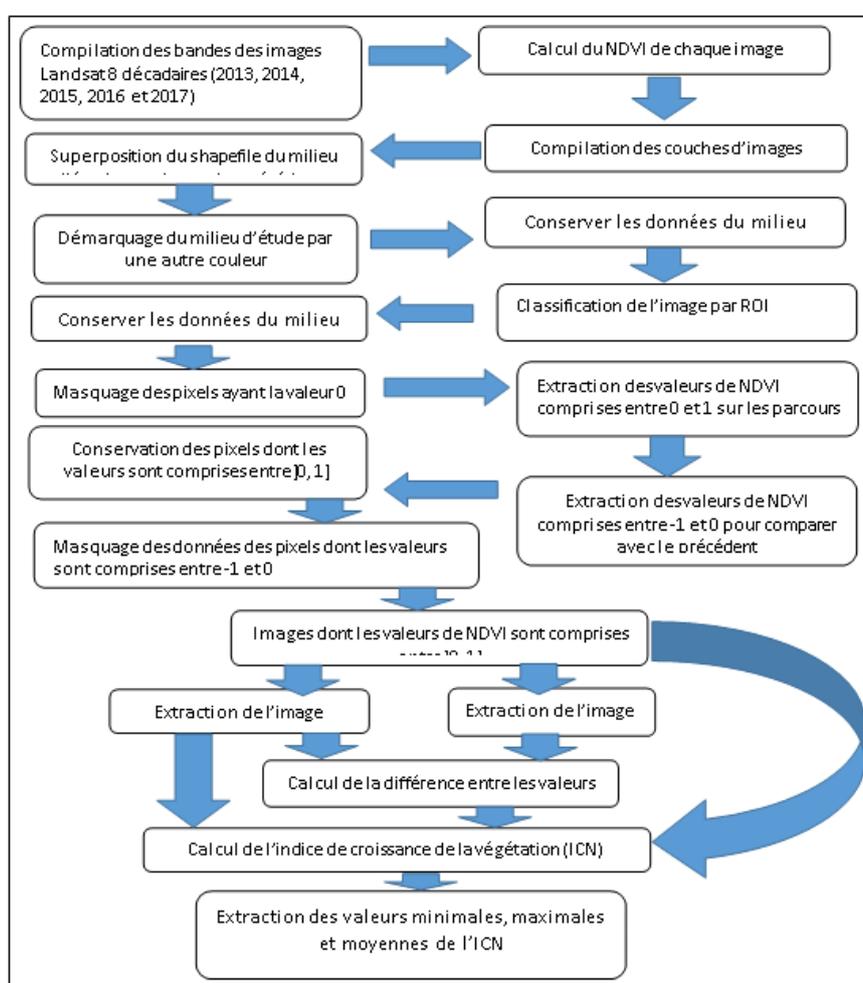
$$ICN = \frac{100(NDVI_d - NDVI_{minsp})}{(NDVI_{maxsp} - NDVI_{minsp})} \quad (2)$$

Où NDVI<sub>d</sub> est le NDVI de la décade considérée; NDVI<sub>maxsp</sub> et NDVI<sub>minsp</sub> sont respectivement les NDVI maximum et minimum calculés sur la saison des pluies considérée. Dans le cadre de cette étude la saison des pluies commence à la deuxième décade d'avril et se termine en octobre.

#### 2.4.2 METHODE D'ANALYSE DES DONNEES

Le tableur Excel a été utilisé pour réaliser les graphes sur la variation intra-saisonnière de ICN et des précipitations mensuelles. Le logiciel MINITAB a servi au test de Kruskal-Wallis relatif à la production temporelle de la biomasse fourragère. La spatialisation de la production spatio-temporelle fourragère de 2013 et 2014 a été possible grâce à ArcGIS 10.4. Le choix de ces deux années sur les cinq est motivé par le fait que l'année 2014 a connu une meilleure répartition pluviométrique dans le temps et 2013 est l'année ayant connu un début tardif et une mauvaise répartition. Le programme MaxEnt a permis de faire la modélisation de la niche écologique des espèces fourragères.

La figure 3 présente le processus de traitement et transformation des images décadaires en raster de ICN

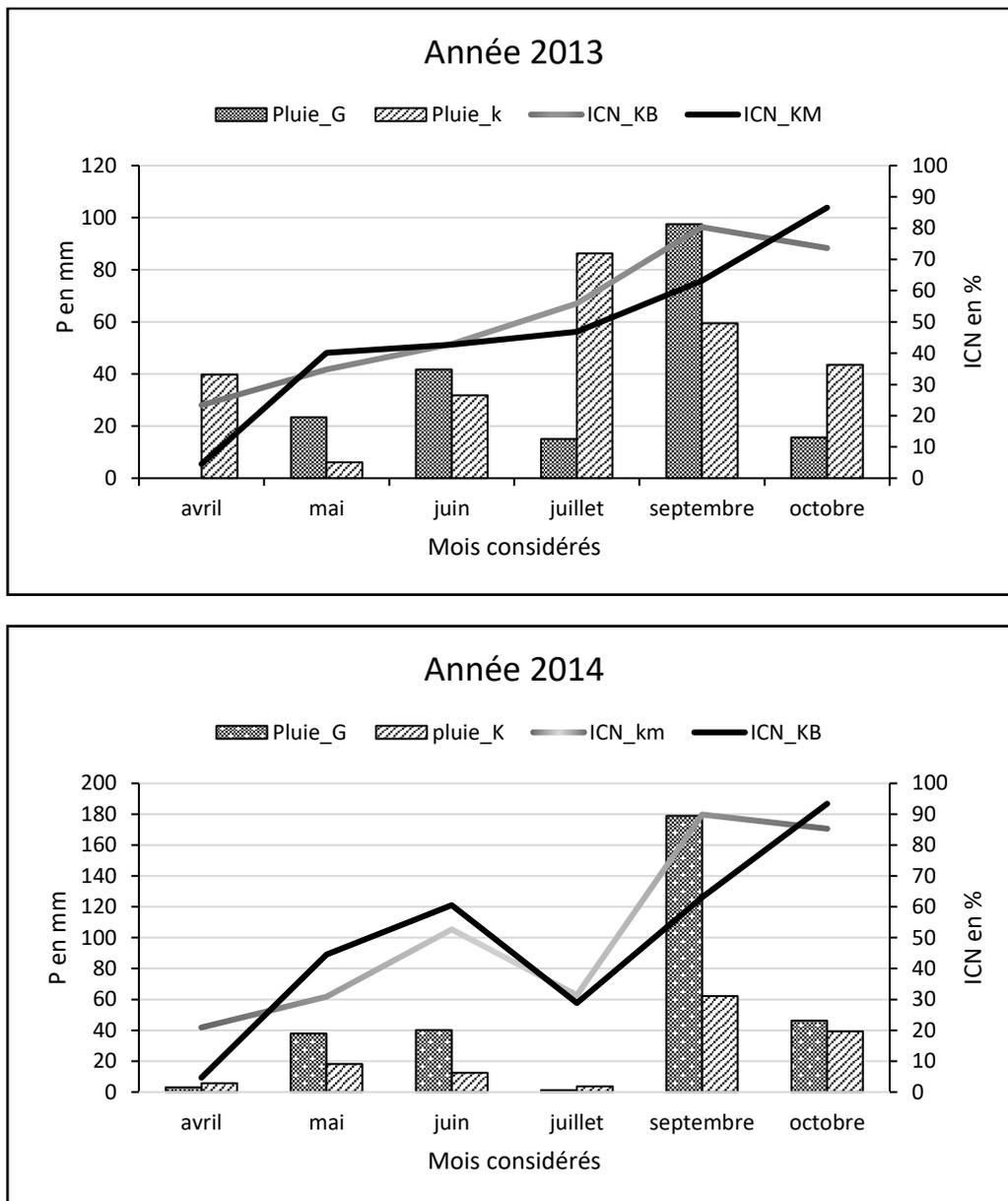


**Fig. 3. Processus de traitement et transformation des images décadaires en raster de ICN**

### 3 RESULTATS

#### 3.1 DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE LA BIOMASSE FOURRAGERE AU COURS DES SAISONS UTILES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ALIBORI

Les changements intervenus dans la croissance de la biomasse fourragère au cours des saisons des pluies de 2013 et 2014 dans les parcours de pâturage des communes de Banikoara, Kandi, Karimama et Malanville sont analysés à partir des valeurs moyennes décadaires de l'ICN et des hauteurs de pluie des décades précédentes (Figure 4).



**Fig. 4.** Variation intra-saisonnière de l'indice de croissance normalisée (ICN\_km) sur le domaine soudano-sahélien et (ICN\_KB) soudanien en relation avec la pluviométrie des stations synoptiques de Gaya (Pluie\_G) et celle de Kandi (Pluie\_K)

L'analyse comparée des valeurs de l'ICN sur les deux domaines montre des tendances d'évolution saisonnière différentes. Les valeurs moyennes de l'ICN observées dans le domaine soudanien sont supérieures à celles du domaine soudano-sahélien. L'évolution de l'indice de croissance normalisée suit le gradient sud-nord. Dans la deuxième décennie d'avril dans le domaine soudano-sahélien, les valeurs moyennes sont 4,54 et 4,67 respectivement pour les années de 2013 et 2014. Dans la première décennie de 2013, les précipitations n'avaient pas démarré et en 2014 seulement 3,10 mm de pluie ont été enregistrée dans la zone soudano-sahélienne alors que la soudanienne avait déjà connu des précipitations de hauteurs respectives 39,4 mm et 5,7 mm avec des valeurs de 23, 4 et 20,92 de ICN moyenne respectivement en 2013 et 2014.

En milieu soudanien, au cours de la saison végétative de 2013, la valeur moyenne de l'indice ICN dans la deuxième décennie est de 34,8 et la hauteur de la précipitation de la décennie précédente est d'environ 6,10 mm. Mais en 2014, la valeur moyenne de ICN est de 30,89 pour une précipitation d'environ 18,10 mm. La tendance dans l'évolution de l'ICN est la même en juin où sa valeur moyenne est de 42,9 contre 31,9 mm pour la précipitation en 2013. L'année 2014 a enregistré un ICN moyen de 52,67 avec une précipitation de 12,4 mm pour la troisième décennie de mai qui précède celle du passage du capteur. L'analyse de corrélation de Pearson confirme cette tendance dans l'évolution de l'ICN et de la précipitation ( $P=0,01$  et  $R=-1$ ). Dans les décades concernées de juillet et septembre (respectivement la troisième et la première), les valeurs du coefficient de corrélation sont positives ( $P=0,01$  et  $R=1$ ). L'évolution de l'indice ICN sur la saison des pluies de 2014 a connu une chute dans la troisième décennie de juillet avant d'atteindre son optimal en septembre 89,87. En octobre, les valeurs de l'ICN et les hauteurs de précipitation sont négativement corrélées ( $P=0,01$  et  $R=-1$ ).

Le milieu soudano-sahélien sur les deux années a connu une corrélation positive entre l'ICN et la hauteur des précipitations enregistrées dans le mois de mai ( $P= 0,01$  et  $R=1$ ) tandis que dans le mois de juin elle est négative ( $P= 0,01$  et  $R= -1$ ). L'année 2014 en domaine soudanien a été marquée par un pic faible de l'ICN dans la troisième décennie de juillet précédé par une décennie de faible pluviométrie (1,20 mm). Néanmoins, la corrélation entre l'indice et la précipitation sur cette période de juillet est très significative et positive. Quant à la corrélation entre l'indice ICN de la première décennie de septembre et la précipitation de la précédente, elle est négative. Il en est de même sur la décennie d'octobre étudiée.

La grande différence constatée entre les valeurs de l'indice de croissance normalisée dans la deuxième décennie d'avril sur les deux domaines montre qu'au cours de certaines années vers la fin du mois d'avril qu'il y a quelques événements pluvieux qui interviennent et changent les conditions hydriques de la végétation dans le soudanien. La valeur négative du coefficient de corrélation en zone soudanienne sur les mois de mai et juin illustre l'impact négatif des grandes pluies sur le début de la saison végétative. En effet, plus la précipitation augmente au cours de cette période de début de croissance moins les herbacées et les cultures croissent. Les espèces fourragères n'ont pas seulement besoin de pluie, les températures et l'évapotranspiration jouent elles aussi leurs partitions. Cette période sensible de la croissance végétative dans le milieu soudano-sahélien correspond au mois de juin. C'est dans ce mois que les herbacées amorcent leur croissance dans la zone. Mais l'apparition de séquences sèches en ce moment constitue un grand obstacle pour cette croissance. Ces séquences sèches impactent négativement l'évolution des espèces végétales surtout quand elles sont de longue durée. La deuxième décennie du mois de juillet 2014 a connu une séquence sèche de 9 jours en milieu soudano-sahélien et 7 jours dans le soudanien. Cette interruption a bouleversé l'évolution de la végétation qui se traduit par la chute de l'indice ICN dans son évolution. La corrélation négative entre ICN et les précipitations dans la zone soudano-sahélienne au cours du mois de septembre montre que le front intertropical (dont la présence est porteuse de précipitation) se retire vers le milieu soudanien. Dans ce milieu lorsque la fin de la saison est précoce cela peut agir sur la maturité de certaines espèces fourragères. Mais c'est dans ce cas de figure qu'il y a abondance de fourrage car les espèces très appréciées à maturité le sont moins et les cultures de maïs, sorgho, niébé et autres n'atteignant la fin de leur cycle, leurs résidus sont plus convoités. La conséquence négative de telle fin de saison des pluies est le tarissement précoce des points d'abreuvement.

### **3.2 CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES RESSOURCES FOURRAGERES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ALIBORI**

#### **3.2.1 SPATIALISATION DES RESSOURCES FOURRAGERES EN DEBUT ET FIN DE LA SAISON DES PLUIES**

La distribution spatiale de l'indice de croissance normalisée a permis d'apprécier la dynamique spatio-temporelle intra-saisonnière de la biomasse fourragère. Elle a également servi dans la caractérisation des espaces agro-pastoraux. La figure 5 présente la distribution de l'ICN sur le domaine soudanien (Banikoara et Kandi) et le domaine soudano-sahélien (Karimama et Malanville) au cours des saisons des pluies de 2013 et 2014.

Les figures 5a et 5a' (saison des pluies 2013) et les figures 5g et 5g' (saison des pluies 2014) présentent l'état de la végétation respectivement en domaine soudanien et soudano-sahélien dans la deuxième décennie d'avril. On constate que les valeurs de ICN sont majoritairement très faibles dans l'ensemble des deux zones.

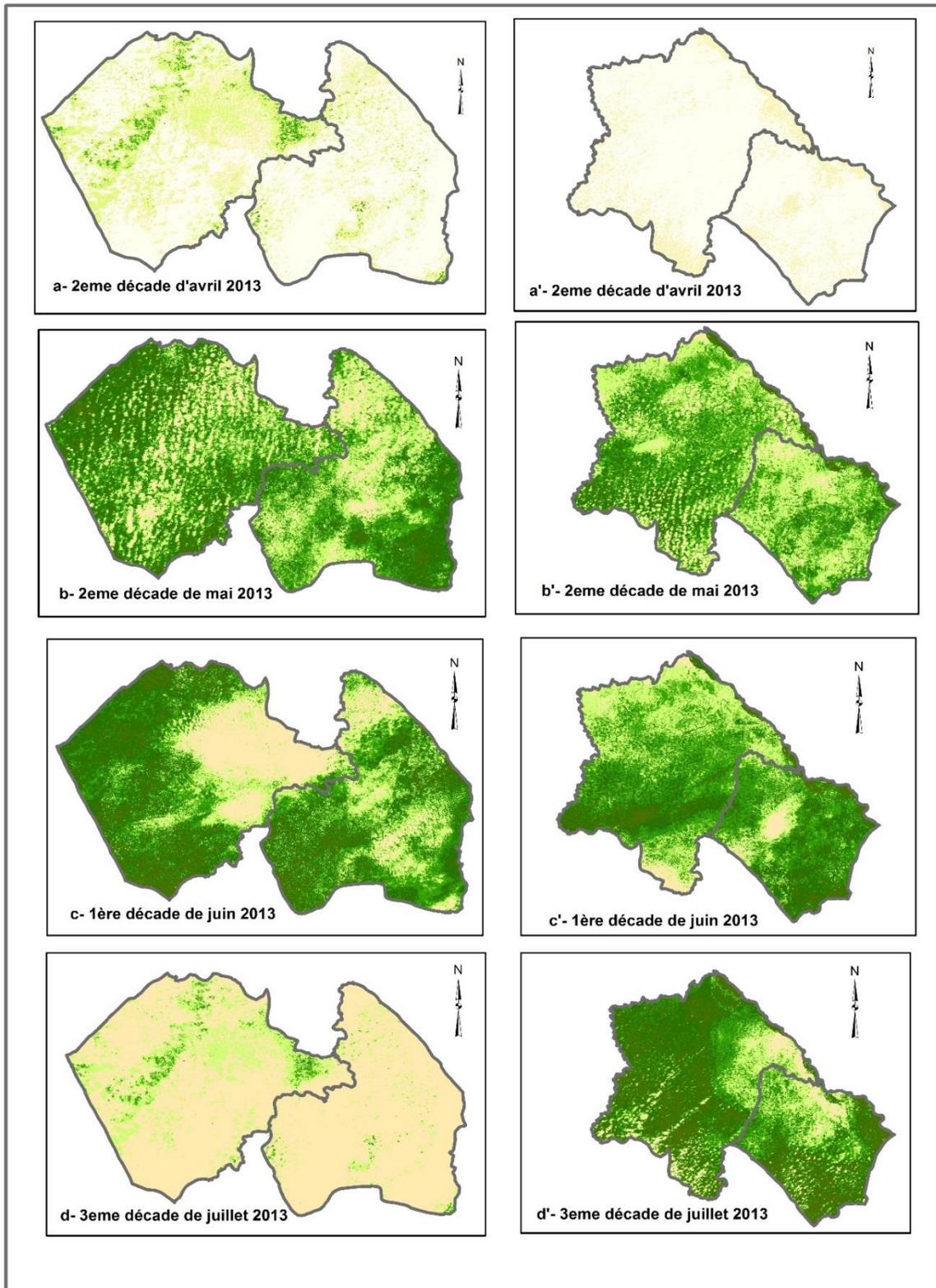
L'analyse de la (figure 5b, 5b', 5c et 5c') montre que la dynamique temporelle de la biomasse fourragère n'est pas régulière durant les décennies du début de la saison des pluies de 2013. Le niveau de croissance dans la deuxième décennie de mai est supérieur à celui constaté dans la première décennie de juin. Le domaine soudanien affiche des valeurs d'ICN moyennes (27,98 % de la superficie du milieu), faibles (27,42 %), fortes (26,08 %) et très faibles (10,55 %) dans la deuxième décennie du mois de mai. En première décennie de juin ces valeurs sont fortes (27 % de la superficie du milieu), moyennes (23,86 %), faibles (19,23 %) et très faibles (15,99 %). En milieu soudano-sahélien, les valeurs de l'ICN sont faibles (38,84 % de la superficie du milieu soudano-sahélien) et très faibles (7,03 %) au nord-ouest de Malanville, au nord de Karimama dans la zone libre, moyennes (35,43 %) et fortes (14,4 %) dans les aires protégées au cours du mois de mai. Par contre le mois de juin enregistre 35,48 % de croissance pour la classe (30-50), 26,31 % pour (10-30), 23,95 % pour (50-75) et 9,37 % pour (0-10).

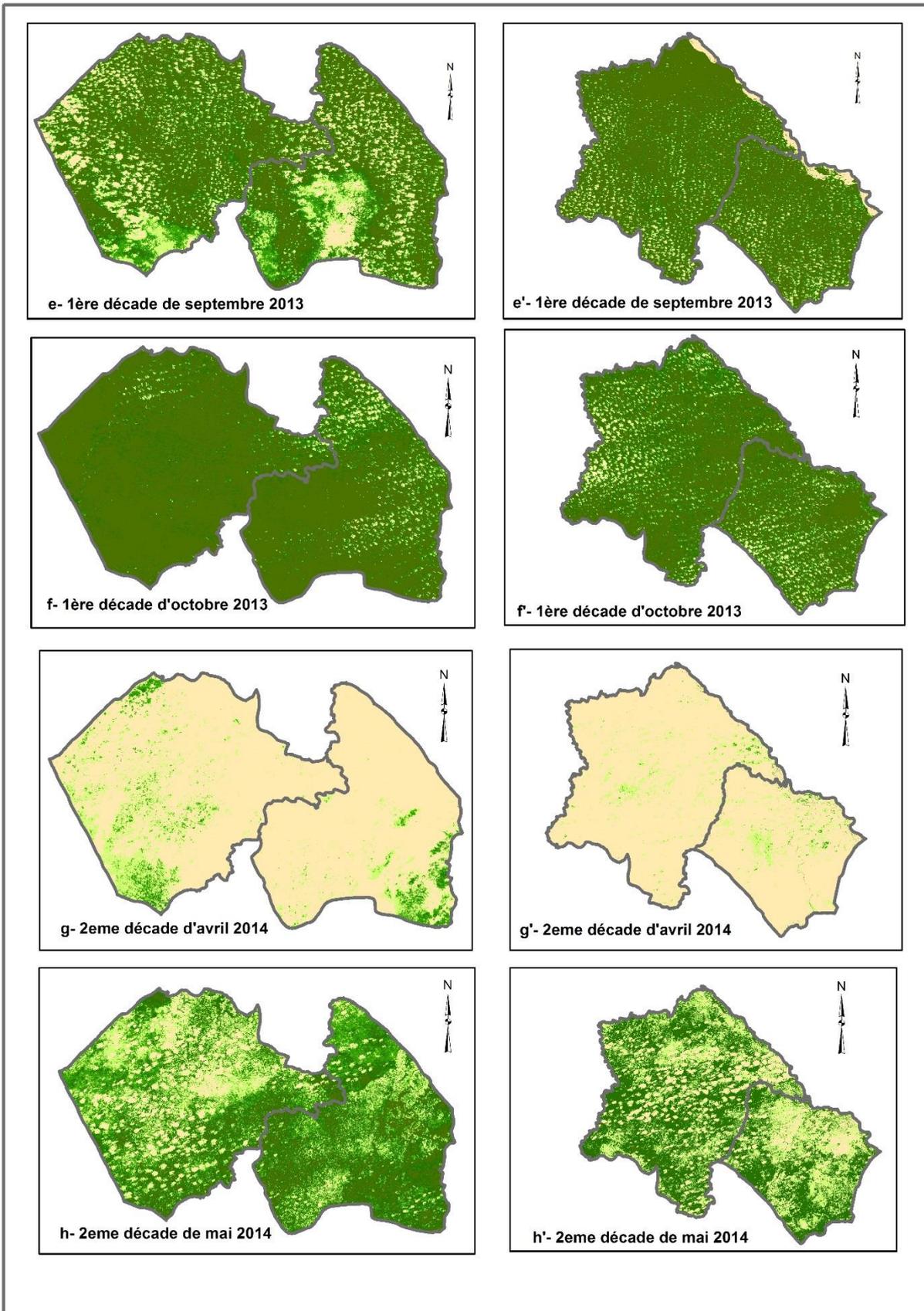
Dans le domaine soudanien en 2013, la classe de 75-100 a gagné de superficie en passant du simple au double entre la deuxième décennie de mai et la première de juin (7,97 % à 13,44 %). Il en est de même de la classe de 0-10 qui passe de 10,55 % à 15,99 %. Mais la classe de 10-30 a perdu de superficie en passant de 27,42 % à 19,23 %. La dernière classe (0-10) étant constituée d'herbacées en régénérescence est plus sensible aux séquences sèches. Les classes qui ont augmenté de superficie en milieu soudano-sahélien sont 75-100, 50-75 qui sont respectivement passées de 4,3 % à 9,37 % et 14,4 % à 23,95 %. Quant à la classe surfacique 10-30, elle a perdu 12,53 % de son aire. Les espèces qui sont de la classe de croissance (10-30) sont sensibles aux séquences sèches et présentent une morphologie qui les prédispose au pâturage. Au cours de la saison des pluies de 2014 dans la zone soudano-sahélienne, entre les décennies étudiées de mai et juin, les classes de 0-10 et 10-30 ont connu une régression de leur superficie (12,02 % à 1,6 % et 31,05 % à 10,20) tandis que celles de 50-75 et 75-100 ont enregistré une nette augmentation en passant respectivement de 14,04 % à 45,26 % et 1,79 % à 11,13 %. Le milieu soudanien a connu les mêmes types de changement.

En cette période de début de saison des pluies (mai-juin), les fluctuations pluviométriques ont impacté négativement la production de biomasse fourragère en 2013. Ainsi le niveau de croissance n'a pas respecté la même transition que celui de 2014 où entre les deux décades de deux mois les classes de valeurs faibles (0-10 et 10-30) ont perdu de superficie en faveur des classes de moyenne et grande valeurs (50-75 et 75 à 100). Le total pluviométrique des événements pluvieux enregistrés en 2013 dans la zone soudanienne avant la deuxième décade de mai est 68 mm environ et durant la décade qui précède celle de l'image 6,1 mm. Quant à la décade dont les données pluviométriques ont servi à la comparaison avec l'évolution de l'ICN, elle a connu trois événements pluvieux (0,6 mm, 25,7 mm et 5,2 mm). Ils sont intercalés par des séquences sèches de deux et trois jours. Par contre, en 2014, ce total est d'environ 100 mm et celle de la décade qui précède l'image a enregistré 18,1 mm intervenu en deux événements (13,8 mm et 4,3 mm) séparés par une séquence sèche de 6 jours. La décade qui précède celle de l'image en juin a été marquée par deux événements pluvieux (7,5 mm et 4,9 mm) décalés d'un jour.

Le milieu soudano-sahélien en 2013 a été arrosé par un total 45,2 mm de pluie avant la décade précédant celle de l'image de mai. Cette dernière décade a connu deux précipitations dont la première est de 10 mm environ intervenu après une séquence sèche de 8 jours. Le second événement pluvieux de 13,4 mm est intervenu 4 jours après le premier. La saison pluvieuse de 2014 à l'opposé de celle de 2013 a été marquée par des événements pluvieux de total pluviométrique 136 mm environ avant la deuxième décade de mai. En plus, au cours de cette dernière il y a eu trois événements pluvieux de hauteur respectif (33,1 mm; 1,7 mm et 3,1 mm) séparés par deux et trois jours. Une séquence sèche de sept jours a séparé la date de la capture de l'image au dernier événement pluvieux.

L'examen de la figure 5e, 5e', 5f, 5f' (saison des pluies de 2013) et de la figure 5k, 5k', 5l et 5l' (saison des pluies 2014) ressort l'inégale distribution spatiale de l'indice de croissance normalisée. La classe de croissance 75-100 occupe à elle seule plus de la moitié des superficies des deux zones. Cette classe qui représente celle la croissance maximale de la biomasse fourragère sur le milieu d'étude est plus importante en 2014 qu'en 2013. Le pic de la production annuelle est atteint en octobre (92,49 % et 79,59 %) en zone soudanienne et en septembre (87 % et 69,93 %) en soudano-sahélienne. La fin de la saison des pluies de 2013 se distingue par une fin précoce faisant suite à des séquences sèches de durée considérable. Quant à celle de 2014, elle a connu une prolongation de la saison des pluies. Le mouvement de retour du FIT s'effectuant du nord au sud, facilite l'installation de la saison sèche en milieu soudano-sahélien avant le soudanien. Cette permutation de saison parfois précoce et bien d'autres paramètres comme la régularité spatiotemporelle des pluies impactent le cycle de croissance des espèces fourragères notamment annuelles. Ainsi le niveau de croissance des espèces fourragères suit le sens contraire du gradient pluviométrique.





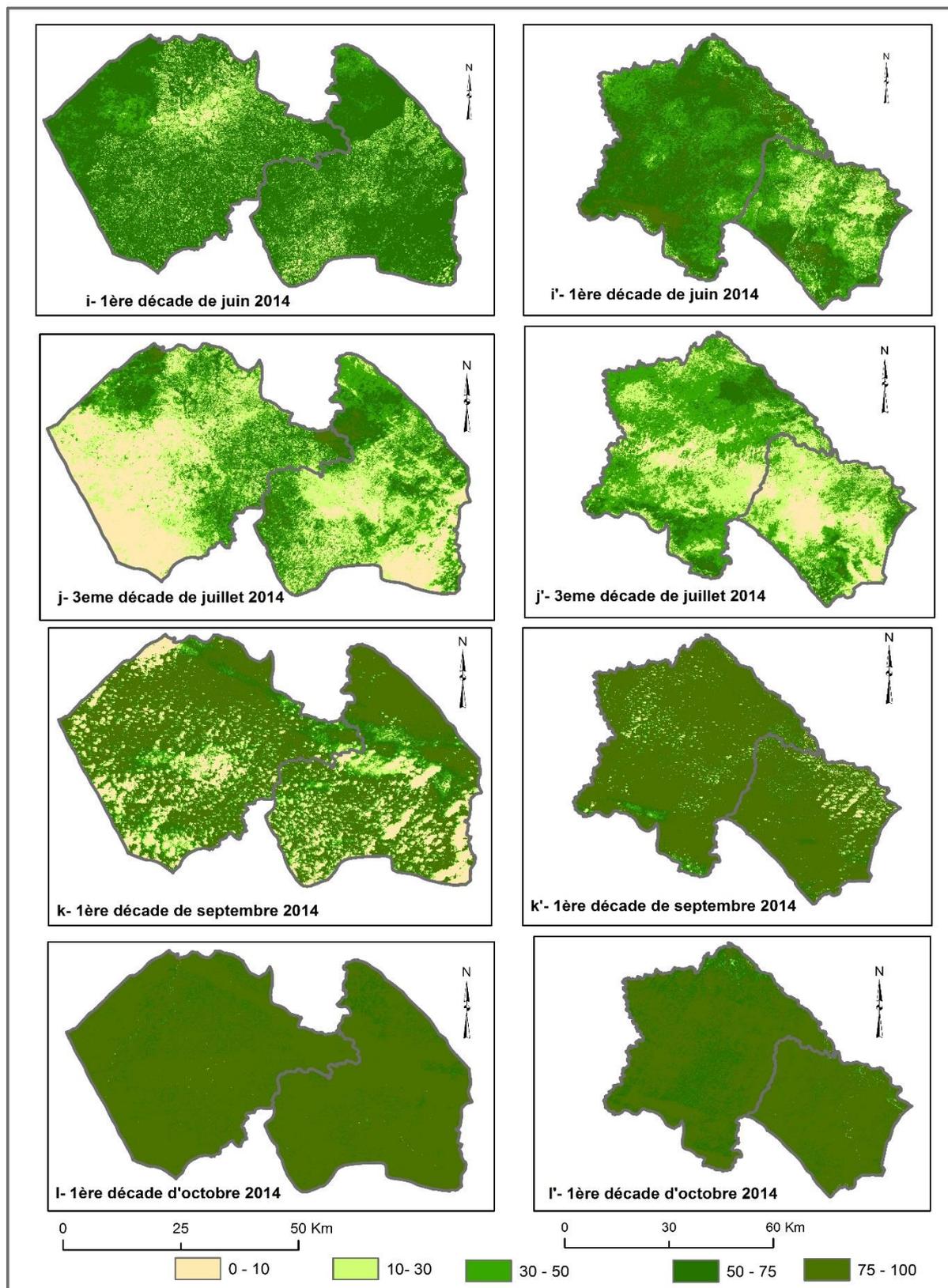


Fig. 5. Spatialisation de l'ICN sur les saisons pluvieuses de 2013 et 2014

### 3.2.2 SPATIALISATION DE L'INDICE DE CROISSANCE NORMALISEE AU CŒUR DE LA SAISON DES PLUIES

Les figures 5 d et 5d'présentent l'évolution de la biomasse fourragère au cours de la troisième et la première décade du mois de juillet 2013. L'examen de ces figures montre qu'en milieu soudanien, la décade de juillet présente des valeurs de ICN majoritairement faibles dans les aires de pâturage et les champs et jachères. La variation spatiotemporelle de ICN pendant la même période de 2014 présente une tendance similaire à celle de 2013. Cependant les espaces occupés par les aires protégées affichent des valeurs très fortes de l'indice.

Les variations de l'ICN dans la zone soudano-sahélienne présentent presque des tendances similaires à celles du milieu soudanien. Toutefois, le gain de superficie au niveau de la classe de très faible valeur entre juin et juillet est moins important en milieu soudano-sahélien qu'en soudanien. A cet effet, en 2013, la superficie occupée par cette classe dans le milieu soudanien est 15,99 % en juin contre 21,29 % environ dans le mois de juillet alors qu'en climat soudano-sahélien, c'est de 4,89 % à 6,23 %. Pour l'année 2014 dans la zone soudanienne les très faibles valeurs occupent 1,88 % en juin et 24,09 % en juillet. Dans la même année, en milieu soudano-sahélien, cette classe est passée de 1,6 % en juin à 12,02 % en juillet.

Les classes 0-10 et 10-30 étant composées d'espèces moins développées (jeunes plants, herbacées), elles sont plus vulnérables aux séquences sèches. La décade considérée en juillet de 2014, dans les deux est marquée par une séquence sèche de 7 et 9 jours. Ces poches de sécheresse, à certains endroits ont pour corollaire le stress hydrique pour les jeunes plants surtout. Ainsi, des espèces fourragères qui étaient de la classe 10-30, sous ces conditions hydriques défavorables peuvent se retrouver dans la basse classe. En outre, dans la région, c'est dans cette période que les producteurs font le semi d'une franche partie de leur terre. La couverture des 24,09 % des terres en ICN de la classe 0-10 peut être une conséquence de cet état de chose dans le milieu soudanien où on trouve moins d'espace occupé par les aires protégées. Par contre, le milieu soudano-sahélien étant occupé à près de 70 % par ces aires protégées présente environ la moitié du pourcentage de 0-10 dans l'autre zone.

### 3.3 EVALUATION DE L'INFLUENCE DE LA PRÉCIPITATION SUR LA PRODUCTION DE QUATRE ESPÈCES FOURRAGÈRES APPÉTÉES

La sensibilité d'*Andropogon gayanus*, *Hyparrhénia barteri*, *Hyparrhénia rufa* et *Pennisetum purpureum* à la précipitation annuelle (figure 7) et précipitation du mois le plus sec (figure 8) a été évaluée.

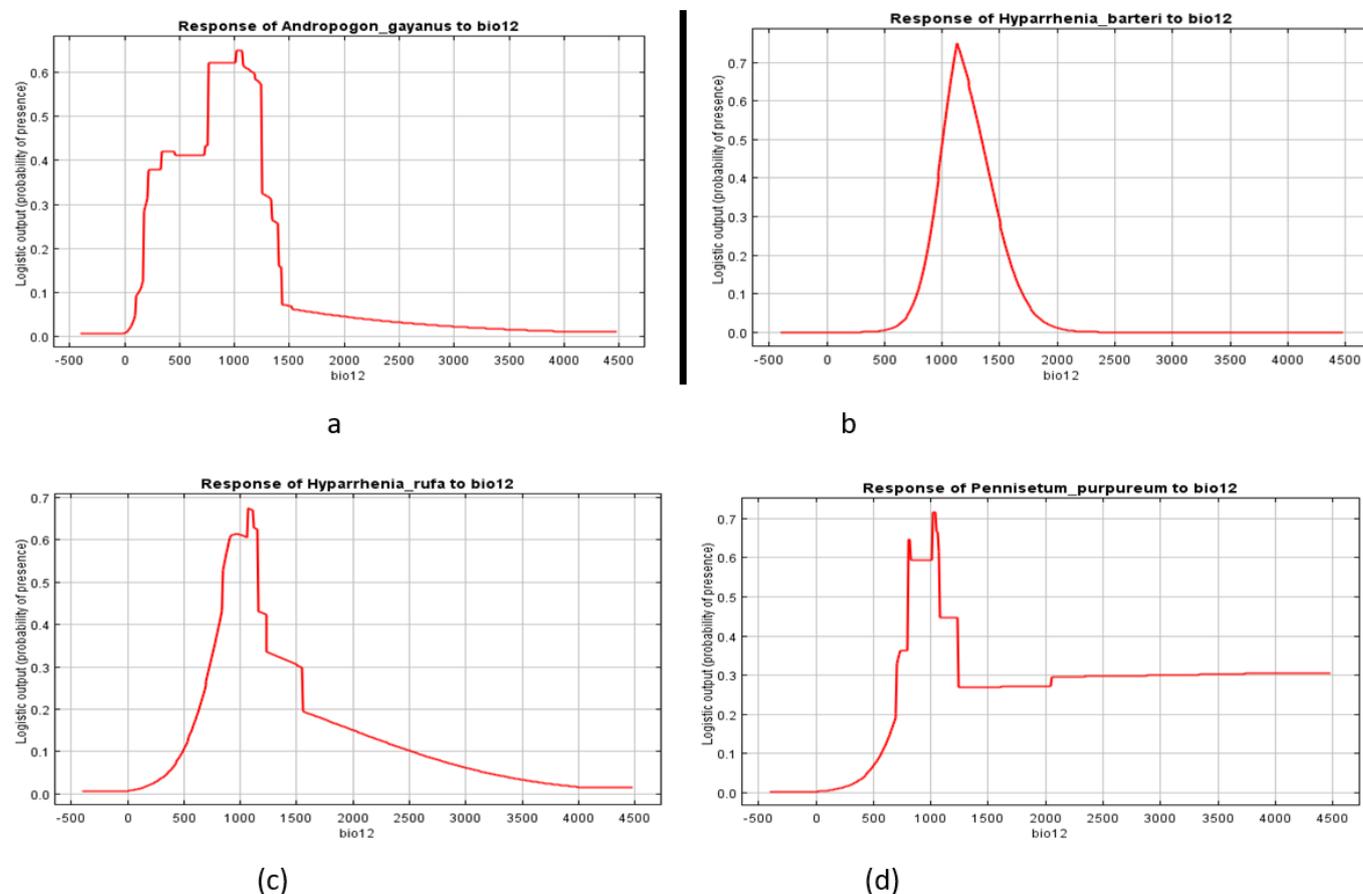


Fig. 6. Sensibilité des herbages d'*Andropogon gayanus* (a), *Hyparrhenia barteri* (b), *Hyparrhenia rufa* (c) et *Pennisetum purpureum* (d) à la précipitation annuelle

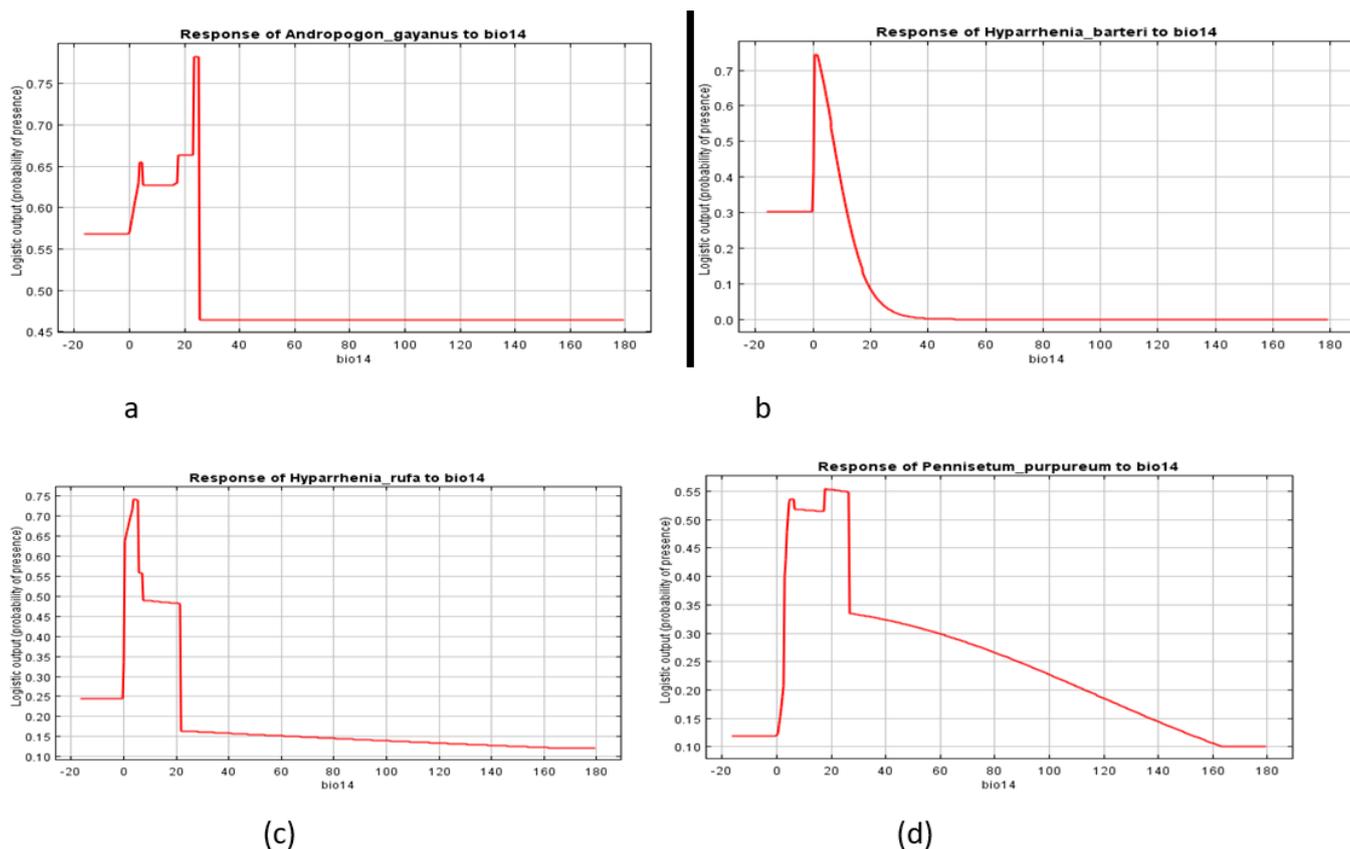


Fig. 7. Sensibilité des herbages d'*Antropogon gayanus* (a), *Hyparrhenia barteri* (b), *Hyparrhenia rufa* (c) et *Pennisetum purpureum* (d) à la précipitation du mois le plus sec

L'habitabilité de toutes les espèces est élevée dans les zones où la précipitation annuelle est légèrement supérieure ou égale à 1000 mm (figure 7). Toutes les zones qui ont une précipitation annuelle comprise entre 1500 et 4000 mm sont très peu productive en *Andropogon gayanus* (figure 7a) et en *Hyparrhenia rufa* (figure 7c). Quant à *Hyparrhenia barteri*, il ne se développe pas dans des milieux ayant une pluviométrie annuelle supérieure à 2000 mm. *Pennisetum purpureum* est la seule espèce fourragère parmi celle étudiées qui peut résister à toutes les hauteurs pluviométriques supérieures à 1000 mm. Mais lorsque la hauteur pluviométrique est élevée, l'espèce ne dépasse pas un certain niveau de développement.

Ces espèces herbacées fourragères se développent mieux lorsque la pluviométrie mensuelle oscille autour de 20 mm (figure 8).

#### 4 DISCUSSION

La télédétection est la technique la plus adaptée pour l'étude et la représentation des interactions biophysiques entre climat et végétation [9]. Le NDVI qui est l'indice le plus utilisé pour le suivi de la végétation présente beaucoup d'imperfections liées entre autres à l'effet de l'arrière-plan sol, aux contaminations des nuages et la vapeur d'eau. Pour refléter les caractéristiques des écosystèmes et séparer le signal météorologique du signal écologique, le NDVI a été transformé en indice d'état de la végétation (VCI, ICN) [10]. L'ICN est efficace dans le suivi de la croissance de la végétation au cours de la campagne agricole et pastorale [11]. Mais il présente également quelques insuffisances liées notamment à la couverture prolongée des nuages.

La variation de la précipitation totale des décades d'avant celles des images selon les deux stations synoptiques utilisées dans l'étude est similaire à celle de l'ICN moyenne suivant le gradient sud-nord. Ces résultats corroborent ceux de [12], [13] et [14]. La différence constatée entre l'allure de l'ICN et la hauteur de pluie dans le mois de juillet 2014 s'expliquerait par la durée des séquences sèches observées dans la décade qui précède l'image et par l'occupation des terres emblavées par les jeunes pousses des cultures (maïs, coton, sorgho...). Ces résultats confirment donc le rôle des activités anthropiques et des séquences sèches dans la variation spatiotemporelle de la végétation ([15], [16])

Cette corrélation est plus remarquable en début de saison des pluies (mai et juin) ( $p\_value = 0,001$ ). Ces résultats confirment les résultats obtenus par [17] selon lesquels la dynamique de la végétation indique pour chaque quinzaine du début de la saison des pentes positive alors que la période de maturité ne présente pas des articulations précises. Il finit en constatant que le test de concordance de

Mann-Kendall indique une inexistence de tendance notable dans l'évolution moyenne annuelle de la végétation pendant la période de croissance maximale. C'est certainement ce qui a amené [3] à conclure que la production de la biomasse n'est pas linéaire pendant toute l'année. Le développement des fourrages et surtout des herbacées nécessite une humidité superficielle du sol ([18]) dont l'action est plus perceptible dans les premiers mois de la saison des pluies. En période de forte humidité, d'autres paramètres peuvent intervenir dans l'évolution des plantes comme le type de sol ([19], [20], [21]), l'altitude [22] ou la pente qui peut faciliter le drainage des eaux. La contribution de la précipitation annuelle et du mois le plus sec confirme le rôle primordial de la pluie dans la croissance des espèces fourragères et de l'importance d'autres variables environnementales comme l'évapotranspiration. La différence de croissance des espèces fourragères dans une même zone climatique s'expliquerait par l'inégale répartition spatiale des précipitations et des paramètres sus cités. Ces différents éléments géographiques, par leur nature et leur évolution entretiennent des rapports très étroits avec le climat qui les influence d'ailleurs fortement ([23], [24], [25] et [26]). La différenciation trouve également sa source dans les interventions anthropogènes [27] qui fragilisent certains milieux par rapport d'autres. C'est ce qui expliquerait les incursions dans les aires protégées ([28], [29], [30] et [5]) des éleveurs à la recherche de fourrage pendant les moments de pénuries de ressources pastorales dans les zones de pâturage malgré tous les risques liés à l'usage de ces aires.

## 5 CONCLUSION

La présente étude a montré que l'indice de croissance normalisée est un bon outil de suivi de la dynamique temporelle de la végétation dans le domaine soudanien et soudano-sahélien. Elle a permis également de constater la différence dans la croissance des pâturages de la zone soudanienne (Banikoara et Kandi) et du milieu soudano-sahélien (Malanville et Karimama) au cours de la saison des pluies. L'utilisation des données des images de grande résolution comme spot ou sentinelle devrait permettre d'affiner la technique d'estimation de la production de biomasse fourragère et envisager obtenir plus de précision dans les résultats.

Pour accompagner les agropasteurs des communes de Malanville et Karimama il faut les encourager dans l'exploitation de variétés de cultures adaptées à la zone soudano-sahélienne. Cette alternative réduirait les effets des fluctuations climatiques sur le rendement des cultures. A l'instar des pays du sahel notamment le Niger, le Burkina-Faso, le Sénégal et le Tchad qui utilisent cet indice et d'autres pour le suivi de l'évolution des cultures et des pâturages, le Bénin peut mettre aussi en place une structure chargée du suivi écologique dans la partie septentrionale. Elle permettra aux agropasteurs d'anticiper des actions pour renforcer la résilience du système élevage bovin. Les services météorologiques doivent également partager les informations qu'ils détiennent de façon périodique avec les acteurs concernés.

## REFERENCES

- [1] B.R. Rakotoarison, Etude de la valeur nutritive de *Desmodium uncinatum*, *Hedychium coronarium* et *Musa paradisiaca* pour une meilleure valorisation des ressources fourragères des hautes terres malgaches. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, Ecole supérieure des sciences agronomiques, Département élevage, 141 p, 2005.
- [2] S. Zakari, B. A. H. Tente, I. Yabi, I. Toko Imorou, T. Tabou, F. Afouda et B. N'Bessa, Vulnérabilité des troupeaux transhumants aux mutations climatiques: analyse des perceptions et adaptations locales dans le bassin de la Sota à Malanville. *Afrique Science*, 11 (3): pp 211-228, 211 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>, 2015.
- [3] D.P.A.A. Lesse, Gestion et modélisation de la dynamique des parcours de transhumance dans un contexte de variabilités climatiques au nord-est du Bénin. Thèse de Doctorat, FSA/UAC, Bénin, 299 p, 2016.
- [4] A.J.P. Djenontin, Houinato M., B Toutain. et B Sinsin, Pratiques et stratégies des éleveurs face à la réduction de l'offre fourragère au Nord-Est du Bénin. *Sécheresse*, 20 (4), pp 346-353, 2009.
- [5] T. Tabou., Vulnérabilité des troupeaux transhumants aux contraintes climatiques, Perceptions et adaptations communautaires dans les communes de Malanville et de Karimama. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Géographie. UAC/ EDP/FLASH. 100 p, 2014.
- [6] R. Saliou, Modélisation prédictive et cartographie de la dynamique des parcours de transhumance dans le contexte de variabilités climatiques dans le Moyen-Bénin. Thèse de Doctorat, EDP/FLASH, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 306 p, 2015.
- [7] G. J Boko., Trajectoires des changements dans l'occupation du sol: déterminants et Simulation, cas du bassin-versant de l'Alibori (Bénin, Afrique de l'ouest). Thèse de Doctorat Unique en Géographie, FLASH-EDS/ UAC, 291 p, 2012.
- [8] N. Toko Issiaka, Cartographie De La Dynamique Spatio-Temporelle Des Parcours Naturels Des Troupeaux Transhumants Dans Les Communes De Banikoara Et De Karimama Au Bénin (Afrique De L'ouest) *European Scientific Journal* édition vol.12, No.32 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 2016.
- [9] T. P Thao Do, Apport de la télédétection spatiale pour l'étude multiscaire des interactions climat-surfaces en Afrique de l'ouest: Etude du bassin versant de l'Ouémé supérieur (Bénin). Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Spécialité en science de la terre, de l'univers et de l'environnement, 218 p, 2014.
- [10] L.S. Uganai & F.N. Kogan, Drought and Corn Yield Estimation in Southern Africa from AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment*, 63, 219-232, 1998.

- [11] I. Garba, I. Alfari, M. Hamadoun, B Djaby. I. Touré, Suivi de la végétation par satellite: cas de l'utilisation des images ICN, VCI et SNDVI pour la prévision qualitative des productions végétation. Colloque Régional De N'djaména, 5 p, 2013.
- [12] D. Marin, G. De Martino, O. Guenni et Y. Guédez, Biomasse et productivité de la strate herbacée des savanes de l'Etat de Guarico (Vénézuéla). *Fourrages*, 165, 89-102, 2001.
- [13] P. Rahimzadeh Bajgiran, A. A. Darvishsefat, A. Khalilic, M. F. Makhdoumd, *Journal of Arid Environments* 72 1086–1096, 2008.
- [14] CRA (Centre Régional Agrhymet), Bilan à mi-parcours de la campagne 2014/2015 *Bulletin de veille environnementale*, n°2, 6 p, 2014.
- [15] J. César, Typologie, diagnostic et évaluation de la production fourragère des formations pastorales en Afrique tropicale. *Fourrages*, 128, 423-442, 1991.
- [16] E. Sodré, Caractérisation des pâturages naturels du terroir de Kotchari et de la partie voisine du Parc W (côté du Burkina Faso). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural en élevage, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 89 p, 2009.
- [17] Z. A. Tra Bi, Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc). Thèse de Doctorat en Géographie. Université d'Artois, Artois, 190 p, 2013.
- [18] S. Cissé, L. Eymard, J. A. Ndione et A. T. Gaye, Analyse statistique des relations pluie-végétation au Ferlo (Sénégal). XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 6 p, 2015.
- [19] I Toko, Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des topos séquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat en Géographie. Université d'Abomey-Calavi. Cotonou, 241p, 2008.
- [20] J. Yoka, J.J Loumeto, J. Voudibio et D. Epron, Productivité herbacée des savanes de la Cuvette congolaise (Congo-Brazzaville). *Afrique Science*, (1) 89 – 101 89 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>, 2013.
- [21] A. R. A. Saliou, M. Oumarou et A. B. Sinsin, Variabilités bioclimatiques et distribution spatiale des herbacées fourragères dans le Moyen-Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8 (6): 2696-2708, 2014.
- [22] E. Mosimann, N. Bossuyt et D. Frund, Préparation de la production fourragère au changement climatique. *Plantes Agroscope Science*, n° 49, 36 p, 2017.
- [23] I. Diatta, Impact des fluctuations pluviométriques sur la production agricole dans la région de Thionck-Essyl en basse Casamance. Certificat d'aptitude à l'enseignement moyen (CAEM), Université Cheick Anta Diop, Dakar, Mémoire en ligne, consulté le 18/08/2018, 2007.
- [24] P. Sougnabé « La sédentarisation comme moyen d'adaptation aux baisses de la pluviométrie chez les éleveurs Peuls en Savane tchadienne », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 13 Numéro 1, mis en ligne le 07 mai 2013, consulté le 15 mars 2017. URL: <http://vertigo.revues.org/13468>; DOI: 10.4000/vertigo.13468, 2013.
- [25] A. Laouali, Contribution à l'étude de la dynamique de l'élevage pastoral au Niger: cas de la région de Diffa. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 212 p, 2014.
- [26] A. B. Sarè, Variabilité climatique et dynamique des parcs agroforestiers dans la périphérie de la Réserve de Biosphère Transfrontalière W (Bénin). Thèse de Doctorat en Géographie. Université d'Abomey- Calavi. Cotonou, 374 p, 2018.
- [27] L. G. Houessou, Evaluation de l'impact de l'utilisation des terres et recherche d'indicateurs de gestion durable de la réserve de Biosphère du W et des terroirs environnants au Bénin. Thèse de Doctorat, FSA/UAC, Bénin, 212 p, 2013.
- [28] K. Sounkéré, Analyse des formes d'utilisation de l'espace dans les terroirs agropastoraux de la zone périphérique du parc National du W Bénin: (cas de la commune de Karimama). Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 102 p, 2003.
- [29] G. Djohy, Transhumance et changements climatiques: Une analyse des dynamiques sociopolitiques et organisationnelles d'adaptation des éleveurs transhumants dans l'Alibori (Nord-Bénin)). Thèse d'Ingénieur Agronome, Département d'Economie et Sociologie Rurale, FSA/UAC, 145 p, 2010.
- [30] I. Sawadogo, Ressources fourragères et représentations des éleveurs, évolution des pratiques pastorales en contexte d'aire protégée: Cas du terroir de Kotchari à la périphérie de la réserve de biosphère du W au Burkina Faso. Thèse de doctorat en Physiologie et Biologie des Organismes - Populations – Interactions, Paris, 338 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00708327>, 2011.