

## **Dynamique de l'occupation du sol dans la forêt classée des trois rivières au Nord Bénin dans un contexte de variabilité climatique**

**Bio Monti Sika OROU N'GOBI<sup>1\*</sup>, Moussa GIBIGAYE<sup>1</sup>, Alassan ASSANI SEIDOU<sup>2</sup>,  
Azizou SABI YO BONI<sup>1</sup> et Agathe Sonsonna OUOROU N'GOBI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), République du Bénin*

<sup>2</sup> *Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Production Animale (LESPA), Faculté d'agronomie (FA), Université de Parakou (UP), République du Bénin*

<sup>3</sup> *Laboratoire d'Economie Rurale et de Gestion des Exploitations Agricole (LERGEA), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), République du Bénin*

---

\* Correspondance, courriel : [orougobi@gmail.com](mailto:orougobi@gmail.com)

### **Résumé**

Le Bénin est confronté à une dégradation constante des ressources forestières, ainsi nos forêts classées sont menacées de disparition sous l'action conjuguée des activités humaine et du climat. Cette étude a pour objectif d'évaluer les changements survenus dans la végétation sous l'influence du climat et de l'homme dans la Forêt Classée des Trois Rivières (FCTR) au Nord du Bénin. L'approche méthodologique a consisté à la collecte, au traitement et à l'analyse des données spatiales des données climatologiques et des données socioéconomiques. L'analyse des paramètres climatiques réalisée à l'aide du test de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian a révélé que la FCTR connaît depuis plus de trois décennies des mutations climatiques importantes caractérisées par une hausse de la pluviométrie (16,24 %) depuis 1997 et une hausse des températures annuelles maximales et minimales dans la période de 1987 à 2016. L'analyse diachronique des images Landsat de 1987, de 2001 et de 2016 indiquent une réduction des formations végétales naturelles (forêt dense, galerie forestière et forêt claire et savane boisée) et une augmentation de la végétation savane arborée et arbustive, culture, jachère et agglomérations. La carte typologique des changements d'occupation du sol, a montré une dégradation de 44,61 % de formations naturelles tandis que les formations anthropiques ont connu une progression de près de 38,19 %. Selon les acteurs enquêtés, les principaux déterminants directs de déforestation et de dégradation des forêts sont l'agriculture, l'élevage (surpâturage), l'exploitation forestière et la variation du climat.

**Mots-clés :** *forêt classée, variabilité climatiques, pressions anthropiques, Nord Bénin.*

### **Abstract**

**Dynamics of land use in the classified forest of the three rivers in the North of Benin in a context of climatic variability**

Benin faces constant degradation of forest resources, so our classified forests are threatened with disappearance under the combined action of human activities and the climate. The objective of this study is to assess the changes that have occurred in the vegetation under the influence of climate and man in the

Classified Forest of Trois Rivières (FCTR) in northern Benin. The methodological approach consisted of the collection, processing and analysis of spatial data, climatological data and socioeconomic data. Analysis of climatic parameters carried out using the Bayesian method test of Lee and Heghinian revealed that the FCTR has known for more than three decades significant climatic changes characterized by an increase in rainfall (16.24 %) since 1997 and an increase in annual maximum and minimum temperatures in the period from 1987 to 2016. Diachronic analysis of Landsat images from 1987, 2001 and 2016 indicate a reduction in natural plant formations (dense forest, gallery forest and open forest and wooded savannah) and an increase in wooded and shrub savanna vegetation, cultivation, fallow and settlements. The typological map of land use changes showed a 44.61 % degradation of natural formations while anthropogenic formations have increased by nearly 38.19 %. According to the actors surveyed, the main direct determinants of deforestation and forest degradation are agriculture, livestock (overgrazing), logging and climate variation.

**Keywords :** *classified forest, climate variability, anthropogenic pressures, North Benin.*

## 1. Introduction

L'Afrique demeure l'un des continents les plus vulnérables à la variabilité et aux changements climatiques à cause des stress multiples qu'il connaît et dont la capacité de réponse et d'adaptation demeure faible [1]. Ainsi donc, les savanes d'Afrique connaissent des processus rapides de transformation des paysages ruraux et une dégradation des ressources naturelles [2]. Au Bénin, les différentes régions agroécologiques ont leurs écosystèmes marqués par une dégradation du fait de la forte variabilité climatique associée à une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes au cours des dernières décennies [3, 4]. La région septentrionale du pays, depuis les années 1958, 1977 et 1983, subit le plus fort déficit pluviométrique avec une généralisation de la sécheresse et une baisse constante du nombre de jours de pluie dans les différentes stations [5]. En effet, les aires protégées subissent une pression due au braconnage, la recherche de pâturage, de nouveaux champs et de produits forestiers non ligneux [6]. Ces menaces sont surtout dues à la pression démographique, conséquence d'un taux de natalité élevé [7]. En dépit du manque de données précises sur la contribution du secteur forestier au développement socioéconomique du pays, l'étude sur la contribution du secteur forestier à l'économie nationale réalisée en 2009 avec l'appui du Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles (ProCGRN) a révélé que le secteur forestier contribuerait à 6,64 % au PIB national [8]. Malheureusement, plus de 60 ans après leur création, les forêts classées n'ont pas comblé toutes les attentes en matière de protection du couvert végétal [9]. La forêt classée des Trois Rivières (FCTR), a été établie par l'arrêté N°4524 SE du 06 septembre 1949 par l'administration coloniale [10]. Le déboisement en cours au Bénin modifie le climat et la pluviosité locale. La disparition de certaines forêts, comme celle des Trois Rivières pousse à une prise en charge politique rapide du problème [11]. L'objectif du présent travail est d'analyser la variabilité climatique et l'impact des pressions anthropiques sur la végétation de la forêt classée des trois rivières.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Le site de l'étude

La Forêt Classée des Trois Rivières (FCTR) est l'une des plus grandes forêts du Bénin et située dans la partie septentrionale du pays entre les parallèles 10°18' et 18°48' Latitude Nord et les méridiens 2°46' et 3°35' Longitude Est [10]. Elle est achevée sur les départements du Borgou et de l'Alibori et limitée au Nord-Ouest par la Commune de Gogounou, au Sud-Ouest par celle de Bembèrèkè, au Nord-Est par la commune de Ségbana et au Sud-Est par la commune de Kalalé. Elle couvre une superficie de 259 600 ha et située dans une zone caractérisée par un climat de type soudanien marqué par une saison de pluie qui va de mai à octobre et une

saison sèche qui dure de novembre à avril. La moyenne annuelle des précipitations varie de 1000 à 1200 mm, les températures y sont élevées mais pas excessives (Min 21°5, Max 32°7). C'est une zone de balancement de l'alizé maritime et l'alizé continental (harmattan), vent froid et sec soufflant du Nord Est. La végétation de la FCTR est constituée de savane arbustive, de savane arborée, de savane boisée, de forêt claire. La FCTR tient son nom des rivières Sota qui la traverse en amont, affluent du fleuve Niger ; des rivières Tassiné et Bouli qui prennent leurs sources dans la région d'Ina, traversent la forêt dans ses parties centrale et Ouest avant de rejoindre la rivière Sota en aval de la forêt (*Figure 1*).

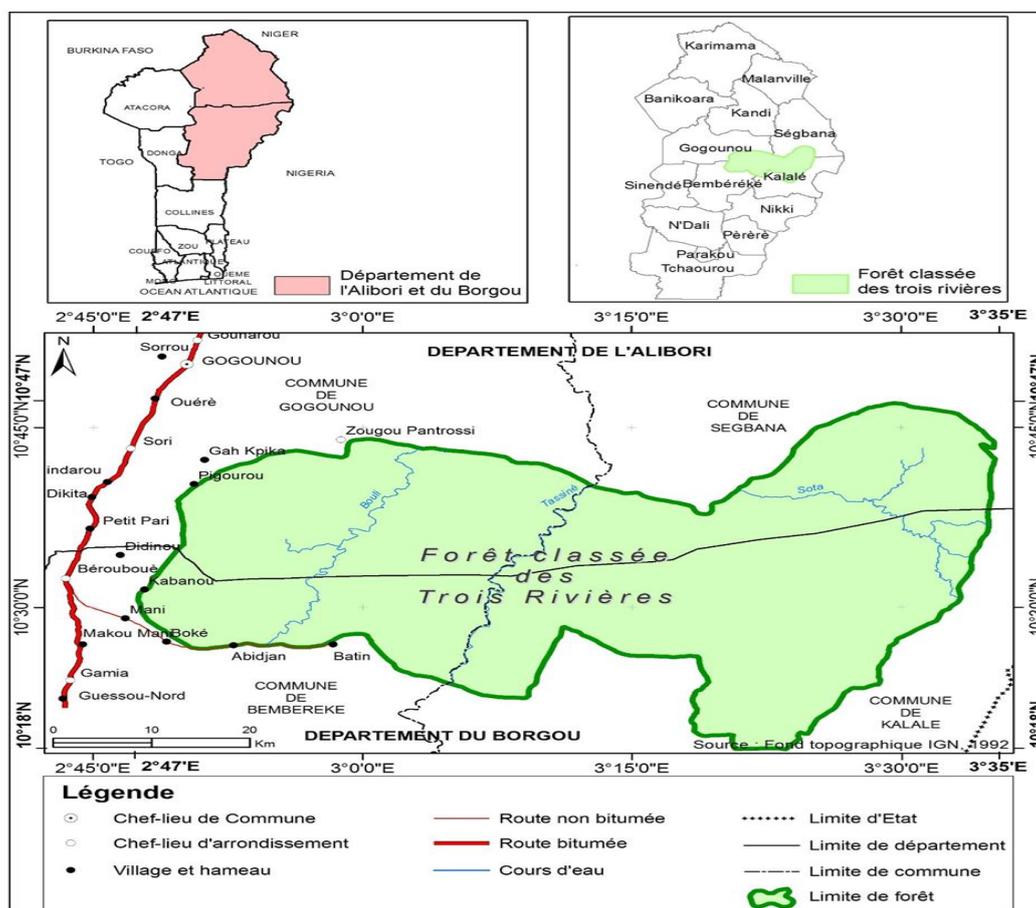


Figure 1 : Localisation de la Forêt Classée des Trois Rivières

## 2-2. Collecte des données

### 2-2-1. Collecte des images satellitaires

La cartographie des changements d'état de l'occupation des terres a été réalisée à partir des images satellites et des points GPS (Global Positioning System). Les images mosaïquées utilisées sont : Landsat TM de 1987 ; Landsat TM de 2001 ; Landsat OLI de 2016. Ces données ont permis de faire une analyse diachronique afin d'analyser la dynamique de l'occupation des terres entre deux temps.

### 2-2-2. Collecte des données climatiques

Les données climatiques (pluviométrie, températures maximales et minimales) d'une série de 30 ans (1987 - 2016) sont obtenues à l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) et au laboratoire la Cartographie (la carto) de l'Université d'Abomey Calavi. Les données pluviométriques sont celles de la station synoptique de Kandi (*Tableau 1*).

**Tableau 1 : Caractéristiques de la station synoptique de Kandi (Sources : ASECNA)**

| Nom de la station | Type       | Latitude | Longitude | Altitude | Mesure | Nombre d'observation par jour | Année d'ouverture |
|-------------------|------------|----------|-----------|----------|--------|-------------------------------|-------------------|
| Kandi             | Synoptique | 11°08 N  | 2°56 E    | 290 m    | ****   | 8                             | 1921              |

\*\*\*\* Vent, température, humidité, précipitation, insolation, évaporation, pression

## 2-3. Méthodes

### 2-3-1. Traitement d'images et cartographie

La forêt classée des trois rivières est couverte deux scènes de l'est à l'ouest. Il faut alors deux images de la même année pour couvrir la forêt. Ainsi, on a fait la mosaïque des scènes de la même année, découper la zone de la forêt sur le logiciel Qgis puis effectuer la classification sur le logiciel Multispec. Les produits issus de la classification ont été vectorisés pour calculer les différentes unités d'occupation du sol des deux années sur le logiciel ArcMap. Les images classifiées ont été introduites deux à deux dans l'extension Molusce de Qgis pour générer les matrices de transition. Pour l'analyse statistique de la dynamique d'occupation du sol, le taux de stabilité, de régression ou de progression des unités paysagiques est d'abord calculé d'une année à une autre. Ce calcul a été fait à l'aide de la formule appliquée par [12], pour mesurer la croissance des unités entre deux périodes données. La variable considérée ici est la superficie (S). Ainsi, pour S1 et S2, correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation des sols en 1987, en 2001 et en 2016, les taux de changement des superficies ont été calculés par la **Formule** :

$$T_c (\%) = \left[ \frac{S_2 - S_1}{S_1} \right] * 100 \quad (1)$$

*S2 - S1 = négatif, on conclut une régression du couvert végétal de l'année 1 à 2.*

*S2 - S1 = positif, on parle d'une augmentation du couvert végétal de l'année 1 à 2.*

*S2 - S1 = nul, on parle de stabilité du couvert végétal de l'année 1 à 2.*

### 2-3-2. Traitement des données climatiques

#### - Paramètres de tendance centrale et moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique a été utilisée pour étudier les régimes pluviométriques dans la station. C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représenté ici par la « normale », moyenne calculée sur une série de trente ans dans la station synoptique de Kandi retenue dans le cadre de cette étude. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) \quad (2)$$

et a permis de caractériser l'état climatique moyen et de calculer les indices de dispersion les plus significatifs.

#### - Paramètres de dispersion et anomalies standardisées

L'écart-type a permis d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance :  $E(x) = \sqrt{V}$  où V est la variance. L'écart-type est par excellence l'indicateur de la variabilité climatique. A partir de l'écart-type, ont été calculées les anomalies centrées réduites pluviométriques et thermométriques mensuelles et inter annuelles, en standardisant les données. Les anomalies (indices) se calculent par la **Formule** :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{E(x)} \tag{3}$$

où,  $I_i$  = Anomalie Centrée Réduite pour l'année  $i$ ,  $X_i$  = la valeur de la variable,  $\bar{X}$  = la moyenne de la série et  $E(x)$  = l'écart-type de la série.

L'Indice Standardisé des Précipitations définit la sévérité de la sécheresse [13]. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives une situation humide. Cet indice a été utilisé par de nombreux auteurs sur diverses régions du globe [14, 15] et s'est révélé très efficace pour la détection des périodes de sécheresse.

### 2-3-3. Recherche de rupture de stationnarité

Pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non des séries chronologiques pluviométrique, il a été utilisé des tests statistiques portant sur l'analyse de tendance et de rupture en moyenne. Selon [16], La tendance fait référence au changement dans les propriétés d'un processus aléatoire qui survient graduellement à l'échelle de la période d'échantillonnage alors qu'une rupture correspond à une modification qui survient subitement, étant entendu que les propriétés demeurent stables de part et d'autre de l'année de rupture. Le test de corrélation sur le rang de Kendall [17] a été utilisé pour analyser les tendances dans les séries chronologiques. Ce test vérifie le caractère aléatoire des séries chronologiques. L'hypothèse alternative du test est celle d'une tendance. Toutefois, en présence d'une rupture en moyenne dans la série, le test rejette l'hypothèse nulle sans que l'hypothèse de tendance soit valide. La recherche de ruptures dans les séries chronologiques a été faite au moyen de différents tests : test de Pettitt, du test de Buishand et l'Ellipse de Bois, méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation de Hubert.

#### ➤ Test de Pettitt

L'approche de [18] est non paramétrique qui permet de détecter les «ruptures» dans la série pluviométriques dans la forêt classée des trois rivières. Ce test dérive du test de Mann-Whitney. Ce test a été souvent utilisé pour l'étude des variables hydrométéorologiques béninois par [19]. L'absence de rupture dans la série ( $X_i$ ) de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques ( $X_i$ )  $i = 1$  à  $t$  et  $t+1$  à  $N$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$ ,  $N$  définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \tag{4}$$

où,  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$  avec  $\text{sgn}(Z) = 1$  si  $Z > 0$ ,  $0$  si  $Z = 0$  et  $-1$  si  $Z < 0$ .

Soit  $K_N$  la variable définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour  $t$  variant de 1 à  $N-1$ . Si  $K$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $K$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_N > K) \approx 2\exp(-6K^2 / (N^3 + N^2)) \tag{5}$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si  $\text{Prob}(K_N > K)$  est inférieure à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. Ce test est réputé pour sa robustesse.

➤ *Méthode bayésienne de Lee & Heghinian*

La méthode bayésienne de [20] est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. Elle fait l'hypothèse d'une rupture en moyenne à un instant inconnu. La distribution a priori de l'instant de la rupture est uniforme, et compte tenu de cette information et des données, la méthode produit la distribution de probabilité a posteriori de l'instant de la rupture. Elle est fondée sur le modèle suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & \text{avec } i = 1, 2, 3 \dots \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & \text{avec } i = 1, 2, 3 \dots \dots, N \end{cases} \quad (6)$$

Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\delta^2$ . La position de la rupture dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de la moyenne sont représentées respectivement par  $\tau$  et  $\delta$ . Le changement éventuel, position et amplitude, correspond au mode des distributions "a posteriori" de  $\tau$  et  $\delta$ . Ainsi, cette méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment  $\tau$  dans une série où est supposé a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment déterminé. Elle donne également une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur  $\delta$ . La date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible et lorsque la distribution est unimodale. En effet, d'après [21], cette procédure de segmentation peut être interprétée comme un test de stationnarité, "la série étudiée est stationnaire" constituant l'hypothèse nulle de ce test. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle est acceptée. Aucun niveau de signification n'est attribué à ce test. Son principe est donc de "découper" la série en plusieurs segments de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment (s) voisin (s) par application du test de Scheffé. Ainsi, la procédure de segmentation de séries chronologiques consiste à découper la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment (s) voisin (s). La procédure de segmentation est décrite comme suit : Toute série  $x_i$  où  $i = i_1, i_2$  avec  $1 \leq i_1 < i_2 \leq N$ , constitue un segment de la série initiale des ( $x_i$ ) avec  $i = 1, 2, \dots, N$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments constitue une segmentation de rang  $m$  définie par :

- $l_k, k = 1, 2, \dots, m$  le rang dans la série initiale de l'extrémité du  $k$ ème ;
- $N_k = i_k - i_{k-1}$  la longueur du  $k$ ème segment ;
- $\bar{x}_k = \sum_{i=i_{k-1}}^{i=i_k} X_i / n_k$

Ces méthodes de détection des ruptures ont été utilisées dans plusieurs études hydro climatologiques en Afrique surtout dans sa partie occidentale [22, 23]. Les années de rupture et les séries segmentées ont été utilisées pour caractériser les changements intervenus les chroniques pluviométriques.

➤ *Calcul des variations moyennes autour des ruptures*

Pour les variables hydro-pluviométriques dont la série chronologique présente une rupture, il est intéressant de calculer les variations moyennes de part et d'autre de la rupture en appliquant la **Formule** suivante [23] :

$$D = \frac{(\bar{x}_j - \bar{x}_i)}{\bar{x}_i} * 100 \quad (7)$$

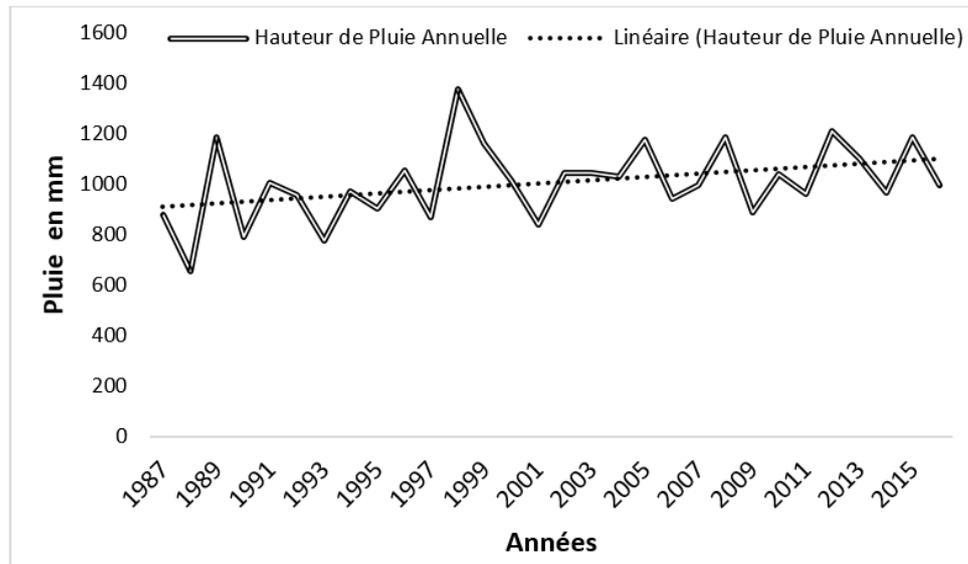
$D =$  déficit/excédent de part et d'autre de la rupture ;  $x_i =$  moyenne avant la rupture et  $x_j =$  moyenne après la rupture.

### 3. Résultats

#### 3-1. Évolution des paramètres climatiques sur la période 1983 - 2012 dans la FCTR

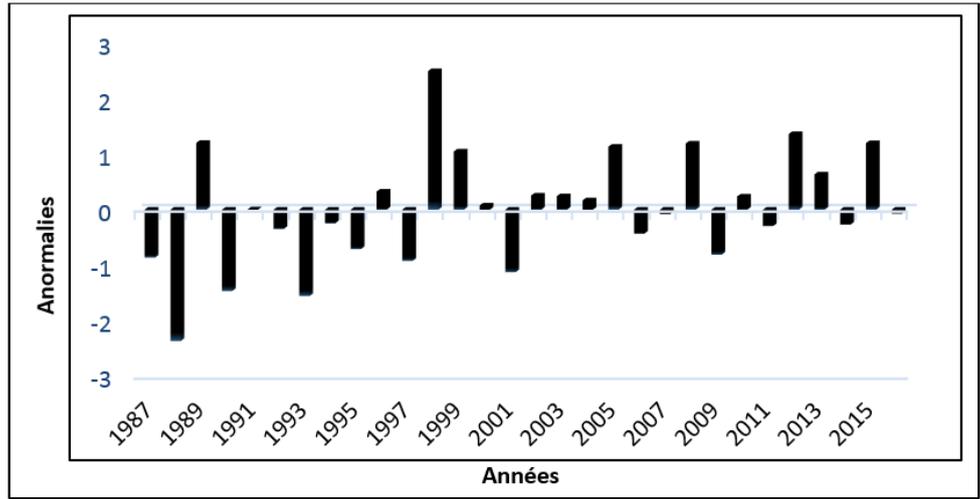
##### 3-1-1. Pluviométrie

Les précipitations constituent un élément essentiel pour l'analyse du climat. La **Figure 2** présente la variation interannuelle de la précipitation dans la FCTR. L'analyse de celle-ci révèle qu'à l'échelle annuelle, la précipitation a augmenté depuis 1997. La moyenne de la série ici est de 1007,71 mm. Le cumul pluviométrique maximal est de 1379,6 mm enregistrée en 1998 et un minima de 655,1 mm enregistré en 1988.



**Figure 2 :** Variation interannuelle des totales précipitations annuelles entre 1987 et 2016  
 Source : Données ASECNA, 2018

La **Figure 3** présente les anomalies de l'indice pluviométrique standardisé interannuelle de la pluviométrie da la FCTR entre 1987 et 2016. L'examen de celle-ci permet de constater que la FCTR connaît, depuis les années 1987, une variabilité pluviométrique marquée par une alternance d'années déficitaires et excédentaires (**Tableau 2**). La phase 1987-1997 a été déficitaire. Les années 1988, 1990 et 1993 ont été particulièrement sèches avec respectivement 655,1 mm ; 789,3 mm et 776 mm de précipitation. La phase 1998-2016 a été excédentaire avec une moyenne pluviométrique de 1062,17 mm. Les années 1998, 2005, 2008, 2012 et 2015 qui ont été particulièrement pluvieuses avec respectivement 1379,6 mm ; 1176,6 mm ; 1185,1 mm ; et 1186,2 mm de pluie enregistrée. Le **Tableau 2** montre que dans l'ensemble, la période de 1987-2016 a été marquée par une récurrence d'années sèches qui sont 1987, 1990, 1993, et 2001, soit 13,34 % des années de la série étudiée. Les années moyennes représentent 63,33 % de la série. Quant aux années de fortes précipitations, elles sont : 1989, 1998, 1999, 2005, 2008, 2012, et 2015 et représentent 23,33 % des années de la période 1987 - 2016.



**Figure 3 :** Indice pluviométrique standardisé interannuel de la précipitation de 1987 à 2016  
 Source : Données ASECNA, 2018

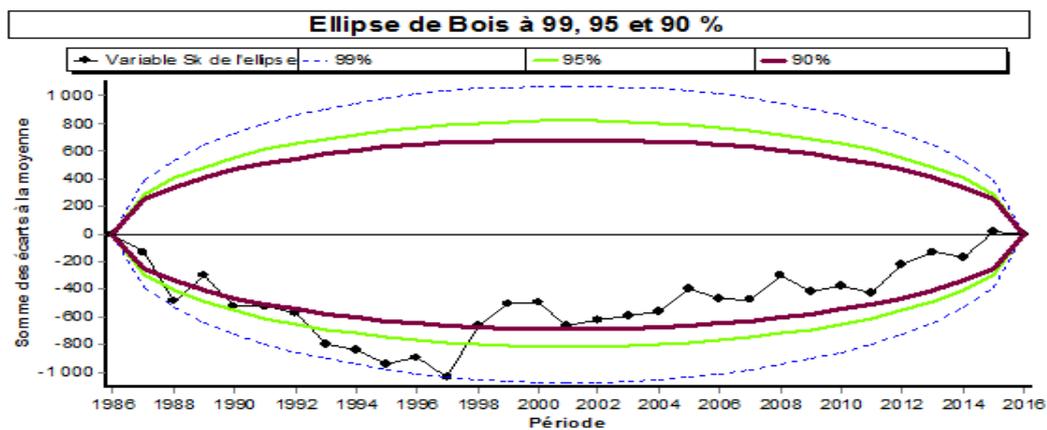
**Tableau 2 :** Répertoire des années déficitaires, moyennes et excédentaires entre 1987 et 2016 selon les données de la station de Kandi

| Années sèches           | Années Moyennes  | Années pluvieuse                         |
|-------------------------|--|--|
| 1988, 1990, 1993, 2001, | 1987, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2016 | 1989, 1998, 1999, 2005, 2008, 2012, 2015 |

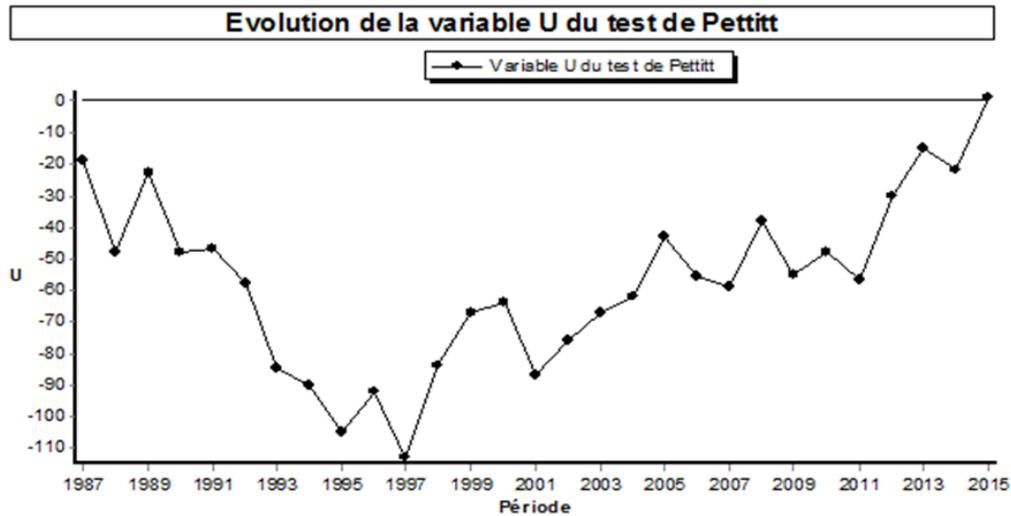
Source : Résultats de traitement de données

**3-1-2. Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques de la FCTR**

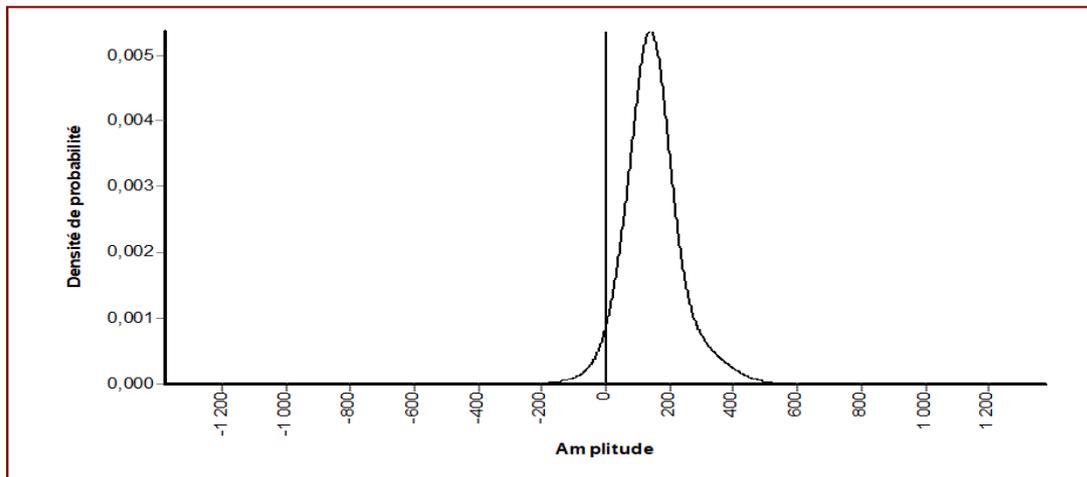
Les **Figures 4, 5 et 6** présentent les résultats de l'application des tests de Buishand, de Pettitt et de Lee et Heghinian sur des séries de précipitations annuelles. Le test de Buishand (**Figure 5**), le test de Pettitt (**Figure 6**), ne mettent en évidence aucune rupture dans la chronique des précipitations annuelles. Seul le test de Lee et Heghinian met en évidence une rupture située en 1997 dans la chronique des précipitations annuelles (**Figure 6**).



**Figure 4 :** Résultats des tests de Buishand appliqués à la série des précipitations annuelles  
 Source : Traitement des données, 2019



**Figure 5 :** Résultats des tests de Pettitt appliqués à la série des précipitations annuelles  
 Source : traitement des données, 2019



Mode de la fonction densité de probabilité *a posteriori* de la position du point de rupture:  
**0,1714 en 1997**

**Figure 6 :** Résultat du test de Lee et Heghinian appliqués à la série de précipitations annuelles  
 Source : traitement des données, 2019

Le **Tableau 3** présente la segmentation selon le test de Hubert appliqué à la série de précipitation. Au regard de ce test, il est remarqué que les moyennes des sous-séries avant et après la première rupture sont respectivement de  $913,645 \pm 146,106$  mm et de  $1062,168 \pm 169,863$  mm, soit un excédent pluviométrique de 16,24 % après la rupture. La sous période 1987 à 1997 est donc plus sec que la sous période 1997 à 2016.

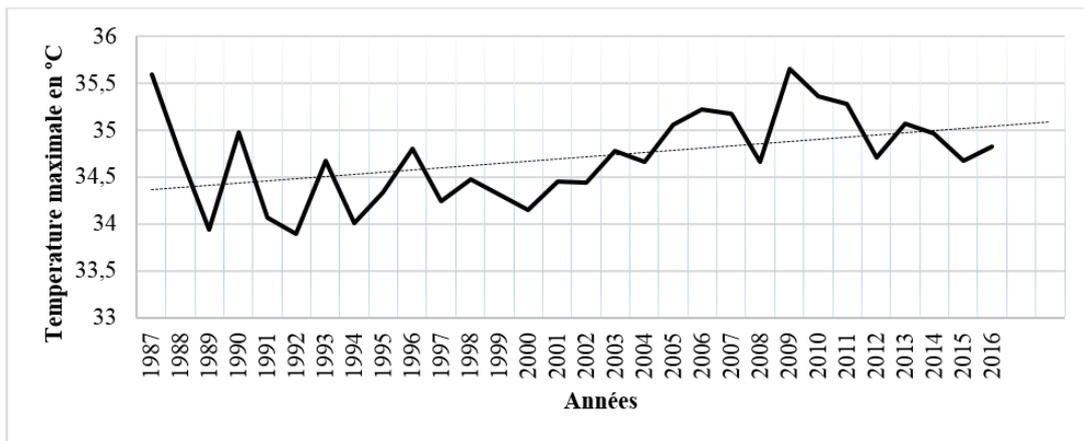
**Tableau 3 :** Segmentation de Hubert (Niveau de significativité de Scheffé 1 %)

| Debut | Fin  | Moyenne  | Ecart type |
|-------|------|----------|------------|
| 1987  | 1997 | 913,645  | 146,106    |
| 1997  | 2016 | 1062,168 | 169,863    |

Source : traitement des données, 2019

### 3-2. Température

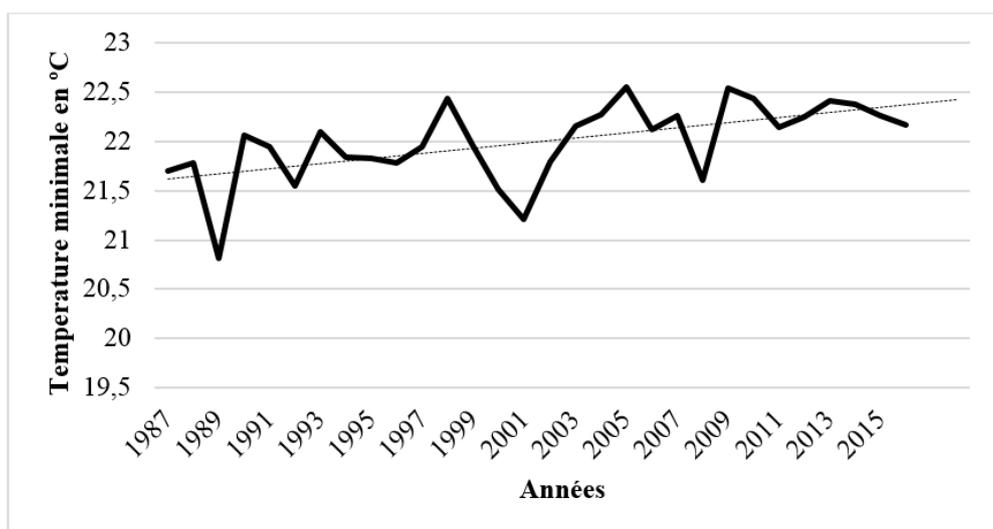
Les températures moyennes annuelles sur la période 1987-2016, ont permis de déterminer le rythme de l'évolution des moyennes des températures maximales et minimales dans la FCTR. La **Figure 7** présente la tendance de la température maximale dans la FCTR. Il est observé que la courbe des températures maximales présente une allure ascendante donnant la preuve que les moyennes des températures maximales ont une tendance à la hausse avec une valeur maximale de 35,65 °C en 2009 et une valeur minimale qui est de 33,89 °C en 1992 au cours de la période allant de 1987 à 2016. L'écart donne  $35,65\text{ °C} - 33,89\text{ °C} = 1,76\text{ °C}$ . La moyenne de la série est de 34,70 °C donc une augmentation de 5,07 %.



**Figure 7 :** Variation interannuelle de la moyenne de la température maximale entre 1987 et 2016

Source : Données ASECNA, 2018

La **Figure 8** présente la tendance de la température minimale dans la FCTR. Celle-ci montre une tendance à la hausse de la température minimale moyenne. L'année 2005 a enregistré la plus forte température minimale qui est de et l'année 1989 la basse qui est de. L'écart donne  $22,55\text{ °C} - 20,85 = 1,70$ . La moyenne de la série est de 21,99 °C donc un pourcentage d'augmentation de 7,73 %. On en déduit que les températures minimales augmentent plus vite que les températures maximales.



**Figure 8 :** Variation interannuelle de la moyenne de la température minimale entre 1987 et 2016

Source : Données ASECNA, 2018

### 3-3. Évolution de l'occupation des terres de 1987 à 1996

La forêt classée des trois rivières est soumise à une forte pression agricole et pastorale. Trois cartes d'occupation du sol ont été réalisées à partir de l'interprétation des images satellites LANDSAT TM (résolution 30 m) de 1987, 2001 et 2016. La **Figure 9** représente sur le plan spatial les unités d'occupation du sol dans la forêt classée des trois rivières. Cette représentation est faite à partir de la comparaison des différentes unités d'occupation du sol en 1987, en 2001 et en 2016. Elle permet d'observer que de 1987 à 2016, les différentes formations forestières (la savane arborée et arbustive, la forêt claire et savane boisée, la forêt galerie et la forêt dense) ont connu une régression. Les forêts galeries sont passées de 0,59 % en 1987 à 0,50 % en 2001 puis 0,48 % en 2016, soit une diminution de 0,11 %. La forêt claire et la savane boisée a connue quant à elle, une forte régression de 41,76 %. La forêt dense a régressé de 2,74 %. Toutes les autres unités (cultures, jachères et sol nu, agglomérations, savane arborée et arbustive) ont connu une évolution progressive. Les cultures, jachères et sol sont passés de 7,1 % en 1987 à 30,7 % en 2001 puis 45,29 % en 2016 soit une évolution de 38,19 %. Les savanes arborées et arbustives ont augmenté, passant de 24,27 % en 1987 à 26,99 % en 2001 pour atteindre 30,7 % en 2016. Les agglomérations ont augmenté, passant de 0,6 ha en 1987 à 4,1 ha en 2016. Cela montre une augmentation des surfaces cultivables au détriment du couvert végétal. En effet, cette progression de la superficie des unités anthropisées est liée d'une part à l'augmentation de la population et d'autre part à une demande croissante des terres agricoles. La dynamique de la végétation peut être ainsi résumée en termes de régression et de progression. S'agissant de la régression constatée au niveau des forêts galeries, il y a l'ensablement de certains cours d'eau qui permettent aux populations d'avoir accès aux forêts galeries et d'exploiter facilement les bordières de ces cours d'eau.

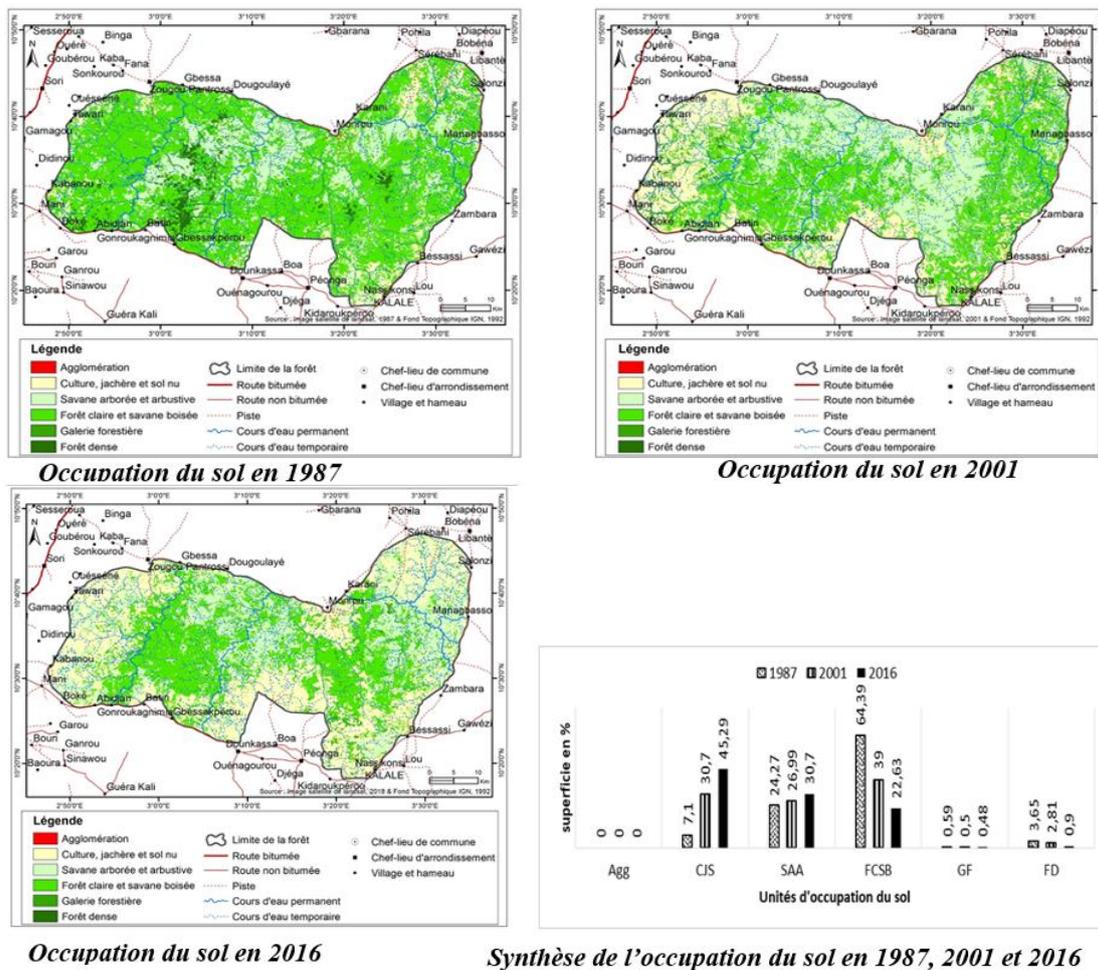


Figure 9 : Cartes d'occupation du sol et des changements observés sur la période 1987 - 2016

## 4. Discussion

La problématique examinée dans cette étude s'inscrit dans la série de recherches des impacts que subit la végétation face aux pressions anthropiques des populations riveraines de la FCTR dans un contexte de variabilité climatique.

### 4-1. Variabilité de la précipitation et de la température maximale et minimale dans la FCTR

Les résultats montrent de fortes fluctuations interannuelles des précipitations dans la forêt classée des trois rivières. Cette forêt a connue entre les années 1987 et 1997 une phase de sécheresse qui peut être interprétée comme une manifestation de la grande sécheresse qui a frappé l'Afrique de l'Ouest à partir de la fin des années 1960 [24, 25] et une période excédentaire allant 1998 à 2016. De plus la période allant de 1997 à 2016 enregistre un retour à des conditions plus humides. Cette période récente est caractérisée par une variabilité interannuelle plus forte que celles de la période précédentes (1987 - 1997). Ces résultats sont en accord avec les travaux de [26] menés au Burkina Faso qui a montré que la période de 1990 - 2010 a connus un regain de conditions humides malgré la grande variabilité qu'a connu cette période d'une année à l'autre. Des quatre tests statistiques réalisés sur la précipitation de la FCTR, seul le test de Lee et Heghinian met en évidence dans la série des précipitations annuelles une rupture de stationnarité située en 1997. Cette différence des résultats des tests statistiques est conforme au constat de [27] qui ont montré à partir de l'étude de séries que ces tests peuvent identifier une rupture en moyenne avec quelques années de différence ou parfois aboutir à des conclusions contradictoires sur une même série de données. L'année de rupture (1997) notée dans la série des précipitations annuelles appartient à la période (1987-2016). En comparant les résultats de la présente étude à ceux de [28] qui a pris le Sénégal, on note les mêmes résultats au niveau de la rupture, à quelques différences : le test de Pettitt a montré la rupture dans l'étude. Un excédent pluviométrique après la rupture (16,27 %) a été noté dans cette étude, par contre, [29] a constaté un déficit pluviométrique qui est de l'ordre de 6,76 % dans une étude menée dans la même zone. Ces différences pourraient s'expliquer dans les résultats des deux études d'une part par l'inégalité de la longueur des séries étudiées et d'autre part par la période d'étude choisie. La tendance à la hausse de la température moyenne maximale et de la température moyenne minimale dans la FCTR sont en adéquation avec les travaux réalisés par [30, 31] qui ont montré qu'une « péjoration climatique » en l'occurrence thermométrique est intervenue sur le nord du Bénin à partir de la fin des années soixante au cours de leur étude portant sur la variabilité climatique du domaine tropical africain. Le même constat a été fait par [32] lors de ses travaux dans le département des plateaux de même que [33] dans le Houliyé qui ont montré une augmentation de la température minimale et maximale dans ces zones d'étude.

### 4-2. Impacts des pressions anthropiques sur la dynamique de la végétation de la FCTR

L'analyse diachronique des cartes d'occupation du sol (1987, 2001, 2016) de la FCTR, montre que les formations végétales de la forêt connaissent une évolution essentiellement régressive. Cette régression est beaucoup plus importante dans les formations fermées comme les galeries forestières, les forêts denses et les forêts claires et savanes boisées. Par contre, les mosaïques de cultures, jachères et sols nus et les savanes arborées et arbustives ont connu une extension de leurs superficies. La forte savanisation de cette forêt classée qui, auparavant était dominée par des formations végétales fermées telles que les forêts denses sèches et les forêts claires serait essentiellement liée aux activités anthropiques. Les résultats de cette recherche sont en adéquation avec celui de [29] réalisés dans la zone, qui a constaté une régression beaucoup plus importante des formations anthropiques à cause des activités humaines. Plusieurs auteurs [35 - 37] ont fait le même constat dans la région soudanienne et dans la zone de transition soudano guinéenne du Bénin. La même tendance est notée dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest, notamment au Mali [38], en Côte d'Ivoire [39] et au Niger [40] où ces auteurs ont montré que les formations denses, particulièrement les savanes boisées, sont les plus affectées par les activités anthropiques. [41] a montré que les causes de la dégradation du couvert végétal peuvent aussi être d'origine climatique lorsque la zone écologique ne bénéficie pas de la pluviosité minimale devant permettre la reconstitution spontanée des formations végétales.

## 5. Conclusion

Une modification de la couverture végétale de la Forêt Classée des Trois Rivières (FCTR) a été observée au cours de la période 1987 - 2016. Cette modification apparaît comme une conséquence des effets combinés des pressions anthropiques et la sécheresse. Les résultats obtenus montrent que la FCTR connaît depuis plus de trois décennies des mutations climatiques importantes caractérisées par une hausse de la pluviométrie et une hausse des températures annuelles maximales et minimales dans la période de 1987 à 2016. De plus, l'étude de la dynamique de l'occupation des terres de la FCTR a révélé d'importantes mutations en cours dans cet espace. En effet, la cartographie des changements spatio-temporels de l'occupation des terres, à partir d'images satellitaires Landsat a permis de discriminer six classes d'occupation des terres. Les changements identifiés de l'analyse des résultats obtenus indiquent qu'il y a une forte dégradation des formations végétales naturelles marquée par une régression des superficies des forêts claires et savanes boisées, des galeries forestières et des forêts denses ; une forte anthropisation du milieu naturel marquée par une augmentation des zones de culture, jachères et sol nu et des agglomérations dans la FCTR. Selon les acteurs enquêtés, les principaux déterminants directs de déforestation et de dégradation des forêts sont l'agriculture, l'élevage (surpâturage), l'exploitation forestière et la variation du climat. Au vu des résultats obtenus, il est très important de redoubler la surveillance de cette aire protégée face à la pression foncière et de sensibiliser les populations riveraines sur les techniques de gestion durable des terres.

## Références

- [1] - GIEC, Changements climatiques : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, (2014) 161 p.
- [2] - A. MAMA, B. SINSIN, C. De CANNIERE, J. BOGAERT, Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1) (2013) 78 - 88
- [3] - E. OGOUWALE, Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat unique, LECREDE/ FLASH/ EDP/ UAC, (2006) 302 p.
- [4] - M. BOKO, F. KOSMOWSKI, W. E. VISSIN, Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin : Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest. Konrad-Adenauer-Stiftung, Cotonou, (2012) 65 p.
- [5] - UICN/PACO, Retombées économiques des aires protégées d'Afrique de l'Ouest. Ouagadougou, BF: UICN/PACO, (2011) 53 p.
- [6] - L. L. AMOUSSOU, T. O. LOUGBEGNON, B. A. DJOSSA, F. C. KIDJO, B. AWESSOU, G. A. MENSAH, Analyse de la pression anthropique et son effet sur la biodiversité des sites à ériger en réserves de faune au Sud-Bénin. *Bul. Rec. Agro. Bénin (BRAB)*N° Spécial Elevage et Faune, (2012) 28 - 34 p.
- [7] - DGFRN, Rapport annuel d'activités 2015, (2016) 40 p.
- [8] - I. TOKO, O. AROUNA & B. SINSIN, Cartographie des changements spatio-temporels de l'occupation du sol de la forêt classée de l'Alibori Supérieur au Nord-Bénin. *BenGéo.*, 7 (2010 a) 22 - 39 p.
- [9] - PGTFR, Réalisation de l'étude de référence sur la diversité biologique des massifs forestiers des trois rivières, de sota, de gougoun, de Dogo-Ketou, de l'Oueme supérieur-N'dali, rapport final septembre 2011, (2011) 139 p.
- [10] - MEPN, Plan d'aménagement participatif de la forêt classée des trois rivières 2010-2019, Description du plan & manuel des procédures, (2010) 171 p.
- [11] - M. BOKO, F. KOSMOWSKI et E. W. VISSIN, Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin, (2011) 72 p.
- [12] - B. BERNIER, Introduction à la macroéconomie. Dumond, Paris, 217 p.

- [13] - S. ARDOIN-BARDIN, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Montpellier, (2014) 240 p.
- [14] - L. GIDDINGS, M. SOTO, B. M. RUTHERFORD et A. MAAROUF, Standardized Précipitation Index Zones for México. *Atmosféra*, (2005) 33 - 56 p.
- [15] - H. WU, M. J. HAYES, A. WEISS et Q. HU, An évaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z-index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21 (2001) 745 - 758 p.
- [16] - L. PERREAULT, Analyse bayésienne rétrospective d'une rupture dans les séquences de variables aléatoires hydrologiques. Thèse en cotutelle ENGREF/GRESE et Univ. Quebec/INRS-Eau, (2000) 200 p.
- [17] - H. LUBES-NIEL, J. M. MASSON, J. E. PATUREL et E. SERVAT, Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 3 (1998) 383 - 408 p.
- [18] - A. N. PETTITT, A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, vol. 28, n° 2 (1979) 126 - 135 p.
- [19] - V. S. H. TOTIN, Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat. Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'Espace, (2010) 283 p.
- [20] - A. F. S. LEE et S. M. HEGHINIAN, A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables. A Bayesian approach. *Technometrics*, Vol. 19, N° 4 (1977) 503 - 506 p.
- [21] - P. HUBERT, J. P. CARBONNEL et A. CHAOUICHE, Segmentation des séries hydrométriques : Application à des séries de précipitations et de débits d'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 110 (1989) 349 - 367 p.
- [22] - A. A. AKA, H. LUBES, M. MASSON, E. SERVAT, J. E. PATUREL et B. KOUAME, Analyse de l'évolution temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire. Approche statistique et caractérisation des phénomènes. In : PHI-V, Documents Techniques en Hydrologie 1 No. 16 UNESCO, (1997) 47 - 63 p.
- [23] - S. ARDOIN-BARDIN, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Eau. Université Montpellier II, (2004) 437 p.
- [24] - J. P. BRICQUET, F. BAMBA, G. MAHE, M. TOURE et J. C. OLIVRY, Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Rev. Sci. Eau*, 3 (1997) 321 - 337 p.
- [25] - E. SERVAT, J. E. PATUREL, H. LUBES-NIEL, B. KOUAME, J. M. MASSON, M. TRAVAGLIO et B. MARIEU, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 12, N° 2 (1999) 363 - 387 p.
- [26] - A. P. OUOBA, Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de Doctorat Unique, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), (2013) 305 p.
- [27] - S. ZAKARI, Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Couberi (Benin). Thèse de Doctorat nouveau régime, EDP/FLASH, (2015) 203 p.
- [28] - A. BODIAN, Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest), *Physio-Géo*, Volume 8 | 2014, mis en ligne le 02 novembre 2014, consulté le 24 septembre 2019. URL: <http://journals.openedition.org/physio-geo/4243>; DOI: 10.4000/physio-geo.4243, (2014) 297 - 312 p.
- [29] - S. ZAKARI, I. T. IMOROU, O. A. B. THOMAS, M. DJAUGA & O. AROUNA, Application de la télédétection et du SIG au suivi des formations végétales de la Forêt Classée Des Trois Rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal* May 2018 edition, Vol. 14, N° 15, ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431, (2018) 450 - 469 p.

- [30] - C. HOUNDENOU, J. PERARD, Variabilité Pluvieuse et Mutations Socio-Economiques dans le Sud du Bénin en Afrique de l'Ouest, In L'Homme et l'Environnement : Histoire des grandes peurs et géographie des Catastrophes, dépôt légal, 3ème trimestre, (France), (2003) 187 - 200 p.
- [31] - E. W. VISSIN, Déterminants de la vulnérabilité et stratégies d'adaptations aux changements climatiques dans le département de l'Alibori au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire* Leïdi - ISSN0051 - 2515 - N° 11 (2013) 479 - 492 p.
- [32] - A. AKINDELE, Interprétation socio anthropologique des indicateurs environnementaux de la dynamique du climat dans le département du Plateau. Mémoire de maîtrise de géographie, Université d'Abomey Calavi, (2009) 65 p.
- [33] - M. LANOKOU, E. OGOUWALE, F. G. A. P. CLEDJO et C. S. HOUSSOU, Contribution à l'étude des paramètres climatiques dans un environnement particulier, le hollidje au Benin (Afrique de l'ouest). *Annales de l'Université Marien NGOUABI*, 2011-2012 ; 12-13 (1) : *Lettres et Sciences Humaines*. ISSN : 1815 - 4433, (2012) 54 - 65 p.
- [34] - A. D. MOUSSA, Cartographie des changements spatiotemporels de l'occupation du sol dans la forêt classée de Bellefougou (Commune de Djougou). Mémoire de Maîtrise de Géographie, DGAT/FLASH/UAC, (2014) 82 p.
- [35] - S. KARIMOU, Dynamique phytogéographique de la marge septentrionale de la zone soudano-guinéenne dans la Commune de Bembèrèkè : secteur centre (Arrondissement d'Ina). Mémoire de Maîtrise de Géographie, DGAT/FLASH/UAC, (2013) 122 p.
- [36] - I. TOKO, O. AROUNA & B. SINSIN, Cartographie des changements spatio-temporels de l'occupation du sol de la forêt classée de l'Alibori Supérieur au Nord-Bénin. *BenGéo.*, 7 (2010 a) 22 - 39 p.
- [37] - H. DIALLO, I. BAMBA, YSS. BARIMA, M. VISSER, A. BALLO, A. MAMA, I. VRANKEN, M. MAÏGA, J. BOGAERT, Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sècheresse*, 22 (2011) 97 - 107 p.
- [38] - AM. KOUASSI, KF. KOUAME, KE. AHOUSI, S. OULARE, J. BIEMI, Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 20 (2012) 124 - 146 p.
- [39] - A. MAMA, B. SINSIN, C. DE CANNIERE, J. BOGAERT, Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1) (2013) 78 - 88 p.
- [40] - K. ADJONOU, R. BELLEFONTAINE, K. KOKOU, les forêts claires du Parc National Oti-Keran au Nord-Togo, Structure dynamique et impact des modifications récentes. *Revue électronique sècheresse*, 20 (4) (2009) 1 - 10