

Changements d'états de surface et évolutions spatio-temporelles des précipitations sur le bassin versant de la Marahoué (Côte d'Ivoire)

[Soil degradations and recent spatial and temporal changes in rainfall on the watershed Marahoué (Ivory Coast)]

Guy Richard IRIE, Gneneyougo Emile SORO, and Tié Albert GOULA BI

UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2015 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: Marahoué Watershed faces significant variability of its bioclimatic conditions. The aim of this study is to analyze the dynamics of land use between 1986 and 2006 and recent trends in rainfall especially after the 2000s. To achieve this aim, a diachronic analysis of satellite images and the spatial and temporal variability of rainfall over the period 1970-2008 using statistical methods were used. The results come as bare soil/habitats and crops increases significantly when the watercourse, wetlands, dense forests and forest galleries regress sharply. The increase in bare soil / habitats and crops show the important role of human activities in the dynamics of land use. In addition, the rainfall decrease in watershed from 1970 with large deficits in the order of 15-37% has also contributed to the drying up of watercourses and reduction of wetlands. Moreover, the results show a recovery rainfall after 2000 throughout the watershed.

KEYWORDS: land use, rainfall variability, watercourses, Watershed Marahoué.

RESUME: Le bassin versant de la Marahoué connaît une variabilité importante de ses conditions bioclimatiques. Dans un tel contexte, l'objet de la présente étude est analyser la dynamique de l'occupation du sol entre 1986 et 2006 et les récentes tendances de la pluviométrie notamment après la décennie 2000. Pour ce faire, une analyse diachronique des images satellitaires ainsi la variabilité spatio-temporelle des précipitations sur la période 1970-2008 à partir de méthodes statistiques ont été menée. Les résultats relèvent que les sols nus/habitats et les cultures augmentent de façon significative alors que les retenues d'eau, zones humides, forêts denses et forêts galeries qui régressent fortement. L'augmentation des sols nus/habitats et cultures montrent le rôle prépondérant des activités anthropiques dans la dynamique de l'occupation du sol. En outre, la baisse pluviométrique qu'a connue le bassin versant à partir de 1970 avec des déficits importants de l'ordre de 15 à 37 % a également concouru à l'assèchement des plans d'eau et à la réduction des zones humides. Par ailleurs, les analyses montrent une reprise pluviométrique après 2000 sur l'ensemble du bassin versant.

MOTS-CLEFS: Occupation de sol, variabilité pluviométrique, Étendue d'eau, Bassin versant de la Marahoué.

1 INTRODUCTION

Les variations environnementales terrestres, du fait de la modification des échanges avec la couverture végétale, modulent en grande partie la mosaïque des climats régionaux, notamment au travers de paramètres tels que l'albédo, les ressources en eau du sol et le cycle de l'eau aérien [1]. En effet, les modifications affectant la couverture végétale d'un

espace donné, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle, ont une influence plus ou moins directe sur la relation existant entre les précipitations et les écoulements de surface [2]. En outre, la nature de la couverture végétale intervient sur l'intensité de cinq processus fondamentaux dans le cycle de l'eau à la surface : interception, évaporation directe après interception, infiltration dans le sol, évapotranspiration et écoulement de surface [3]. Pays de forêt et de savane, la Côte d'Ivoire connaît, depuis maintenant plus de 40 ans, une variabilité importante de ses conditions bioclimatiques. Corrélativement à cette variabilité climatique, on observe une modification dans la dynamique du couvert végétal [4]. Selon la référence [5], cette baisse pluviométrique correspond chronologiquement au début de la déforestation massive en Côte d'Ivoire survenue pendant la décennie 1961-1970. Ainsi, diverses études ([6], [7], [8], [9], [10]), montrent qu'une tendance à la sécheresse s'est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960. Cette évolution des précipitations se traduit par des variations qui se manifestent par la baisse des hauteurs de pluie au sein des séries chronologiques pluviométriques [11]. Cependant, l'apparition de quelques années excédentaires à la fin de la décennie 2000 amène à s'interroger sur la fin de la période sèche qui dure depuis le début des années 1970. Des auteurs ont tenté d'apporter des réponses à ces incertitudes en rattachant la décennie 2000 aux décennies sèches antérieures ([12], [13]). Mais leurs études sont beaucoup plus limitées à la région sahélienne et ne permettent donc pas de confirmer ou d'infirmer, dans les régions tropicales, l'idée d'un retour à des conditions climatiques plus humides, comparables à la situation des années 1950 et 1960. C'est dans un tel contexte que cette étude a été initiée en Côte d'Ivoire sur le bassin versant de la Marahoué, zone soumise à une activité agricole intense, à cheval entre deux régimes pluviométriques et deux écosystèmes (savane et forêt). Ce bassin un exemple particulièrement représentatif de la nécessité d'une approche globale pour comprendre les variations climatiques récentes en liaison avec la dynamique du couvert végétal. Ainsi, l'étude vise à l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol entre 1986 et 2006 et les récentes tendances de la pluviométrie notamment après la décennie 2000.

Pour ce faire, cette approche concerne l'analyse diachronique des images satellitaires ainsi la variabilité spatio-temporelle des précipitations sur la période 1970-2008 à partir de méthodes statistiques.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la Marahoué est située entre la longitude 5°5' et 7°1' Ouest et la latitude 6°7' et 9°5' Nord (Fig.1). Elle a une superficie de 24 300 km². C'est l'affluent le plus important de la rive droite du fleuve Bandama. La Marahoué (ou Bandama Rouge) prend nord de la Côte d'Ivoire aux alentours de la région de Boundiali. La longueur du cours d'eau principal est de 550 km. Le cours d'eau principal, la Marahoué est encadré par deux affluents : le Béré à l'Est et le Yani ou Bahoroni à l'Ouest, il se jette dans le Bandama blanc à l'endroit où se trouve le village de Bozi, peu après la ville de Bouaflé.

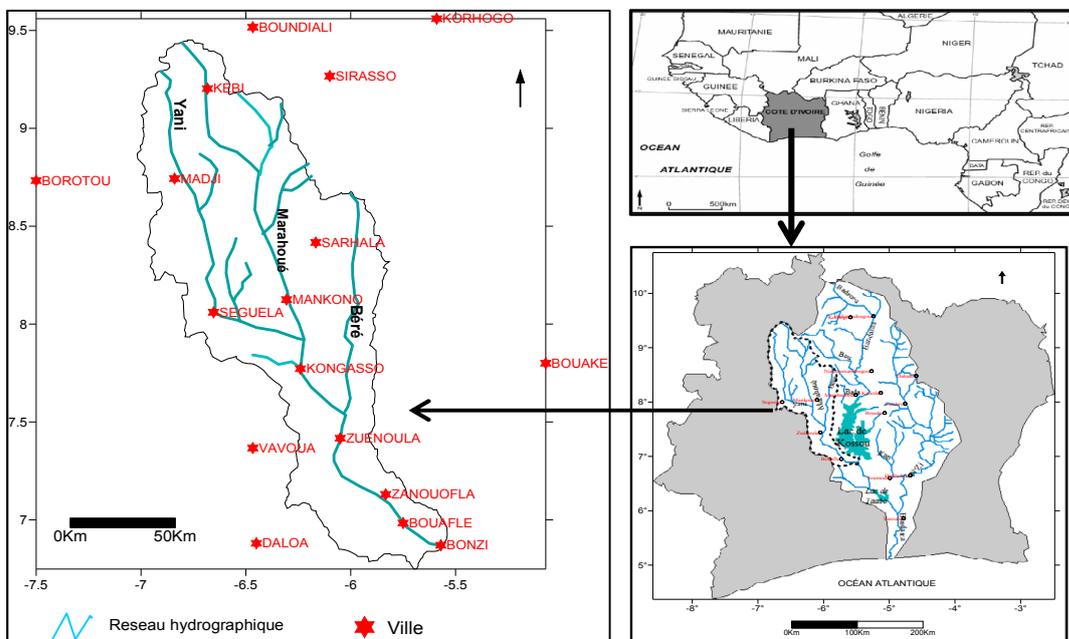


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant de la Marahoué

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

Les données pluviométriques utilisées proviennent de la Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Pour cette étude, sept stations pluviométriques (Bouaflé, Zuénoula, Vavoua, Sarhala, Sirasso, Borotou, Boundiali) et trois stations synoptiques (Daloa, Bouaké, Korhogo) situés sur le bassin et au voisinage immédiat ont été utilisées. Les postes ont été choisis parce qu'ils disposent de données de bonne qualité sur une longue période. Les données sont disponibles au pas de temps mensuel et annuel. La période d'étude s'étend sur 39 ans (1970-2008) pour la variabilité interannuelle des pluies.

3.2 DONNÉES OPTIQUES

Les images satellitaires utilisées sont les images ETM et ETM+ (Enhancement Thematic Mapper plus) de Landsat 7. L'étude du bassin a nécessité cinq scènes ETM+ du Satellite Landsat 7 : 197-053, 197-054, 198-053, 198-054, 198-055. Ces données ont été acquises les 16/11/1986 et le 15/11/2006. Cette période de l'année correspond à la grande saison sèche d'où la quasi absence de nuages et d'humidité dans l'air. Ces scènes sont disponibles sur le site <http://glcfapp.umiacc.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Les images satellitaires utilisées sont des images de Landsat fournies par les sites Internet américain (<https://zulu.ssc.gov/mrsid>) et (<http://glcfapp.umiacc.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Elles concernent les scènes 197-053, 197-054, 198-053, 198-054, 198-055. Elles couvrent le bassin versant de la Marahoué. Ces images ont déjà subi des prétraitements, c'est-à-dire des corrections radiométriques et géométriques. Les caractéristiques des images sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des images Landsat ETM et ETM+

Bassin versant	Résolution spatiale	Nombre de bande	Données de scènes ETM et ETM+	Date
Marahoué	30 X 30 m	7 Bandes	p197r053, p197r054, p198r053, p198r54 et p198r55	1986
		8 Bandes	p197r053, p197r054, p198r053, p198r54 et p198r55	2006

4 MÉTHODES

4.1 CARACTÉRISATION DE LA DYNAMIQUE DU COUVERT VÉGÉTAL

4.1.1 COMPOSITION COLORÉE

Les compositions colorées ont consisté à afficher simultanément à l'écran, trois bandes d'images dans les canaux de base (Rouge, Vert et Bleu). L'opération permet de faciliter l'interprétation des données.

4.1.2 CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT

Une classification supervisée a été réalisée. Cette approche est la technique la plus répandue et la plus couramment utilisée dans la cartographie de l'occupation du sol par télédétection satellitaire [14]. Un algorithme de classification supervisée « maximum de vraisemblance (MDV) » pour classer les images a été choisi par la suite. Ce dernier est très utilisé dans les classifications supervisées et est considéré comme le plus performant des algorithmes dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol ([15] in [14]).

4.1.3 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

L'analyse diachronique des images couvrant le bassin versant a permis de mieux apprécier la dynamique de l'occupation du sol [16]. Les taux de transformation des différentes classes d'occupation du sol sont ainsi donnés par la formule suivante :

$$T = \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \times 100 \quad (\text{Éq.1});$$

Avec : T = taux de conversion ;
 S_1 = superficie du thème à la date 1 ;
 S_2 = superficie du thème à la date 2 ;
n = nombre d'année entre les deux dates.

4.2 CARACTERISATION DE LA VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES

4.2.1 ANALYSE DE LA VARIABILITE TEMPORELLE DES PLUIES

4.2.1.1 METHODE DES INDICES DE NICHOLSON (1980)

La méthode des indices de la référence [17] permet de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires au sein d'une série chronologique. Pour chacun des postes pluviométriques retenus, un indice annuel de la variable pluviométrique a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation suivante:

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (\text{Éq.2}) ;$$

Avec :

I_i :indice annuelle de la variable pluviométrique ;
 x_i :module annuel de la variable de l'année i ;
 \bar{x} :moyenne interannuelle de la variable sur la période d'étude ;
 σ :écart type de la série pluviométrique sur la période d'étude.

4.2.1.2 FILTRE NON RECURSIF PASSE BAS DE HANNING D'ORDRE 2

La méthode filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelée aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Le calcul des totaux pluviométriques pondérés est effectué au moyen des équations présentées par la référence [18] dont le principal est:

$$X_{(t)} = 0,06X_{(t-2)} + 0,25X_{(t-1)} + 0,38X_{(t)} + 0,25X_{(t+1)} + 0,06X_{(t+2)} \quad (\text{Éq.3}),$$

Pour $3 \leq t \leq (n-2)$

Où $X_{(t)}$ est le total pluviométrique pondéré du terme t, $X_{(t-2)}$ et $X_{(t-1)}$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme t, et $X_{(t+2)}$ et $X_{(t+1)}$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui suivent immédiatement le terme t. Les valeurs pluviométriques pondérées sont ensuite centrées et réduites pour mieux visualiser les périodes d'excédent et de déficit pluviométriques.

4.2.1.3 TEST DE PETTITT (1979) [19]

Le test de rupture vient en appoint aux indices standards car l'existence de modification brutale dans les séries chronologiques est une cause possible de la rupture de l'homogénéité de ces séries [20]. Le test de Pettitt a été retenu dans cette étude. C'est un test non-paramétrique qui dérive de la formulation du test de Mann-Whitney. Il a été utilisé dans de nombreux travaux ([21], [11], [22]).

4.2.2 DÉTERMINATION DES DÉFICITS PLUVIOMÉTRIQUES

Cette méthode consiste à déterminer le pourcentage de variations de la moyenne de la série considérée (pluie, débit,...) d'une sous-période T_i autour de la période T considérée [13]. Pour de la variable pluviométrique dont la série chronologique présente une rupture, cette méthode précise le pourcentage de variation de la moyenne autour de la date de rupture en appliquant la formule suivante :

$$D = \frac{x_j}{x_i} - 1 \quad (\text{Éq.4}),$$

où :

\bar{X}_j : moyenne de la période après la rupture ;

\bar{X}_i : moyenne de la période avant la rupture ;

Si $D \geq 0$ alors il y a un excédent pluviométrique ou de débit de la période après la rupture par rapport à celle avant la rupture ;

Si $D < 0$ on parle de déficit pluviométrique ou de débit de la période après la rupture par rapport à celle avant rupture

4.2.2.1 ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES PLUIES (METHODE DU KRIGEAGE)

La méthode de krigeage est utilisée pour le tracé des isohyètes. C'est une méthode d'interpolation spatiale stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée. Elle consiste à prévoir la valeur de la variable régionalisée étudiée en un site non échantillonné par une combinaison linéaire de données ponctuelles adjacentes afin d'obtenir une prévision non biaisée et de variance minimale [23]. Dans la présente étude, les indices ainsi que les déficits et excédents pluviométriques sont à spatialiser.

5 RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 ANALYSE DU CHANGEMENT D'ETATS DE SURFACE

5.1.1 CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

La classification a été réalisée avec une précision globale respective de 94,56 % et 98,50%. Elle a permis d'identifier six thèmes de l'occupation du sol : l'eau, les zones humides, les forêts, forêt dégradée, les cultures et les habitats-sol nu (tableau 2 et 3). Globalement, ces thèmes sont bien classifiés avec une précision supérieure à 90%.

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification supervisée de l'image Landsat TM de 1986

Classe	Eau	Zone humide	Forêt	Forêt dégradée	Culture	Sol nu/ habitat
Eau	99,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zone humide	0,00	99,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Forêt dense	0,11	0,00	93,26	9,24	2,20	0,00
Forêt dégradé	0,00	0,29	4,78	93,15	3,98	0,90
Culture	0,00	0,00	1,97	6,76	93,82	1,50
sol nu/habitat	0,23	0,29	0,00	0,09	0,00	97,61
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Précision globale = 96,15333 % ; Kappa Coefficient = 0,958

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification supervisée de l'image Landsat ETM+ de 2006

Classe	Eau	Zone humide	Forêt dense	Forêt dégradée	Culture	sol nu/ habitat
Eau	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zone humide	0,00	97,26	0,00	0,00	0,11	0,00
Forêt dense	0,00	0,00	99,04	0,57	0,33	0,00
Forêt dégradé	0,00	0,00	0,64	99,01	0,76	0,11
Culture	0,00	1,76	0,32	0,00	97,82	0,00
Sol nu/ habitat	0,00	0,98	0,00	0,42	0,98	99,89
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Précision globale = 98,4968% ; Kappa Coefficient = 0,9813

5.1.2 ÉVOLUTION DU COUVERT VEGETAL DE 1986 A 2006

L'analyse diachronique des images met en évidence une mutation des différentes classes (Fig. 2). Les classes eau, zone humide, forêt dense et forêt dégradée connaissent une régression (Fig 3). Ainsi, la surface totale occupée par l'eau sur le bassin est passée de 2783,3 Km² (13%) en 1986 à 1415,2 Km² (6,61%) en 2006 soit une régression de 1368,1 Km²; ce qui correspond à un taux de 3,44%. Quant à la zone humide, elle est passée de 4416,9 Km² (20,63%) en 1986 à 2254,5 Km² (10,53%) en 2006 soit une régression de 2162,1 Km² correspondant à un taux de -3,42%. Par ailleurs, les classes cultures et sols nus-habitats sont en nette progression (Fig. 4). Les classes culture et sol nu/habitat, sont passés respectivement de 4055,1 Km² (18,94%) et 3158 Km² (14,75%) en 1986 à 4785,1 Km² (22,35%) et 7307,2 Km² (34,13%) soit des taux d'accroissement respectif de 0,82% et 4,11%.

La perte forestière s'est effectuée principalement au profit des cultures pérennes (cacao, café) et annuelles (igname, riz, banane plantain). Les classes d'occupation du sol les forêts denses et dégradées sont passées de 1986 à 2006 respectivement de 3611,9 (16,87%) à 2637,7 Km² (12,32%) et de 3384,9 Km² (15,81%) à 3010,2 Km² (14,06%). Les pertes se chiffrent à 964,2 Km² pour la forêt dense et à 374,7 Km² pour les forêts dégradées. Il est noté que les étendues d'eau ont tendance à disparaître pour être remplacé par des espaces de la végétation humide ou sèche puis par des cultures ou des habitations sur la période 1986-2006 (Fig 2).

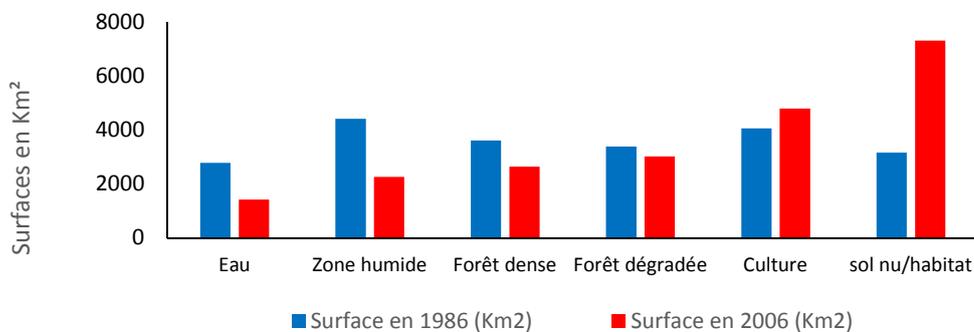


Fig. 2. Évolution de la surface des types d'occupation de sol de 1986 à 2006

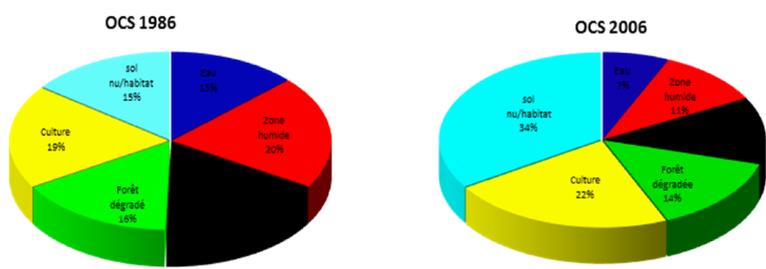
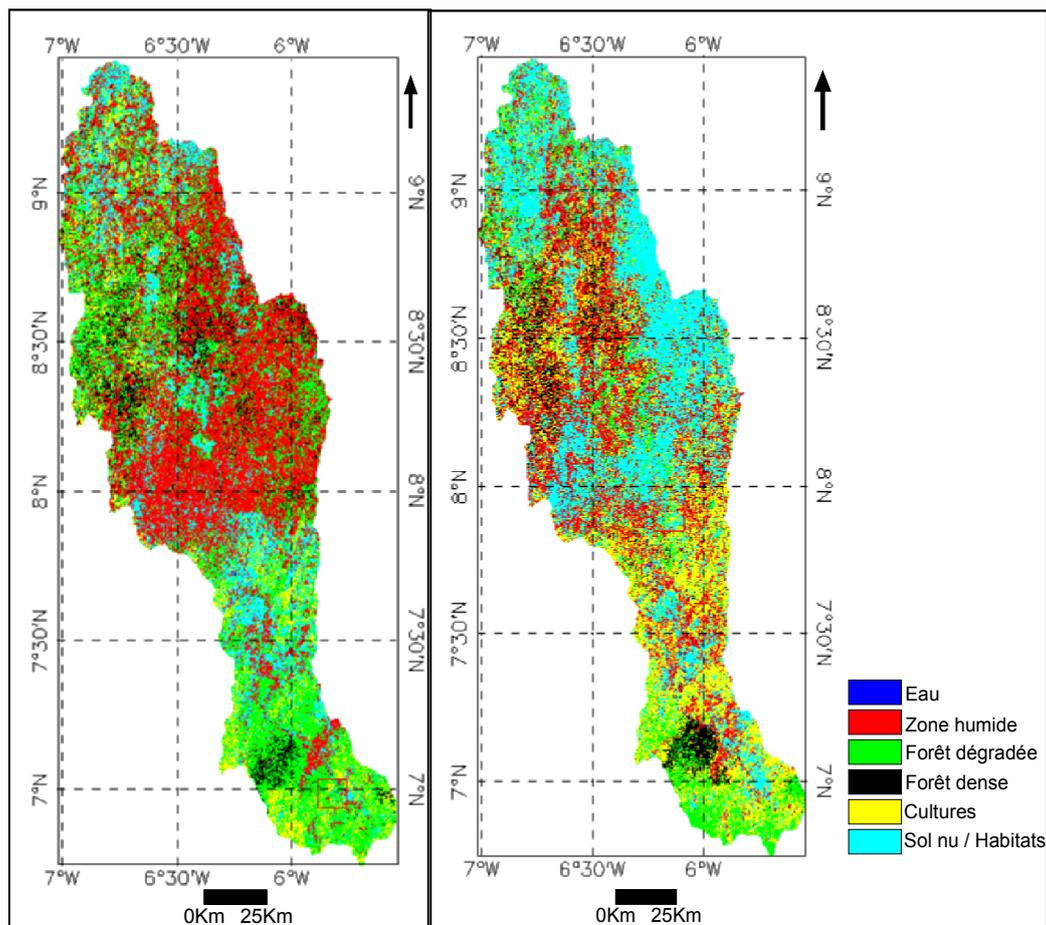


Fig. 3. Évolution des classes d'occupation du sol issue de la MDV sur 20 ans

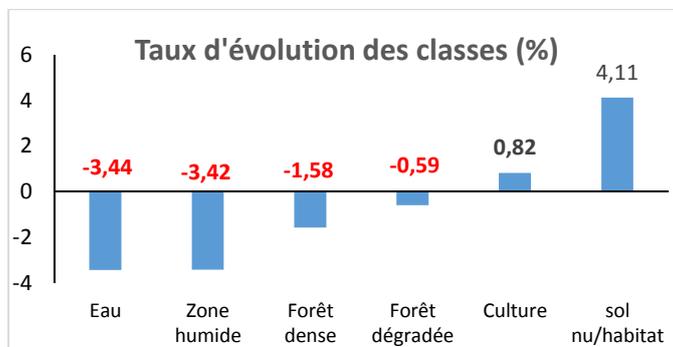


Fig. 4. Taux d'évolution des différentes classes

6 VARIABILITÉ INTERANNUELLES DES PLUIES

6.1.1 ANALYSE TEMPORELLE DES PRÉCIPITATIONS

6.1.1.1 REGIME TROPICAL DE TRANSITION (ZONE NORD)

La figure 5 permet de dégager (3) trois périodes pluviométriques. Il s’agit de la période humide, de la période sèche et de la reprise de la pluviométrie. Globalement, avant 1975, la pluviométrie était excédentaire avec des indices positifs sur l’ensemble des stations de la zone nord du bassin versant. La période 1976-2000 a été caractérisé par une baisse pluviométrique entraînant un déficit important marqué par des indices négatifs. Cette période a été très longue comparativement à la période humide. Par ailleurs, on observe une reprise pluviométrique à partir 2001 aux stations de Boundiali et Sirasso. Quant aux stations de Borotou et Sarhala, la reprise a commencé en 2003.

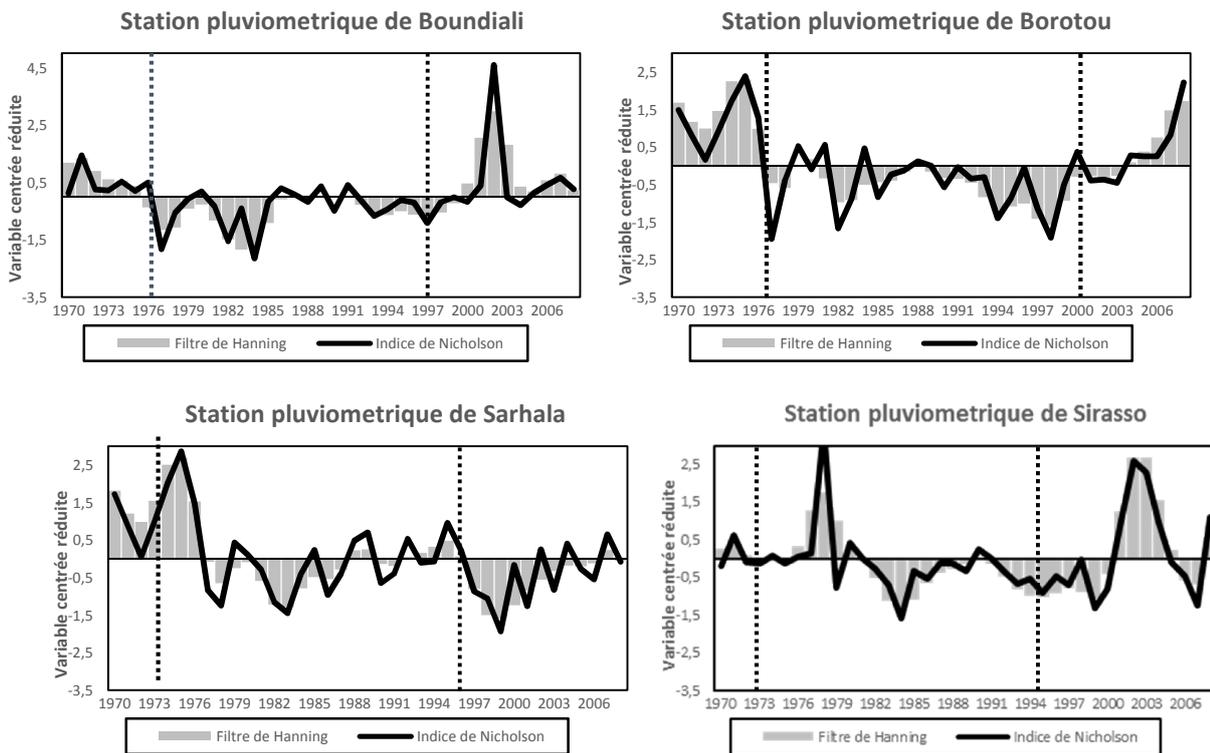


Fig. 5. Variabilité temporelle des précipitations en zone tropical de transition

6.1.1.2 REGIME EQUATORIAL DE TRANSITION ATTENUÉE (ZONE SUD)

Le climat équatorial de transition atténué présente, à quelques différences près, les mêmes caractéristiques que le climat soudanais. De 1970 à 1980, la période est caractérisée par des indices positifs aux stations de Zuénoula, Vavoua et Bouaflé (Fig. 6). De 1981 à 2000, on observe des indices négatifs, indiquant le caractère déficitaire de cette période. Après la période déficitaire, on note une reprise de la pluviométrie au sud du bassin versant.

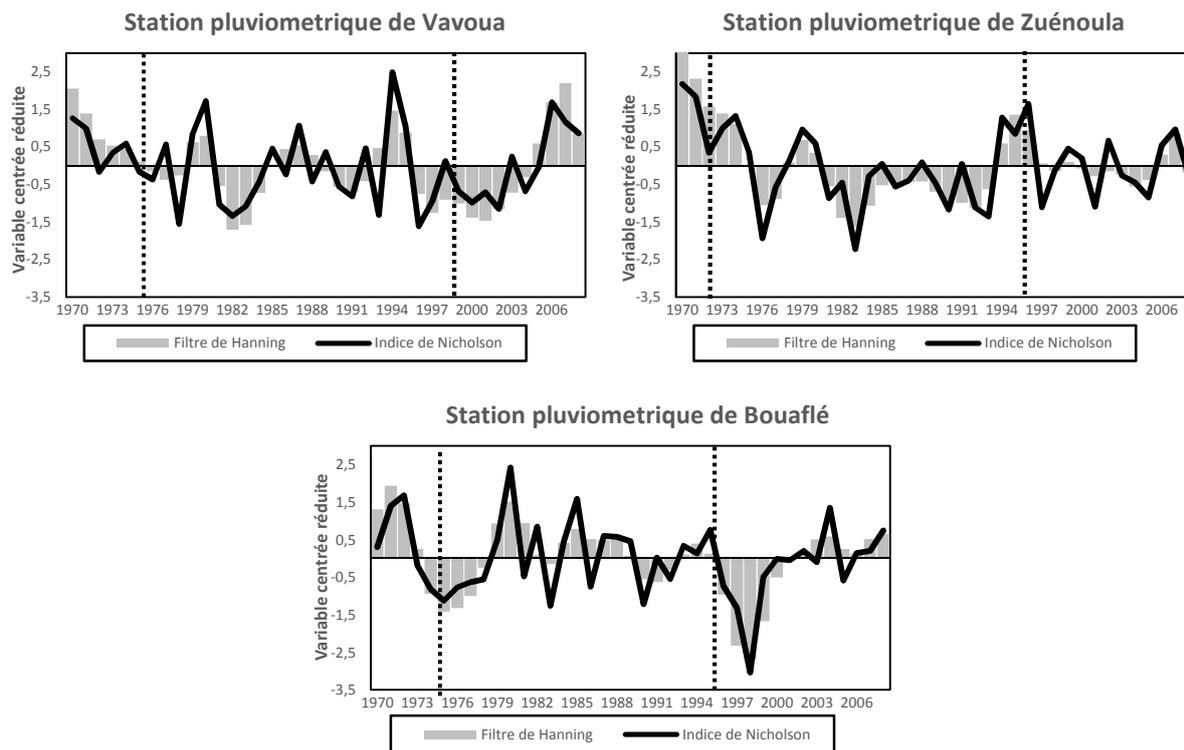


Fig. 6. Variabilité temporelle des précipitations en zone équatoriale de transition atténuée

6.1.2 RUPTURES PLUVIOMÉTRIQUES

Il apparaît que la majorité des ruptures sont concentrée sur la période 1972-1976 pour toutes les stations à l'exception de Sirasso où aucune rupture n'a été détectée (Tableau 4). L'apparition des années de rupture dans les séries pluviométriques s'est faite de façon irrégulière sur l'ensemble du bassin versant indépendamment des zones climatiques.

Tableau 4. Ruptures détectées dans les séries pluviométriques

Zone climatique	Stations	Périodes	Date de la rupture
Nord	Boundiali	1970 -2008	1976
	Sirasso	1970 -2008	pas de rupture
	Borotou	1970 -2008	1976
	Sarhala	1970 -2008	1976
Centre	Zuénoula	1970 -2008	1974
	Vavoua	1953 -2008	1974
	Bouaflé	1950 -2008	1972

6.1.3 ANALYSE SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS

6.1.3.1 VARIABILITÉ SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES

L'analyse décennale de l'évolution spatio-temporelle de l'indice pluviométrique du bassin versant de la Marahoué de la période 1970-2008 (Fig. 7). L'on constate que la décennie 1970-1979 est plus humide. À partir de la décennie 1980-1989, la sécheresse a fait son apparition sur le bassin versant, mais avec des intensités variables suivant les périodes. En effet, la pluviométrie est restée déficitaire sur la décennie suivante 1990-1999 avec toutefois une accentuation plus marquée sur la décennie 90. Enfin, l'on observe une période qui s'apparente à une période de reprise des précipitations sur la période 2000-2008. Du point de vue spatial, la sécheresse est bien marquée sur tout le bassin.

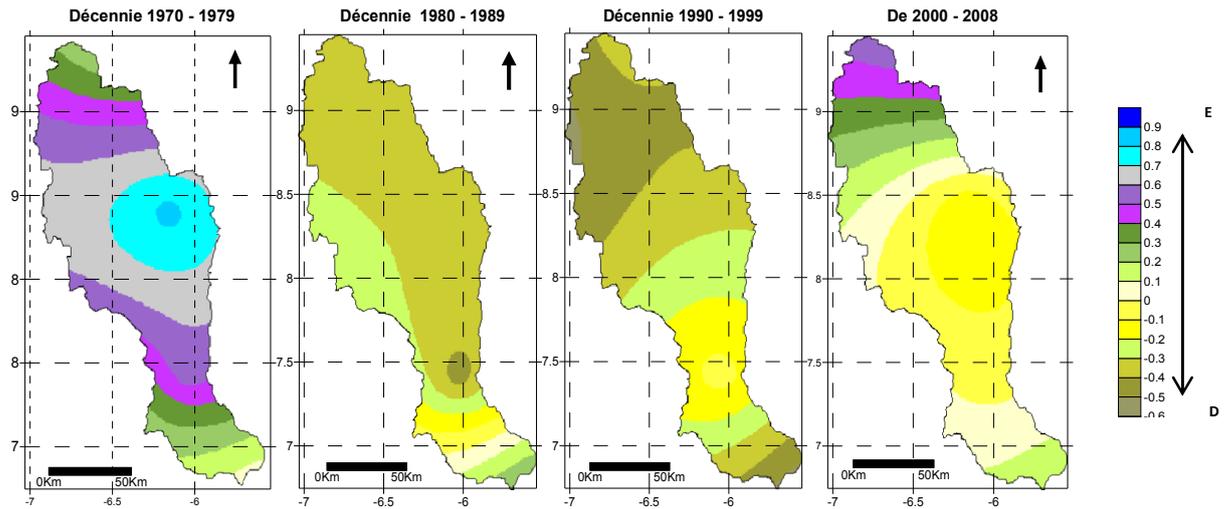


Fig. 7. Évolution spatio-temporelle par décennie des indices pluviométriques du bassin versant de la Marahoué

6.1.3.2 VARIABILITÉ SPATIALES DES DÉFICITS PLUVIOMÉTRIQUES

L'analyse spatiale de la distribution quantitative (excès ou déficit) de la pluviométrie est présentée dans la fig. 8. Ainsi, la décennie 1970-1979 a été particulièrement déficitaire en pluie. En effet, ce déficit varie de 10% à 20% sur la quasi-totalité du bassin à l'exception de la partie Nord-est où le déficit se situe entre 0 et 10%. Au cours de la décennie 1980-1989, les précipitations ont continué à baisser. Le déficit sur la majeure partie du nord bassin versant atteint les 40% puis décroît progressivement vers le sud du bassin entre 20% à 30% dans le centre et 10% à 20% au sud

Par ailleurs, la décennie 1990-1999 est globalement déficitaire en précipitation. Le déficit remarqué sur la décennie présente s'est rependu sur la totalité du nord du bassin variant entre 30% à 40%. Elle s'est aussi accentuée dans le sud où le manque de pluie varie entre 20% à 30%. La décennie 2000-2008 a été moins déficitaire que les deux décennies précédentes. La pluviométrie est positive et varie entre 10% et 0% sur une peu petite partie dans l'extrême nord du bassin. Elle est ensuite négative sur le reste du bassin dans les proportions différentes entre 0% à 20% au nord, dans le centre 20% à 40% et 20% à 30% au sud.

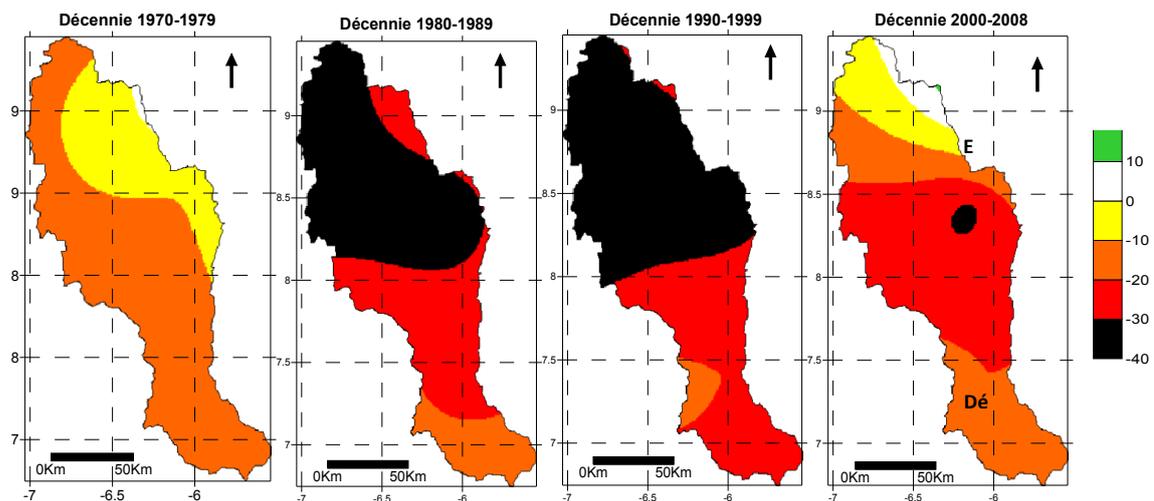


Fig. 8. Évolution décennale des déficits et excès pluviométriques sur le bassin versant de la Marahoué

7 DISCUSSION

La classification de l'occupation du sol résultant de l'analyse des images TM et ETM+ a donné une précision globale respective de 96,15% et 98,49%. L'indice de Kappa a donné des valeurs de 0,958 pour l'année 1986 et 0,981 pour 2006. On

peut conclure que les résultats de cette analyse sont statistiquement acceptables. En effet, les résultats d'une analyse d'image dont la valeur de Kappa est supérieure à 0,50 sont considérés comme bons et exploitables [24]. De ce fait, la présente classification qui compte six classes est acceptable et permet d'évaluer la tendance de changements de l'occupation du sol dans une période 20 ans. L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol entre 1986 et 2006 montre que les sols nus /habitats et les cultures augmentent de façon significative, par opposition aux plans d'eau, zones humides, forêts denses et forêts galeries qui régressent nettement. Cette régression pourrait être liée à l'intensification de cultures pérennes telles que le cacaoyer et le caféier dans le bassin versant. Cette hypothèse paraît plausible dans la mesure, où on constate une augmentation de la classe culture avec un taux moyen annuel d'évolution de 0,84% au profit de la forêt. Le même constat a été fait par La référence [25] dans la région des lacs située à est du bassin versant de la Marahoué. Selon La référence [26], la superficie forestière actuelle est inférieure à celle qu'elle devrait être, alors que la superficie agricole actuelle est supérieure à son niveau optimal. La référence [4] indique qu'il existe un lien étroit entre modification dans la dynamique du couvert végétal et la variabilité climatique en Côte d'Ivoire.

Dans la présente étude, l'analyse fait apparaître une baisse de la pluviométrie entre 1980 et 2000 avec une accentuation dans les années 90. Cette période est la même que celle sur laquelle on a remarqué l'assèchement du bassin versant de la Marahoué (1986-2006). Cet assèchement sur le bassin versant est marqué par la régression de la classe eau qui est passée de 2783,3 Km² (13%) en 1986 à 1415,2 Km² (6,61%) en 2006. En effet, les déficits pluviométriques de 15 à 37% qu'a connus le bassin versant ont eu lieu majoritairement après 1970 et se sont soldés par d'importantes baisses pluviométriques. Ce qui a eu pour conséquence une réduction des apports d'eau sur le bassin versant entraînant ainsi un assèchement progressif des retenues d'eau. Certains auteurs ([6], [27], [28]) ont montré que la forte diminution de la pluviométrie est provoquée par la destruction massive de la couverture végétale. De ce qui précède, on peut conclure que cette dégradation du couvert végétal serait due aux phénomènes naturels (variabilité climatique) et /ou aux activités anthropiques (feux de brousse, culture sur brûlis, exploitation abusive du bois, création de nouvelles plantations, etc.) comme le souligne [29].

8 CONCLUSION

La présente étude a montré une dégradation du couvert végétal du bassin versant de la Marahoué sur la période 1986-2006. Les résultats montrent que les sols nus /habitats et les cultures augmentent de façon significative, par opposition aux plans d'eau, zones humides, forêts denses et forêts galeries qui régressent nettement. L'augmentation des sols nus/habitats et cultures montrent le rôle prépondérant des activités anthropiques dans cette dégradation. En outre, la baisse pluviométrique qu'a connu le bassin versant à partir de 1970 et qui s'est soldé par des déficits importants de l'ordre de 15 à 37 % a également concouru à cette dégradation par l'assèchement des plans d'eau et la réduction des zones humides. Par ailleurs, la reprise pluviométrique après 2000 que connaît le bassin versant pourrait être préjudiciable aux populations agricoles installées dans le lit des cours d'eau ou dans les bas-fonds asséchés.

REFERENCES

- [1] S. BIGOT, Y. T. BROU, V. BONNARDOT, E. SERVAT, "Interannual stability of rainfall patterns in the Ivory Coast over the period 1950-1996", *International Association of Hydrological Sciences*, 274, pp,507-514, 2003.
- [2] E. W VISSIN, "Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger", *Thèse de Doctorat*, Université de Bourgogne (France), 285p, 2007.
- [3] J-M. GREGOIRE, F. GIOVANI, "Suivi par télédétection des changements d'état de surface sur les bassins du Haut-Sénégal, de la Gambie et du Rio Corubal (novembre 1987- décembre 1988) ", *Télédétection et sécheresse*, ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 81-93, 1990.
- [4] T. BROU, "Variabilité climatique, déforestation et dynamique agro démographique en Côte d'Ivoire", *Sécheresse* vol. 21, n° 1e, 2010, 1-6 p, 2010.
- [5] C., CHATELAIN, "Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière", *Thèse de l'Université de Genève*, 245p, 1996.
- [6] Y. T BROU, E. SERVAT, J. E. PATUREL, "Activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien", IAHS Publication, n° 252, pp,365-373, 1998.
- [7] S. BIGOT, T. Y. BROU, J. OSZWALD, A. DIEDHIOU, C. HOUDENOU, "Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales", *Sécheresse*, 16 (1), pp, 14 -21, 2005.
- [8] B. T. A. GOULA, V. J. KOUASSI, I. SAVANE, "Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du Bandama en Côte d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, 18 (1), pp, 1-11 ,2006.

- [9] A. O. AKA, B. KOUAME, J. E. PATUREL, E. SERVAT, H. LUBES, J. M. MASSON, "Analyse statistique de l'évolution des écoulements en Côte d'Ivoire, Mélanges à la mémoire de Jean Rodier", *International Association of Hydrological Sciences*, 238, pp, 167-177, 1996.
- [10] I. SAVANE, K. M. COULIBALY, P. GIOAN, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man", *Sécheresse*, 12 (4), pp, 231-237, 2001.
- [11] J. E. PATUREL, E. SERVAT, M. O. DELATTRE, "Analyse des séries de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique", *Journal des sciences hydrologiques*, 43 (6), pp, 937-946, 1998.
- [12] Y. L'HÔTE, G. MAHE, B. SOME, J-P. TRIBOULET, "Analysis of a Sahelian annual rainfall index updated from 1896 to 2000; the drought still goes on", *Hydrol Sci J*; 47: 563-72, 2002.
- [13] G. MAHÉ, J. C. OLIVRY, "Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989", *Sécheresse*, 6 (1), pp. 109-117, 1995.
- [14] A. KANGAH, "Utilisation de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG) pour l'étude des pressions anthropiques sur les paysages géomorphologiques des savanes sub-soudanaises : exemple du degré carré de Katiola (centre-Nord ivoirien)", *Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire*, 186 p, 2006.
- [15] F. BONN, G. ROCHON, "Précis de Télédétection-Vol. 1: Principes et méthodes", *Presses de l'Université du Québec / AUPELF*, 485 p, 1992.
- [16] Z. A. KOUADIO, "Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique : cas des bassins versants côtiers de l'Agneby et du Boubo (cote d'ivoire)", *Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua, Côte d'ivoire*, 200 p, 2010.
- [17] S. E. NICHOLSON, "An overview of African's rainfall fluctuation of the last decade", *International Journal of Climatology*, 6, pp, 1463-1466, 1993.
- [18] A. A. ASSANI, "Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à lumbashi (congo-kinshassa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (el niño/ la niña)", *Sécheresse*, vol. 10, n° 4, pp. 245-252, 1999.
- [19] A. N. PETTITT, "A non-parametric approach to the change-point problem", *Appl. Statist.*, 28(2), pp, 126-135., 1979.
- [20] K. E. Kouakou, B. T. A. Goula, I. Savané, "Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: Cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso)", *European Journal of Scientific Research*, 16 (1), pp. 31-43, 2007.
- [21] E. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAME, M. TRAVAGLIO, M. OUEDRAOGO, J. F. BOYER, H. LUBES-NIEL, J. M. FRITSCH, J. M. MASSON, B. MARIEU, "Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale", *IAHS Publication*, n°252, pp, 323-337, 1998.
- [22] H. LUBÈS-N, J. M. MASSON, J. E. PATUREL E. SERVAT, "Variabilité climatique et statistique. 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, pp. 383-408, 1998.
- [23] J. P. LABORDE, "Éléments d'hydrologie de surface", *Support de cours*, Université de Nice Sophia-Antipolis, 191 p, 2000.
- [24] Jr. R. G. PONTIUS, "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps", *Photogrammetric Engineering and remote Sensing*, vol. 66, n° 8, pp. 1011-1016, 2000.
- [25] G. SORO, E. K. AHOUSI, E. K. KOUADIO, T. D. SORO, S. OULARE, M. B. SALEY, N. SORO, J. BIEMI, "Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire)", *Afrique SCIENCE 10(3)*) 146 – 160, 2014, 2014.
- [26] C. NOUFOU, "Déforestation et activités agricoles en Côte d'Ivoire : recherche d'un nouvel équilibre", *Thèse de Doctorat*, Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 159 p, 1998.
- [27] M. OUEDRAOGO, "Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest, Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale" *Thèse de doctorat, Université de Montpellier II*, 257 p, 2001.
- [28] Y, T BROU, "Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches", Université des Sciences et Techniques de Lille, France, 212 p, 2005.
- [29] M. KOUASSI, "Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire", *Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire*, 210 p, 2007.