

ANALYSE PAR TÉLÉDÉTECTION DES CONDITIONS BIOCLIMATIQUES DE VÉGÉTATION DANS LA ZONE DE CONTACT FORÊT-SAVANE DE CÔTE D'IVOIRE : CAS DU « V » BAOULÉ

TRA BI Z. A. ⁽¹⁾, BROU Y. T. ⁽²⁾, MAHE G. ⁽³⁾

(1) Université Alassane Ouattara, BP V 18 Bouaké, [Zambtra@yahoo.fr]

(2) IRD/Université de la Réunion, BP7151, 97460 Saint-Denis cedex 9, La Réunion, France, [telesphore.brou@univ-reunion.fr]

(3) IRD/HydroSciences Montpellier, Université Montpellier 2 - HydroSciences Montpellier - Case MSE Place Eugène Bataillon - 34095 MONTPELLIER CEDEX 5, [gil.mahe@ird.fr]

Résumé – Dans le secteur mésophile (centre du pays) et soudanais ivoirien (régions des savanes au nord), les baisses de quantité de pluie sont importantes depuis la décennie 1970. Elles sont estimées à plus de 20%. Or l'activité végétale dans ce secteur est très influencée par les conditions d'humidité liées à la pluviométrie et à la nature du sol. Cette étude vise, dans un premier temps, à valider des données de précipitations estimées par satellite (Tropical Rainfall Measuring Missions) sur la zone du « V » Baoulé (centre du pays) qui a souffert d'une absence de données climatique de 2001 à 2012 (crise politico-militaire). Dans un deuxième temps, il s'agit d'utiliser ces données de précipitation en combinaison avec les données d'indices de végétation (EVI) et de température de surface pour analyser les conditions d'humidité de la végétation de 2002 à 2013. Il en résulte une baisse des conditions d'humidité dans les zones de savanes et en zone préforestière.

Mots clés : « V » Baoulé, télédétection, statistique, précipitation TRMM, végétation.

Abstract – Remote sensing analysis of the bioclimatic conditions of vegetation in the forest-savannah contact area of Ivory Coast: the case of the "V" Baoulé. In the mesophilic (center of the country) and Sudanese (northern savannah regions) areas of Ivory Coast, the decrease of rainfall is important since the 1970s. It is estimated at over 20%. But the plant activity in this sector is strongly influenced by moisture conditions related to rainfall and soil type. The present study aims, firstly, to validate satellite rainfall estimate data (Tropical Rainfall Measuring Missions) on the area of "V" Baoulé (center of the country) that has suffered a lack of climate data from 2001 to 2012 (politico-military crisis). Secondly, these precipitation data are used in combination with the vegetation index data EVI and surface temperature to analyze moisture conditions of vegetation from 2002 to 2013. This results in a lower moisture conditions in areas of savannah and preforest area.

Keywords: "V" Baoulé, remote sensing, statistics, TRMM precipitation, vegetation.

Introduction

La Côte d'Ivoire connaît depuis la décennie 1970 des baisses importantes de ses quantités pluviométriques. Cette baisse de précipitation a des conséquences sur le système agricole. L'agriculture ivoirienne est, en effet caractérisée par la culture itinérante sur brûlis avec la recherche permanente de terre forestière pour les plantations. Il en est résulté une réduction de la couverture forestière de 16 millions d'hectares en 1960 à 2 millions d'hectares aujourd'hui. Cette situation est à l'origine d'une baisse des conditions d'humidité de végétation (Bigot *et al.*, 2005 ; Brou *et al.*, 1998). Les espaces de transition entre la zone de savane et la zone forestière comme le « V » Baoulé connaissent des mutations agricoles liées à la fois aux pressions agricoles et pastorales et aux conditions climatiques de plus en plus défavorables. L'étude présente vise à analyser l'évolution spatio-temporelle des conditions de végétation du « V » Baoulé à partir de données estimées de précipitation ainsi que de données satellitaires d'indice de végétation et de température de surface de MODIS. La méthode d'analyse combine statistique descriptive et analyse par télédétection.

1. Espace d'étude et approche méthodologique

1.1. Le « V » Baoulé

Notre espace d'étude se localise au centre de la Côte d'Ivoire. C'est un espace de contact entre la zone forestière au sud et la zone de savane au nord. Dans cette partie centrale de la Côte d'Ivoire, la végétation de la zone bioclimatique préforestière forme un « v » (figure 1). Le « V » Baoulé est caractérisé, au niveau climatique, par une transition entre le climat tropical humide au sud et le climat tropical sec au nord (Gautier, 1990 ; Brou *et al.*, 1998). C'est un espace de forte densité de population rurale (Lassailly-Jacob, 1984).

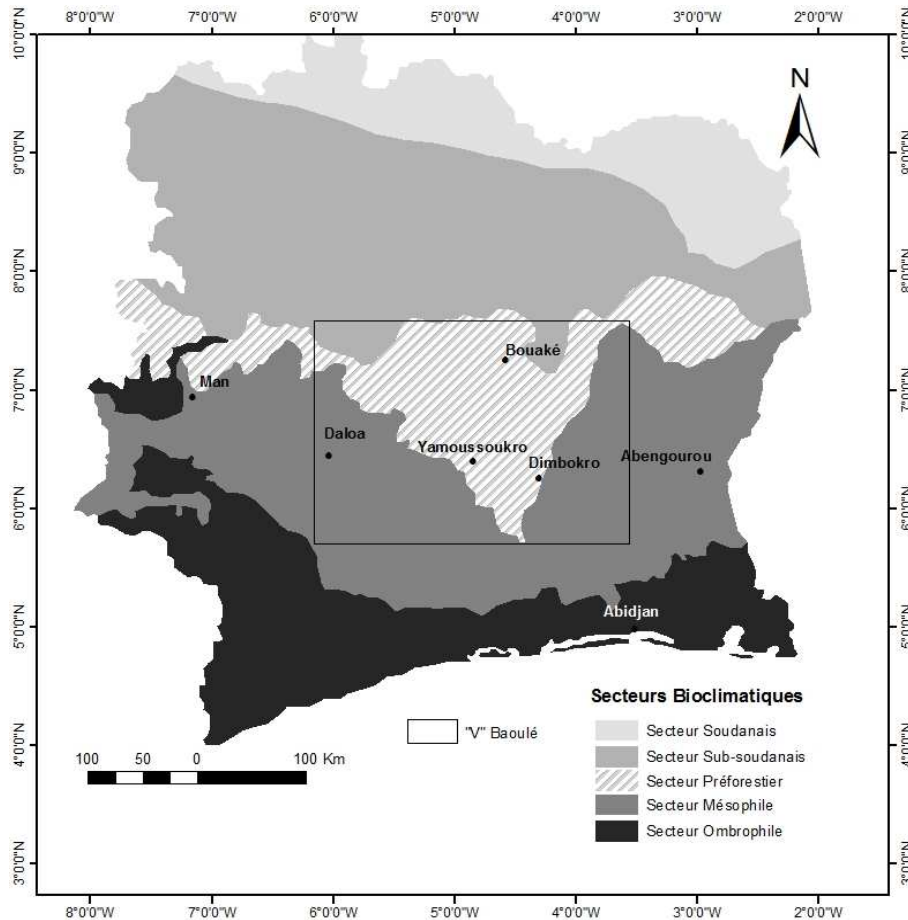


Figure 1. Situation géographique du « V » Baoulé (Centre de la Côte d'Ivoire).

1.2. Données utilisées et méthode d'analyse statistique et de télédétection de la dynamique des conditions climatiques de végétation

Les données utilisées pour cette étude sont constituées :

- d'images satellitaires de précipitations totales mensuelles estimées par le modèle TRMM de 2002 à 2013. La résolution spatiale de ces images est de $0,25^\circ$ (environ 28 sur 28 km) au niveau de la zone du « V » Baoulé ;
- des données pluviométriques des principales stations météorologiques de la zone d'étude sur la période 2002-2010. Seul deux stations (Daloa à l'ouest et Dimbokro au sud dispose de données complètes sur la période de 2002 à 2010) ;
- d'images d'indice de végétation EVI (Enhance Vegetation Index) de la période de 2002 à 2013. La résolution temporelle de ces images est de 16 jours (une image de 16 jours est réalisée par la composition de valeurs maximales de la période) et la résolution spatiale de 250 mètres ;
- d'images de température de surface de 2002 à 2013 de résolution temporelle de 8 jours et de résolution spatiale de 1 km.

Après certains prétraitements des images (correction géométrique, harmonisation des résolutions spatiales et temporelles), les fichiers images de TRMM et d'indice de végétation EVI ont été convertis en tableau Excel. Ces fichiers Excel ont permis d'analyser les corrélations statistiques entre les données images et les données stations. Les analyses sont réalisées sur les mois de janvier (milieu de saison sèche) et d'avril (début de la saison humide). En outre, une cartographie des conditions d'humidité de la végétation est réalisée en mettant en relation les températures de surface et l'indice EVI dans un espace bidimensionnel.

Cette analyse se base sur le principe que plus la végétation à une densité importante, plus la température de surface est faible (Sandholt, 2002 ; Tra Bi, 2013).

Tableau 1. Statistiques comparatives entre les précipitations estimées par TRMM et les précipitations de deux stations météorologiques de références.

Daloa	Coefficient de corrélation	Moyenne		Biais moyen	Ecart-type		Somme		Biais
		Station	TRMM		Station	TRMM	Station	TRMM	
Janvier	0,9	13	14	2	17	15	121	125	4
Février	0,8	48	59	11	36	41	432	529	97
Mars	0,89	102	107	5	60	30	917	967	50
Avril	0,84	139	160	41	56	47	1252	1441	189
Mai	0,51	128	127	-1	52	47	1155	1146	-9
Juin	0,73	199	170	-29	76	56	1786	1530	-256
Juillet	0,91	126	129	3	77	98	1132	1158	26
Août	0,82	142	149	7	102	67	1282	1341	59
Septembre	0,59	171	185	14	73	60	1536	1663	127
Octobre	0,91	129	141	12	35	56	1034	1127	93
Novembre	0,77	54	56	2	33	46	482	505	23
Décembre	0,53	25	12	-13	18	10	226	112	-114
Annuel	0,81	1276	1309	33	53	48	11355	11644	289

Dimbokro	Coefficient de corrélation	Moyenne		Biais moyen	Ecart-type		Somme		Biais
		Station	TRMM		Station	TRMM	Station	TRMM	
Janvier	0,95	12	13	1	13	12	120	130	10
Février	0,88	46	52	6	24	26	415	465	50
Mars	0,87	109	135	26	35	48	978	1092	114
Avril	0,57	134	155	21	37	35	1208	1394	186
Mai	0,74	172	175	3	41	42	1550	1574	24
Juin	0,74	169	205	36	49	56	1521	1844	323
Juillet	0,7	108	124	16	32	38	973	1119	146
Août	0,81	74	75	1	37	36	664	679	15
Septembre	0,88	94	103	9	44	46	845	931	86
Octobre	0,78	151	167	16	39	33	1361	1503	142
Novembre	0,84	72	57	-15	41	32	651	514	-137
Décembre	-0,16	16	15	-1	12	9	141	132	-9
Annuel	0,69	1157	1276	119	34	34	10427	11377	950

2. Résultats et discussion

2.1. Dynamique temporelle de la pluviométrie

L'analyse de l'évolution comparée (corrélation), entre les données de pluviométrie totale mensuelle estimée par satellite (les pixels contenant la station) et les données de référence des stations météorologiques de la période de 2000 à 2010, est faite pour les localités de Daloa (zone forestière) et de Dimbokro (zone de contact forêt-savane). Il s'agit de localités disposant

de données pluviométriques au sol couvrant cette période. Cette analyse permet de constater une forte corrélation entre les estimations satellitaires de la pluviométrie et celle enregistrée dans les stations météorologiques, quelque-soit la saison de l'année (tableau 1). Le coefficient de corrélation moyen est de 0,81 à Daloa et de 0,69 à Dimbokro. La comparaison des moyennes pluviométriques mensuelles des deux sources de données sur la période fait ressortir de faibles différences. En générale, les données satellitaires surestiment la réalité, avec une légère nuance en zone forestière pendant la saison pluvieuse et en zone de contact forêt-savane pendant le début de la saison sèche. Le biais n'est que de 33 mm en moyenne à Daloa (pluviométrie moyenne annuelle de 1276 mm pour la station au sol et 1309 mm pour les données satellitaires) et de 119 mm à Dimbokro (pluviométrie moyenne annuelle de 1157 mm pour la station au sol 1276 mm pour les estimations satellitaires). Aussi, les écarts de quantités pluviométriques par rapport à la moyenne restent-ils très proches (la moyenne annuelle des écarts est, par exemple, de 34 mm pour les deux types de données à Dimbokro). Cependant, la somme des quantités pluviométriques de chaque mois sur la période permet de constater une accumulation d'erreurs d'estimations qui peuvent être parfois importantes.

L'activité végétale (agricole et forestière) est influencée principalement par la pluviométrie en zone de transition forêt-savane (végétation mésophile, (figure 2)). Aussi, l'analyse de l'interaction entre pluviométrie et végétation permet, d'une part d'évaluer la pluviosité d'un espace, et d'autre part d'apprécier l'impact de l'action anthropique sur le couvert végétale (Brou *et al.*, 1998 ; Bigot *et al.*, 2005 ; Tra Bi, 2013). Ainsi, les données pluviométriques estimées par satellite ont servi à l'analyse de la dynamique de la végétation sur la période de 2002 à 2013 dans le « V » Baoulé.

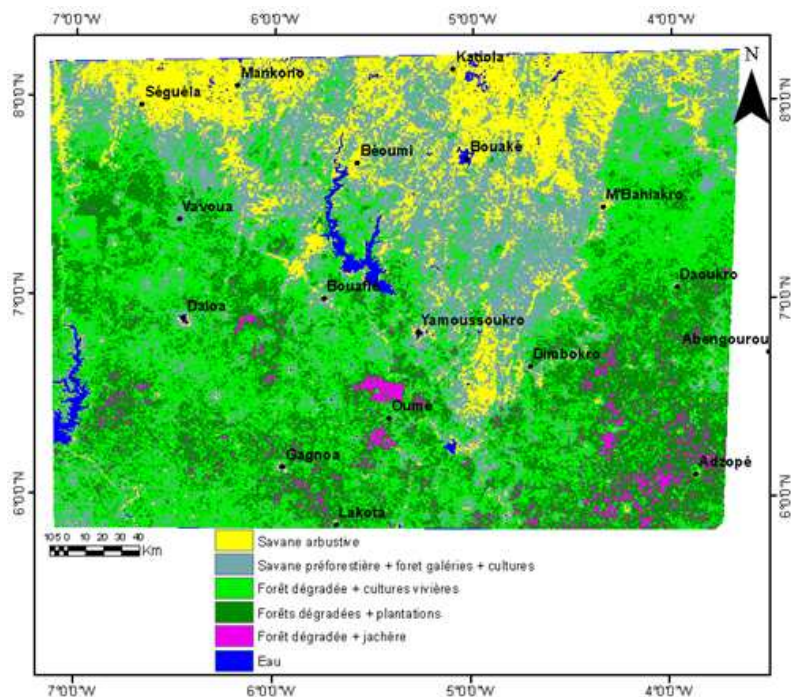


Figure 2. Carte d'occupation du sol dans le « V » Baoulé de 2002 à 2013 (EVI de MODIS).

2.2. Dynamique spatio-temporelle des conditions bioclimatiques de végétation

L'analyse de corrélation entre les précipitations de TRMM et l'indice EVI pour les mois de janvier et avril indique des résultats souvent opposés (tableau 2). En effet, il existe une corrélation moyenne positive entre l'évolution de la végétation et la pluviométrie au mois de janvier (saison sèche). Par contre en avril, cette corrélation est négative dans certaines localités. L'analyse graphique (figure 3) permet de constater, pour ce mois, trois schémas d'évolution comparée de la pluviométrie et de l'activité végétale :

– une baisse des précipitations et une hausse des

Tableau 2. Corrélation entre les précipitations TRMM et les indices de végétation EVI dans le « V » Baoulé.

	Avril	Janvier
Bouaflé	-0,26	0,52
Bouaké	0,21	0,7
Daloa	0,45	0,34
Dimbokro	-0,5	0,61
M'Bahiakro	-0,26	0,59
Séguéla	0,33	0,46

- quantités végétales (Dimbokro) ;
- une hausse des précipitations et une baisse des quantités végétales (Bouaflé) ;
- une baisse des précipitations et une baisse des quantités végétales (Daloa).

L'analyse bibliographique et les enquêtes de terrain permettent d'expliquer la nature des corrélations entre pluviométrie et végétation aux mois de janvier et avril. En janvier (milieu de la saison sèche), la saison agricole pour les cultures saisonnières pluviales est achevée. C'est une période de transition entre deux saisons culturales successives où la végétation s'est asséchée. Ainsi, les moindres variations de précipitations influencent fortement l'activité végétale à cette période. Par contre en avril, la saison culturale a démarré. L'impact de l'action anthropique sur la couverture végétale est beaucoup plus important à tel point que les corrélations entre végétation et pluviométrie peuvent être négatives. En Côte d'Ivoire, les zones forestières sont l'objet de pressions agricoles très importantes liées à l'économie de plantation. Ceci peut expliquer la baisse des quantités végétales à Daloa et Bouaflé, quelque-soit l'évolution de la pluviométrie (N'Da *et al.*, 2008). Dans les localités à la limite forêt-savane (Dimbokro) et dans certains espaces de savane (Bouaké), il est noté un gain relatif de quantité végétale qui peut être lié à une augmentation importante des superficies d'anacardier (culture pérenne) (Dugué *et al.*, 2003 ; Dugué *et al.*, 2004). Ces modifications de l'occupation du sol en cours dans le « V » Baoulé sont-elles perceptibles en terme d'humidité liée à la nature de la végétation ?

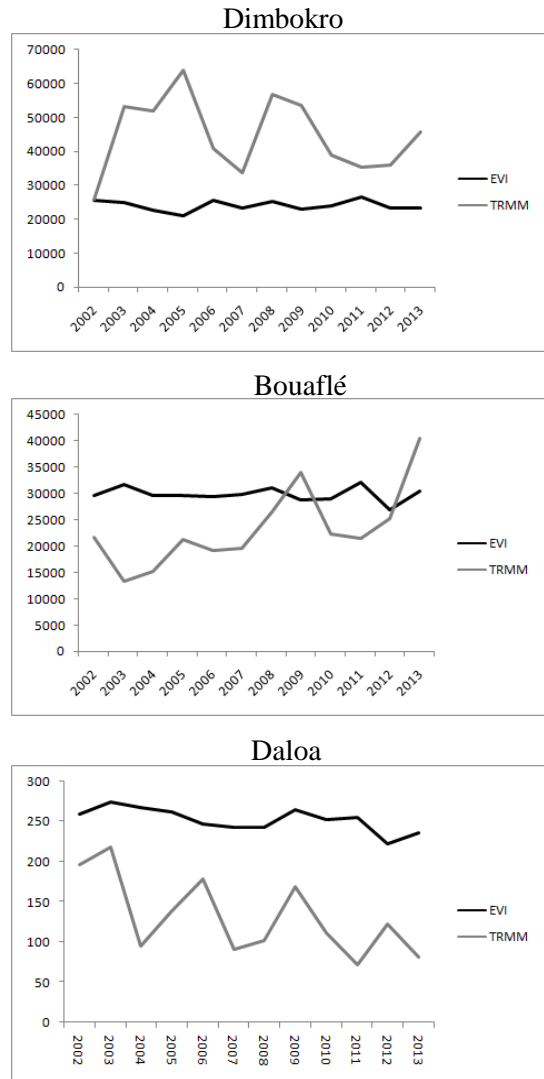


Figure 3. Evolution comparée de la végétation (indice EVI) et des précipitations estimées (TRMM)

La cartographie de la végétation (figure 2) et de l'évolution de ses conditions bioclimatiques de 2002 à 2013 (figure 4) fait ressortir une baisse des conditions d'humidité dans la zone savanicole du « V » Baoulé. Ce sont des espaces dominés par les cultures vivrières. La majeure partie du « v » Baoulé connaît des conditions bioclimatiques inchangées. Seuls quelques petits espaces au niveau de la pointe du « v » connaissent un gain d'humidité. En somme, il se dégage comme constat que l'échelle de temps d'analyse est trop petite (12 ans) pour que les variations spatiales observées au niveau de la végétation et de la pluviométrie s'expriment en changement bioclimatique notables.

Conclusion

Les précipitations estimées de TRMM permettent assez bien de traduire les conditions pluviométriques dans la zone du « V » Baoulé. Elles présentent une assez bonne corrélation avec les données des stations météorologiques au sol. En outre, l'analyse de l'évolution des conditions d'humidité à partir de la combinaison d'images MODIS et d'indice EVI permet de

constater une baisse des conditions d'humidité dans les espaces savaniques. Toutefois, l'analyse de la dynamique de la pluviométrie pendant cette période de 2002 à 2013 et nos enquêtes de terrain permettent de constater que cette baisse des conditions d'humidité est liée d'une part à une déforestation importante comme dans la localité de Bouaflé (N'Da *et al.*, 2008), ou à des mutations dans le système cultural. Le secteur savanicole et le secteur préforestier connaissent l'introduction de nouvelles cultures pérennes comme l'anacarde et l'hévéa (Dugué *et al.*, 2003 ; Dugué *et al.*, 2004). Ces cultures bien qu'apportant un gain de quantité de végétation à terme, sont dans beaucoup d'espaces, encore de jeunes plantations. Une analyse détaillée de la dynamique de l'occupation du sol permettra d'apporter plus de réponses quant aux mutations spatiales et leurs impacts au niveau bioclimatique.

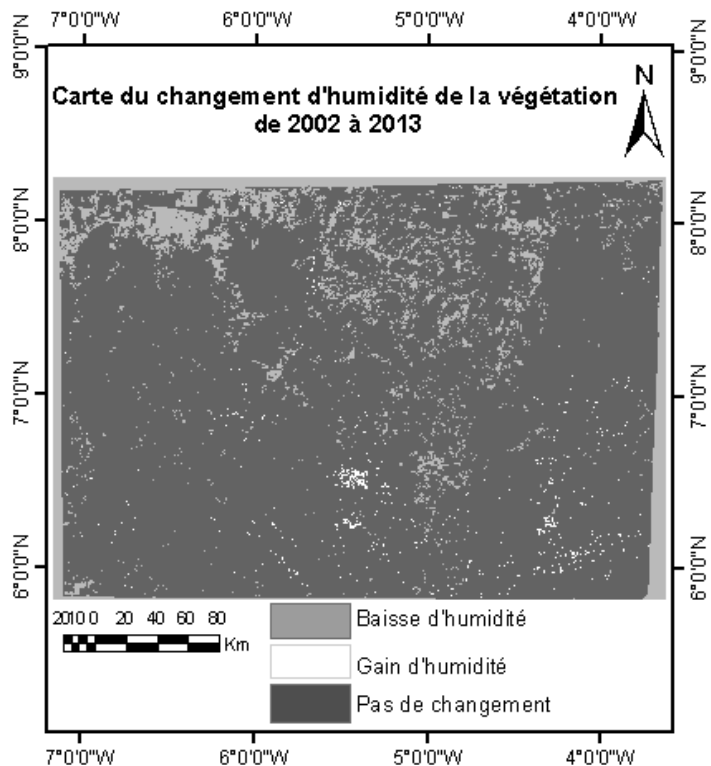


Figure 4. Dynamique des conditions d'humidité à partir de l'indice de végétation EVI et des températures de surface de MODIS.

Références bibliographiques

- Bigot S., Brou T. Y., Oszwald J., Diedhiou A., 2005 : Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, **16**(1), 5-13.
- Brou Y. T., Servat E., Paturel J. E., 1998 : Activités humaines et variabilité climatique: cas du sud forestier ivoirien. *IAHS PUBLICATION*, 365-374.
- Dugué P., Koné F. R., Koné G., 2003 : Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricole des savanes de Côte d'Ivoire: conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles. *Cahiers Agricultures*, **12**(4), 267-273.
- Dugué P., Koné F. R., Koné G., Akindes F., 2004 : Production agricole et élevage dans le centre du bassin cotonnier de Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*, **13**(6), 504-509.
- Gautier L., 1990 : Contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire centrale: évolution du recouvrement ligneux des savanes de la Réserve de Lamto (sud du V-Baoulé). *Candollea*, **45**(2), 627-641.
- Lassailly-Jacob V., 1984 : La charge de population en question: colonisation planifiée des rives du lac de Kossou en Côte-d'Ivoire. *Orstom, Le développement rural en question paysages, espaces ruraux, systèmes agraires*, Paris, Orstom, 403-416.
- N'Da H. D., N'Guessan E. K., Wajda M. E., Affian K., 2008 : Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Bulletin-Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, **8**(1), 17-34.
- Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J., 2002 : A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, **79**(2), 213-224.
- Tra Bi Z.A., 2013 : *Étude 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 de l'Université d'Artois.