



Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique



**CSRS**  
Centre Suisse de Recherches  
Scientifiques en Côte d'Ivoire



# REB PASRES

## Revue de l'Environnement et de la Biodiversité - PASRES

### PROGRAMME D'APPUI STRATÉGIQUE À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

#### COMITÉ DE PILOTAGE / STEERING BOARD

- Président :** Pr KONARÉ AbouDRAMANE, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB)
- Vice-président :** Pr UTZINGER Jürg, Institut Tropical Suisse (SWISS TPH)
- Vice-président délégué :** Pr BONFOH Bassirou, Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS)
- Membres :** M. TRAORÉ Seydou, Ministère de l'Économie et des Finances (MEF)  
Me HOEGAH Théodore, Représentant du Secteur Privé
- Observateurs :** Pr BIAKA Zasseli Ignace, Président du Conseil Scientifique  
Dr SANGARÉ Yaya, Secrétaire Exécutif, Secrétaire de séance

#### COMITÉ DE REDACTION / EDITORIAL BOARD

**Rédacteur en Chef / Editor in chief :** Pr KAMANZI Kagoyire, UFHB

#### Membres / Members:

- Pr OUATTARA Allassane, Université Nangui Abrogoua (UNA)  
Dr BAKAYOKO Adama, UNA  
Dr KADJO Blaise, UFHB  
Dr KASSI N'Dja Justin, UFHB  
Dr KONÉ Inza, UFHB  
Dr KONÉ Mamidou W., UNA  
Dr TIÉBRÉ Marie Solange, UFHB

#### DIRECTEUR DE PUBLICATION / EDITORIAL DIRECTOR

Pr BIAKA Zasseli Ignace, Président du Conseil Scientifique

## **COMITÉ DE LECTURE / PEER REVIEWERS**

Pr ADOU YAO Constant Yves, UFHB / Côte d'Ivoire  
Pr AKOÉGNINOU Akpovi, Université d'Abomey-Calavi / Bénin  
Pr BOGAERT Ian, Gembloux Agro Bio-Tech, Université de Liège / Belgique  
Pr BOUSSIM Issaka Joseph, Université de Ouagadougou / Burkina Faso  
Pr KAKOU N'DOUBA Adèle, Institut Pasteur d'Abidjan / Côte d'Ivoire  
Pr KONÉ Daouda, UFHB / Côte d'Ivoire  
Pr KONÉ Tidiani, Université Jean Lorongnon Guédé / Côte d'Ivoire  
Pr KOUAMÉLAN Essetchi Paul, UFHB / Côte d'Ivoire  
Pr KOUSSEMON Marina Caroll Edwige, UNA / Côte d'Ivoire  
Pr N'DA Konan, UNA / Côte d'Ivoire  
Pr N'GUESSAN Kouakou Édouard, UFHB / Côte d'Ivoire  
Pr TANO Yao, UNA / Côte d'Ivoire  
Pr TRAORÉ Dossahoua, UFHB / Côte d'Ivoire  
Pr YAOKOKORÉ-BEIBRO K. Hilaire, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr ACAPOVI Génévieve L. Épse. YAO, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr AKA Marcel, Centre de Recherches Océanologiques (CRO) / Côte d'Ivoire  
Dr BARIMA Yao Sabas, UJLoG / Côte d'Ivoire  
Dr DA Philippe, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr DEMBÉLÉ Ardjouma, LANADA / Côte d'Ivoire  
Dr GAUZE TOUAO K. Martine, Centre de Recherche en Écologie (CRE) / Côte d'Ivoire  
Dr KIÉNON-KABORÉ TIMPOKO Hélène, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr KONATÉ Souleymane, UNA / Côte d'Ivoire  
Dr KOUAMÉ N'Guessan François, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr KOUTIKA Lydie-Stella, CRDPI / Congo Brazzaville  
Dr MAVOUNGOU Jacques François, Université de Masuku / Gabon  
Dr N'NAN Oulo Épse ALLA, UFHB / Côte d'Ivoire  
Dr ZOUNDJIHÉKPON Jeanne, Université d'Abomey-Calavi / Bénin

## **ADMINISTRATION**

Secrétariat Exécutif du PASRES,  
Centre Suisse de Recherches Scientifiques, KM 17, ADIOPODOUMÉ sur la route de DABOU  
Tél : (225) 23 47 28 29;  
Fax: (225) 23 45 12 11;  
01 BP 1303 ABIDJAN 01  
yayasangci@yahoo.fr

## SOMMAIRE / CONTENTS

### **AMON ADÉ, KOULIBALY A, DRO B et SORO D**

Parasitisme des Loranthaceae dans les agroécosystèmes à base de cacaoyers, de caféiers et d'hévéas dans la région du sud-comoé, en Côte d'Ivoire .....3

### **ANGUIBY BL, BOMISSO EL, N'GORAN KSB, IPOU IJ, AKÉ S**

Effets de deux types de fertilisation azotée sur la croissance initiale de plantules de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (Bombacaceae) traitées avec un fongicide à base de fosetyl-al .....15

### **OUATTARA D, COULIBALY S, KOUDEGNAN CM, KAMANZI K**

Fabrication de savons traditionnels à base de plantes en zone de savane soudanienne de Côte d'Ivoire : état de la connaissance par les populations locales de Dabakala et de Katiola .....25

### **DRO B, SORO D, KONÉ MW, BAKAYOKO A, KAMANZI K**

État des peuplements de trois plantes médicinales anthelminthiques dans la forêt classée de Yapo (sud de la Côte d'Ivoire) .....38

### **KOUA KAN, BAMBA I, BARIMA YSS, KOUAKOU ATM, KOUAKOU AK, SANGNE YC**

Échelle spatiale et dynamique de la forêt classée du Haut-Sassandra (centre-ouest de la Côte d'Ivoire) en période de conflits .....54

### **BOYÉ MAD, KOULIBALY A, SOKO DF, N'DJORÉ KJC, KOUADIO YJ, YODÉ TEG**

Effet de différentes fumures sur la croissance et la productivité du riz (*Oryza sativa* L.var. Cb-one) .....69

### **YAO AC, ANGAMAN DM, KONÉ MW, KAMANZI K**

Évaluation de l'activité antibactérienne et étude phytochimique de 10 plantes médicinales à statut de conservation non évalué de la Côte d'Ivoire .....81

# ÉCHELLE SPATIALE ET DYNAMIQUE DE LA FORÊT CLASSÉE DU HAUT-SASSANDRA (CENTRE-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE) EN PÉRIODE DE CONFLITS

KOUA KAN<sup>1\*</sup>, BAMBA I<sup>1</sup>, BARIMA YSS<sup>1</sup>, KOUAKOU ATM<sup>1</sup>, KOUAKOU AK.<sup>1</sup>, SANGNE YC<sup>1</sup>

## Résumé

L'objectif de la présente étude est de déterminer, d'une part, les changements opérés sur toute l'étendue de la Forêt Classée du Haut-Sassandra pendant la décennie de conflits et, d'autre part, la résolution spatiale optimale pour l'analyse de cette forêt. La dynamique de cette forêt a été mise en évidence par la matrice de transition obtenue après traitements numériques sur deux images satellites de 30 m de résolution spatiale chacune, couvrant ce couvert forestier. La recherche d'une échelle d'observation adéquate a été réalisée à partir d'indices de structure et de composition du paysage sur trois images de la Forêt Classée du Haut-Sassandra, de résolution spatiale différente mais prises à la même date. Les résultats ont révélé que pendant la décennie de conflits, environ 43,32% du couvert forestier ont été convertis en « Culture-jachère » (38,24%) et en « Sol nu-habitat » (5,08%). En outre, la composition et la structure de la classe « Forêt » pour les résolutions de 30 m et 10 m, sont identiques alors qu'à 5 m de résolution spatiale, on observe une régression de la proportion de cette classe et une progression de la proportion de Culture et jachère. L'utilisation d'une image de 5 m de résolution paraît donc indiquée pour l'étude de cette forêt aujourd'hui sujette à une anthropisation généralisée.

**Mots clés :** Dynamique paysagère, Images satellites, Indice de structure spatiale, Pression anthropique, Résolution spatiale.

## SPATIAL SCALE AND DYNAMIC OF HAUT-SASSANDRA CLASSIFIED FOREST (WEST CENTRAL OF CÔTE D'IVOIRE) DURING CONFLICTS PERIOD

### Abstract

The aim of this study is to determine firstly, the changes in the Haut-Sassandra classified forest during the decade of conflict and, secondly, the optimal spatial resolution for analysis of this forest. The dynamic of this forest were shown by the transition matrix processing on two satellite images, covering the forest with a resolution of 30 m. The adequate observation scale was done through landscape composition and configuration indices on three images of the Haut-Sassandra Classified Forest with different spatial resolution taken the same day. The results showed that during the decade of conflict, approximately 43.32% of forest cover were converted to "Crop-fallow" class (38.24%) and "bare soil-habitat" (5.08%). Additionally the composition and the structure of "Forest" class at the resolutions of 30 m and 10 m, are similar while at 5 m spatial resolution, a regression was observed in the proportion of this class and progression proportion of Crop and fallow. The use of an image of 5 m spatial resolution therefore seems appropriate for the study of this forest subject widespread anthropization.

**Keywords :** Landscape dynamics, Satellite imagery, Index of spatial structure, Anthropogenic pressure, Spatial resolution.

---

1. Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

\*Auteur de correspondance : nokadio@gmail.com, tel. 0022547323978

## INTRODUCTION

En Afrique, la perte annuelle nette de la superficie forestière est estimée à 5,3 millions d'hectares (FAO, 2001). Cette diminution du couvert forestier africain est plus importante dans les pays forestiers d'Afrique occidentale (Inoussa *et al.*, 2013) dont la Côte d'Ivoire qui, de 16 millions d'hectares de couverture forestière à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (Aké-Assi et Boni, 1990) se retrouve à 2,7 millions d'hectares de forêt à la fin du 20<sup>e</sup> siècle (Païvinen *et al.*, 1992). Cette disparition du couvert forestier ivoirien est due en grande partie à l'agriculture industrielle qui nécessite le défrichage de grandes surfaces forestières et à l'exploitation forestière de type minier. Elle se serait accentuée à la faveur de la décennie de conflits armés qu'a connus la Côte d'Ivoire (N'Goran, 2010 ; Kouakou *et al.*, 2015). En effet, les conflits armés entraînent l'abandon de la gestion des forêts qui, en plus d'être des zones d'exploitations agricoles et de grumes se transforment parfois en champ de bataille et camps de réfugiés (Shuku, 2003). Localisée au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, la Forêt Classée du Haut-Sassandra (FCHS) échappant à l'autorité gouvernementale pendant une décennie de conflits (2002-2012), aurait été massivement infiltrée par des clandestins. Kouakou *et al.* (2015) ont montré que, dans la partie nord de cette forêt protégée, le taux annuel de déforestation pendant la période de conflit s'élevait à 5 % et que 13 % des espèces végétales recensées dans cette partie de la forêt avant le début du conflit auraient disparu à la fin dudit conflit.

## MÉTHODOLOGIE

### Description de la zone d'étude

Située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, la FCHS est localisée entre 6°52' et 7°24' de latitude nord et 6°54' et 7°05' de longitude ouest (Figure 1). Cette forêt protégée

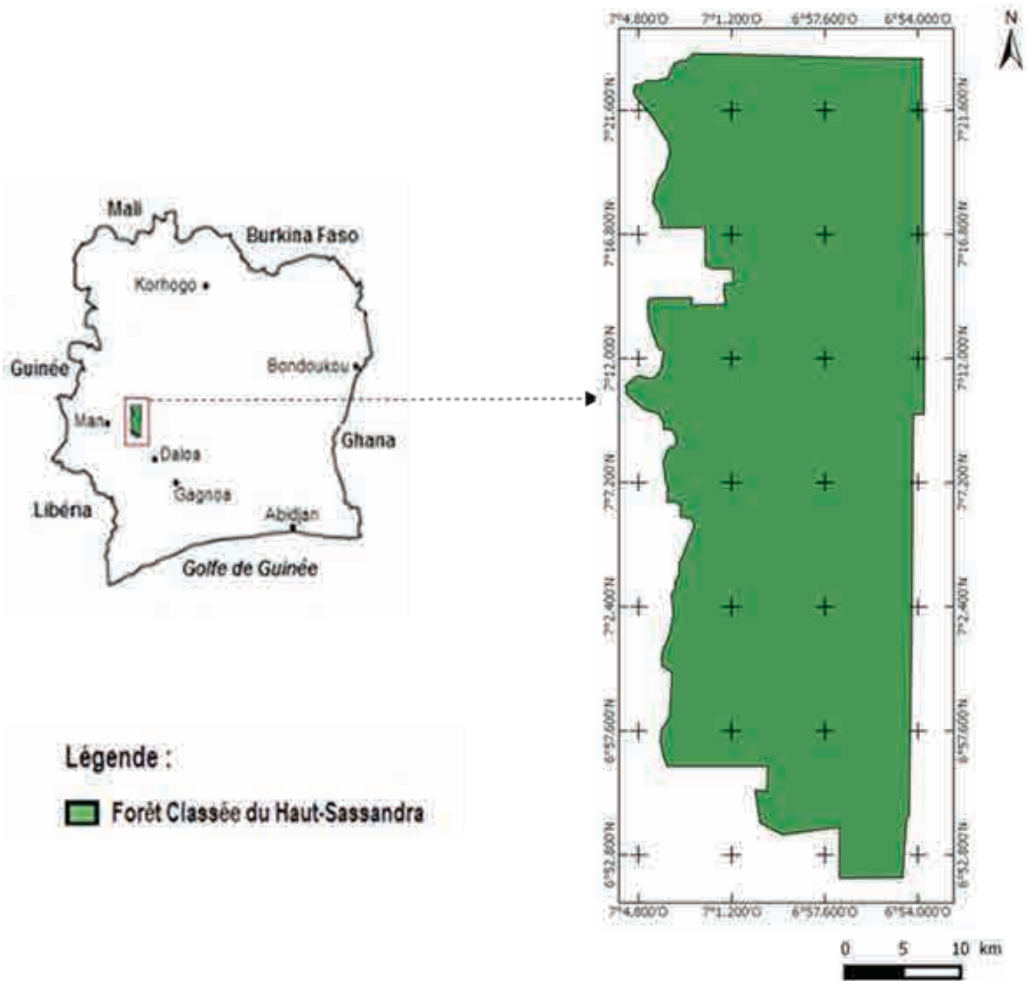
Par ailleurs, la forêt tropicale humide est constituée d'un assemblage d'unités élémentaires différentes formant des surfaces imbriquées, dont la discrimination par télédétection, surtout dans un contexte d'anthropisation du milieu, reste toujours complexe (Puig, 2001). Ainsi, les états de surfaces en milieu tropical humide exigent une approche multiscalaire afin de contrôler, de comprendre et de prévoir leur comportement (Oszwald, 2005). Cette approche permet d'appréhender un territoire sous de multiples approches statistiques et mathématiques. L'étude des paysages en général, et des couvertures forestières en particulier, à travers l'approche multiscalaire est suscitée pour diverses raisons dont celle d'identifier des échelles optimales afin de faciliter l'analyse de certains phénomènes. En Côte d'Ivoire, l'analyse à changement d'échelle réalisée par Oszwald (2005) au niveau de la FCHS a montré qu'au-delà de 100 m de résolution spatiale, les classes « Forêt dense » et « Forêt dégradée » se confondent. Dans un contexte d'intensification de l'anthropisation qu'aurait subi la FCHS en période de conflit armé (Kouakou *et al.*, 2015), l'étude de cette forêt domaniale par l'approche multiscalaire s'avère judicieuse dans l'exploration d'une échelle d'observation spatiale reflétant au mieux la réalité du terrain.

L'objectif de cette étude est donc, d'une part, de caractériser la dynamique de la végétation de la FCHS pendant la décennie de conflit armé et, d'autre part, de définir une résolution spatiale optimale pour l'analyse efficiente d'un espace forestier sous forte pression anthropique.

appartient, dans sa majeure partie, à la zone de forêt dense humide semi-décidue à *Celtis* spp. et *Triplochiton scleroxylon* du secteur mésophile (Guillaumet et Adjanohoun, 1971). Du fait des activités anthropiques intenses dans cette forêt,

d'autres types de végétation sont apparus à savoir des forêts dégradées, des jachères et des champs (Oszwald, 2005 ; Kouakou *et al.*, 2015). Cette forêt est marquée par un climat humide à deux saisons dont une

saison de pluie et une saison sèche. Appartenant à la région des glacis de l'ouest ivoirien (Avenard *et al.*, 1971), la FCHS présente un sol de type ferrallitique remanié.



**Figure 1.** Localisation de la Forêt Classée du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire

La population vivant autour de la FCHS est composée d'autochtones et d'allogènes. La population autochtone est essentiellement constituée de Niaboua et de Niédéboua. La population allogène comprend des Ivoiriens (Baoulé, Agni, Sénoufo, Malinké, Guéré,

Gouro, Wobé), ainsi que des ressortissants des pays voisins (Guinée, Burkina Faso, Mali et Ghana). Les populations riveraines de cette forêt s'adonnent à l'agriculture de subsistance mais également à la culture de rente telle que la culture du cacao et du café.

### Données satellitaires utilisées

La présente étude a nécessité l'utilisation de données satellitaires, de matériel pour la collecte de données sur le terrain

(description des sites visités, localisation et photographies des sites décrits) ainsi que de logiciels pour le traitement de l'ensemble de

ces données. Au total, six (6) images ont été utilisées (Tableau 1) : deux images multispectrales issues des capteurs LANDSAT 8 OLI TIRS (2013) et LANDSAT 7 ETM+ (2002) de 30 m de résolution spatiale ; une image multispectrale du capteur SPOT HRG de 10 m de résolution et trois images

panchromatiques du même capteur dont deux possédant une résolution de 5 m et la dernière d'une résolution de 2,5 m. Les images panchromatiques utilisées sont des découpes couvrant le nord, le centre et le sud de la zone d'étude.

**Tableau 1.** Caractéristiques des images utilisées

Capteurs	Date d'acquisition	Identité de la scène	Résolution(m)
LANDSAT ETM+	13/12/2002	1980552002347EDC00	30
LANDSAT OLI TIRS	19/12/2013	1980552013353LGN00	30
SPOT HRG	28/12/2013	50453351312281033402J	10
SPOT HRG	23/12/2014	50453361401071040552A0	5
SPOT HRG	23/12/2014	5045335 1401071040472A0	5
SPOT HRG	23/12/2014	50453361401071040552T0	2,5

### Analyse de la dynamique spatio-temporelle de la Forêt Classée du Haut-Sassandra

La dynamique de la végétation de la FCHS a été étudiée à partir de deux images satellitaires multispectrales LANDSAT à savoir LANDSAT 7 ETM+ (2002) et LANDSAT 8 OLI TIRS (2013), de 30 m de résolution spatiale chacune. Le traitement numérique de ces images a débuté par l'extraction de la zone d'étude de la scène entière grâce au logiciel ENVI 4.3. Cette manipulation a consisté d'abord à digitaliser le contour de cette zone d'étude dont le fichier a été enregistré sous forme de fichier vecteur à extension EVF. Ensuite, la zone d'étude associée comme une zone d'entraînement ('Region of interest' ou ROI) de la scène entière, nous avons extirpé cette zone d'étude de la scène entière en prenant soin de masquer les pixels qui lui sont extérieurs. À la suite de cette manipulation, nous avons procédé à la composition colorée de la zone d'étude extraite dans le but d'avoir une

synthèse d'informations en vue de faire une bonne discrimination des types de formations végétales. La composition colorée de l'image LANDSAT 7 ETM+ retenue est la combinaison des bandes spectrales 4-5-3. Les caractéristiques spectrales de ces bandes facilitent la discrimination des différents types de végétation (Chatelain, 1996 ; Girard et Girard, 1999 ; Oszwald, 2005). Quant à la composition colorée de l'image Landsat 8 OLI TIRS, la combinaison s'est faite avec les bandes 5-4-3 qui, sont analogues du point de vue des caractéristiques spectrales aux bandes 4-5-3 de Landsat 7 ETM+. Le choix des parcelles de contrôle pour la vérité terrain a été fait en tenant compte de l'accessibilité et de la représentativité de toutes les classes de végétation définies par l'affichage en fausse couleur des images satellitaires.

Pour les besoins de cette étude, nous avons défini quatre classes d'occupation du sol à partir d'informations provenant de la littérature concernant la zone d'étude (Oszwald, 2005 ; Kouakou *et al.*, 2015) mais



aussi de nos observations de terrain. Il s'agit des classes « Forêt », « Culture et jachère », aussi de nos observations de terrain. Il s'agit « Eau » et « Sol nu et habitat ». Une classification supervisée à partir de l'algorithme du maximum de vraisemblance a été réalisée à partir de ces classes. Des mesures de précision obtenues à travers la matrice de confusion (coefficient kappa et précision globale) ont permis de vérifier la performance de chacune des images classifiées avant leur validation. Par la suite, les changements au sein des types d'occupation du sol de la zone d'étude, pendant la période définie, ont été mis en évidence grâce à une matrice de

transition. Il s'agit d'une matrice carrée décrivant de manière condensée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée (Schlaepfer, 2002). Les traitements post-classifications se sont achevés par les étapes d'amélioration du rendu cartographique des résultats de classification (suppression des pixels isolés, homogénéisation des classes et le filtrage) et d'habillage cartographique, qui ont permis d'obtenir les cartes d'occupation du sol de la FCHS de 2002 et 2013. Le traitement des images a été réalisé à l'aide des logiciels ENVI 4.3 et les cartes ont été faites dans ArcGis 9.3.

### **Détermination des effets du changement de résolution spatiale sur la composition et la structure du paysage**

La discrimination par télédétection des unités de base de la forêt dense humide, surtout dans un contexte d'anthropisation du milieu, reste toujours complexe (Puig, 2001). Contrairement à une image de basse résolution dans laquelle un pixel peut regrouper plusieurs objets de référence, donc ne permettant pas d'observer les détails les plus fins, une image de haute résolution permet de visualiser un objet de référence à partir de plusieurs pixels individuels. Cette tendance a guidé notre choix d'étudier la dynamique de la FCHS en partant de 30 m de résolution à 10 m puis à 5 m de résolution spatiale. Ainsi, des images satellitaires de la FCHS de dates, de période saisonnière proches mais de résolution spatiale différente ont été choisies afin de comparer rigoureusement les processus ayant lieu sur une même zone et, trouver la résolution spatiale appropriée quantifiant au mieux les superficies des classes d'occupation du sol.

Quatre images satellitaires provenant de SPOT dont une, multispectrale et de 10 m de résolution (2013) et, trois images panchromatiques (2014) dont deux de 5 m de résolution et une de 2,5 m de résolution ont été utilisées. Aussi, associée à ces quatre

images, une image multispectrale provenant de LANDSAT 8 OLI TIRS (2013) a été utilisée. Les résolutions spatiales que nous avons retenues pour cette étude sont 30, 10 et 5 m. Pour ce faire, l'image panchromatique couvrant le centre de la FCHS, a subi un rééchantillonnage de résolution spatiale le faisant passer de 2,5 m à 5 m de résolution par la méthode du plus proche voisin. À partir des trois images panchromatiques, nous avons effectué des découpes (trois au total : nord, centre, sud) respectivement sur chacune des images multispectrales. La classification supervisée à partir de l'algorithme de distance minimum a été préférée pour le traitement de toutes les découpes car contrairement à celle du maximum de vraisemblance, elle n'a besoin que d'une seule bande pour le traitement. La distance Euclidienne entre chaque pixel ainsi que les vecteurs moyens de chaque classe sont calculés dans cette méthode de classification et, les pixels sont affectés à la classe la plus proche. En dépit de la simplicité de cette approche, les performances sont bonnes (Richards, 1985).

Trois classes d'occupation ont été retenues pour la classification des images



(« Forêt », « Sol nu et habitat » et « Culture et jachère ») afin de caractériser les dégradations dissimulées sous forêt. Après la classification de toutes les découpes, les proportions des superficies des classes d'occupation du sol de chacune des découpes ont été déterminées. Ensuite, trois tests statistiques ont été effectués sur les données de superficies des classes d'occupation avec le logiciel STATISTICA 7.1. Le test de Shapiro-Wilk avait pour objectif de vérifier si les observations suivent une distribution normale. L'analyse de variance (ANOVA à un facteur) a permis de mesurer l'effet du changement de résolution sur les proportions des types d'occupation du sol tandis que le *test de Fisher* dit LSD (pour Least Square différence)

a servi pour déterminer les différences significatives entre les moyennes des proportions des types d'occupation du sol retenus.

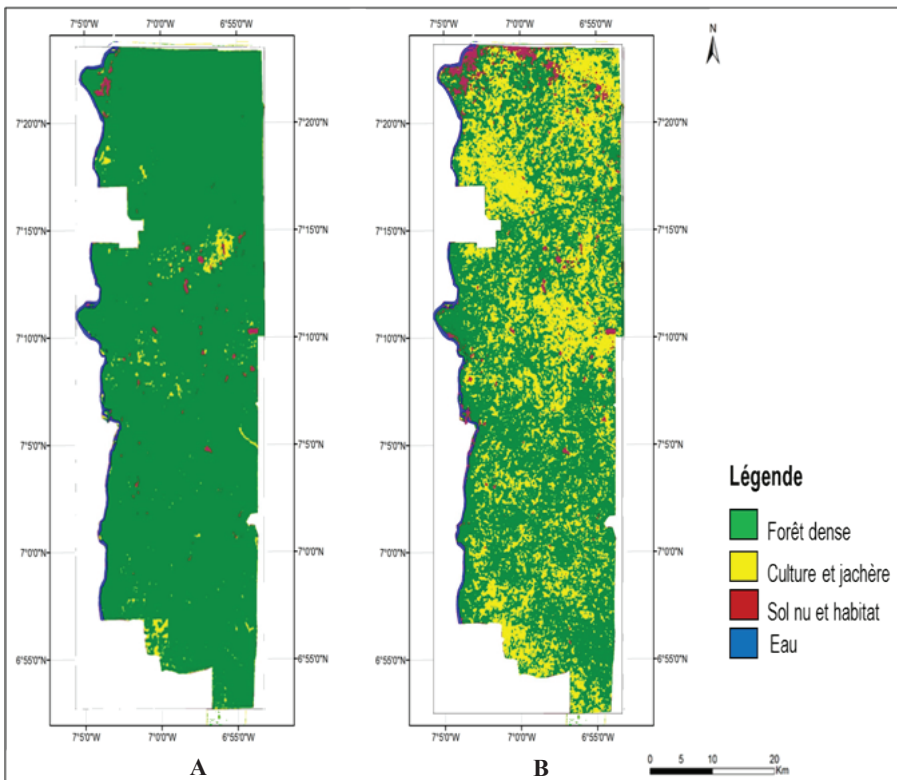
En ce qui concerne l'effet du changement d'échelle d'observation spatiale sur la structure du paysage de la FCHS, différents indices de structure spatiale ont été calculés pour chacune des découpes aux différentes résolutions spatiales considérées. Il s'agit du nombre de taches par classe, de l'aire des taches, du périmètre, de la dominance et de la dimension fractale. L'interprétation des transformations spatiales opérées suite au changement de résolution au niveau des classes s'est faite en s'appuyant sur l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (2004).

## RÉSULTATS

### Cartes d'occupation du sol de la FCHS et évaluation

Les traitements numériques des

images multispectrales ont permis d'obtenir les cartes d'occupation du sol de l'année 2002 et de l'année 2013 (Figure 2).



**Figure 2.** Cartes d'occupation du sol dans la Forêt Classée du Haut-Sassandra en 2002 (A) et 2013 (B)

Après le conflit, l'observation de ces cartes indique globalement une régression de la surface de la classe « Forêt » contrairement à la classe « Culture et jachère » qui a gagné en surface. Les changements opérés (en pourcentage) entre les différentes classes d'occupation du sol entre 2002 et 2013 ont été mis en évidence à travers la matrice de transition effectuée entre ces deux dates (Tableau 2). Ainsi, la classe « Forêt » qui occupait une proportion de 90,93 % du paysage en 2002 est passée à 49,76 %

en 2013. Aussi, le taux de « Culture et jachère » qui représentait 5,86 % du paysage en 2002 est passé à 42,18 % en 2013. Entre 2002 et 2013, la classe « Sol nu et habitat » qui constituait 2,04 % du paysage est passée à 6,89 %. Quant à la classe « Eau », elle est restée intacte entre les deux périodes. Dans l'ensemble, les taux d'occupation des classes « Culture et jachère » et « Sol nu et habitat » ont considérablement augmenté aux dépens de la classe « Forêt » entre 2002 et 2013.

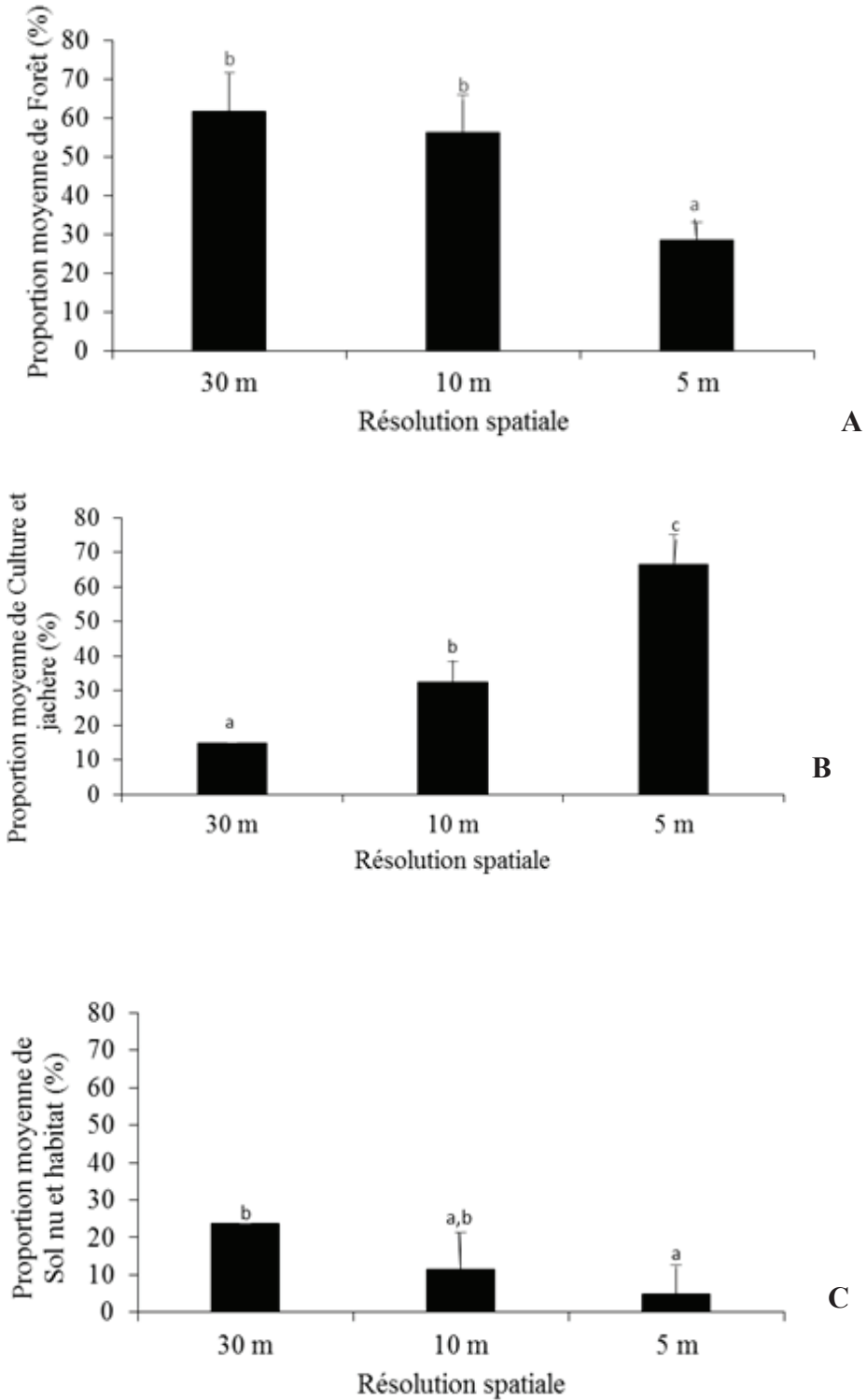
**Tableau 2.** Matrice de transition de l'occupation du sol (en pourcentage) entre 2002 et 2013

		2013				
		Forêt	Culture et jachère	Sol nu et habitat	Eau	Total général
2002	Forêt	47,59	38,24	5,08	0,02	<b>90,93</b>
	Culture et jachère	1,84	3,70	0,32	0,00	<b>5,86</b>
	Sol nu et habitat	0,33	0,24	1,44	0,03	<b>2,04</b>
	Eau	0,00	0,00	0,05	1,12	<b>1,17</b>
Total général		<b>49,76</b>	<b>42,18</b>	<b>6,89</b>	<b>1,17</b>	100,00

### Évolution de la proportion moyenne de la superficie des classes d'occupation du sol à différentes résolutions spatiales

Dans l'ensemble, la composition du paysage de la FCHS est influencée par la variation de la résolution spatiale (Figure 3). Au niveau de la classe « Forêt », cette variation résulte du changement de résolution spatiale (test univarié de significativité,  $p < 0,01$ ). Cependant, les superficies moyennes de « Forêt » à 30 et 10 m de résolution sont statistiquement identiques (Test LSD de Fisher,  $p > 0,05$ ). A l'opposé, la superficie moyenne de « Forêt » à 10 m (56,17 %) est nettement supérieure à celle de la « Forêt » à 5 m de résolution (28,48 %). De même, pour la classe « Culture et jachère », la superficie moyenne varie en fonction du changement

d'échelle varie en fonction du changement d'échelle d'observation (Test LSD de Fisher,  $p < 0,01$ ). La proportion de la superficie d'observation (Test LSD de Fisher,  $p < 0,01$ ). La proportion de la superficie moyenne de cette classe à 30 m (14,71 %) est inférieure à celle de 10 m de résolution (32,45 %) qui est à son tour nettement inférieure à celle observée à 5 m de résolution (66,57 %). Au niveau de la classe « Sol nu et habitat », les proportions de cet type d'occupation du sol à 30 et 5 m de résolution sont également influencées par la variation de la résolution spatiale ( $p < 0,05$ ) tandis que les proportions de cette même classe sont identiques lorsqu'on passe de 30 à 10 m de résolution spatiale et de 10 à 5 m de résolution spatiale ( $p > 0,05$ ).



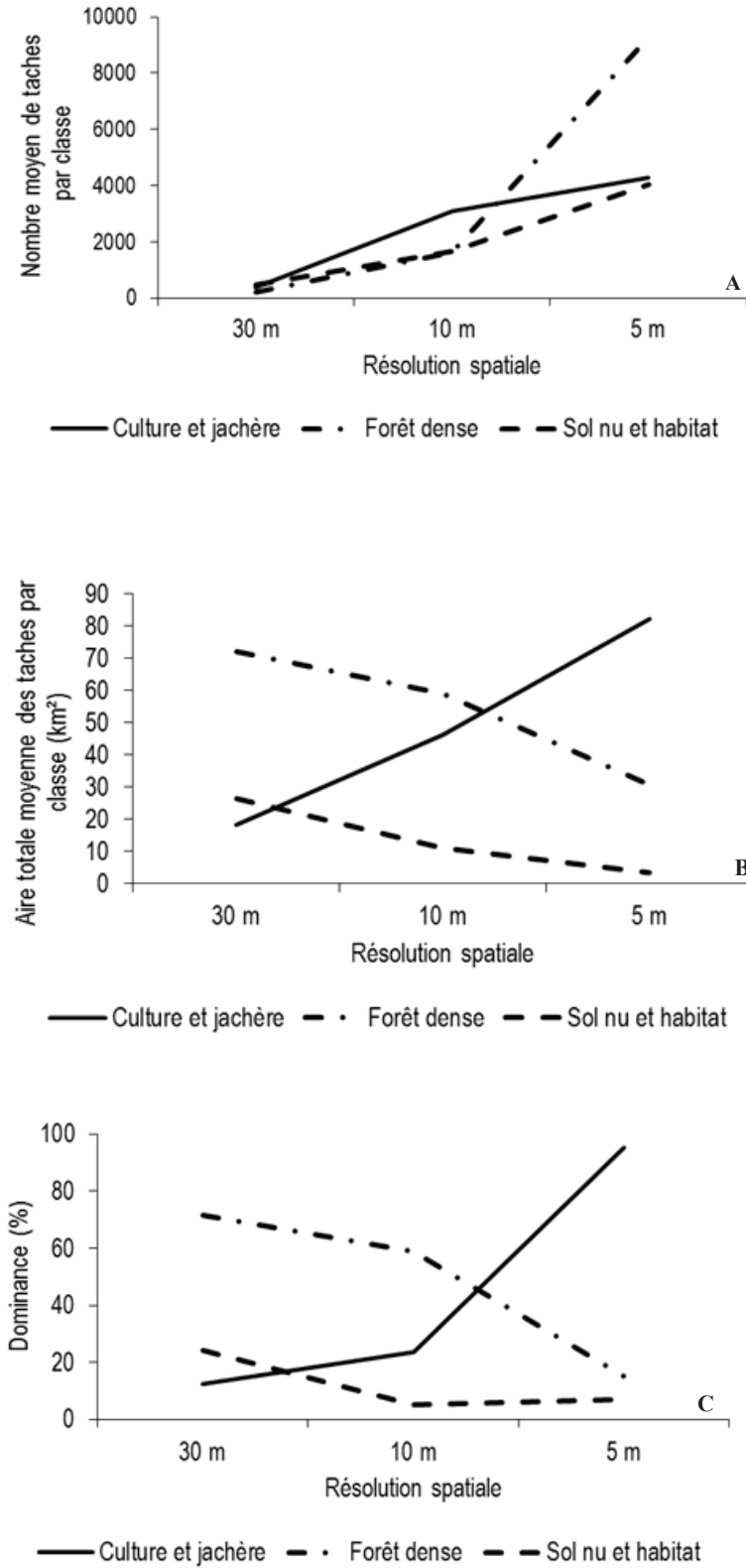
**Figure 3.** Proportions dans le paysage de la superficie moyenne des classes d'occupation du sol à différentes résolutions spatiales.

Les histogrammes surmontés de la même lettre représentent les proportions moyennes qui ne sont pas statistiquement différentes (ANOVA,  $p > 0.05$ ).

## Évolution des indices de structure en fonction de la résolution spatiale

La plupart des mesures au niveau de la structure sont sensibles aux changements de la résolution spatiale (Figures 4 et 5). En effet, à mesure que la résolution devient fine, le nombre de taches des classes d'occupation du sol augmente. Le nombre total moyen de taches de « Forêt » qui était de 205 taches à 30 m de résolution est passé à 9289 taches à 5 m. De 382 taches à 30 m de résolution, le nombre total moyen de taches de « Culture et jachère » est passé 4294 taches à 5 m de résolution. Quant à la classe « Sol nu et habitat », le nombre total moyen de taches de cette classe est passé de 452 à 4024. Par ailleurs, de 30 à 5 m de résolution, le périmètre total moyen des taches de « Culture et jachère » et « Forêt » augmente et passe respectivement de 323000 m à 2595000 m et, de 693000 m à 2168000 m.

Au contraire, celui de la classe « Sol nu et habitat » connaît une progression de 30 à 10 m de résolution suivi d'une régression de 10 à 5 m de résolution. Les aires totales moyennes des taches des classes « Forêt » et « Sol nu et habitat » diminuent parallèlement à la hausse de la résolution contrairement à l'aire totale moyenne des taches de la classe « Culture et jachère ». Pour ce qui est de la proportion de l'aire de la plus grande tache (dominance), celle de la classe « Forêt » diminue à mesure que la résolution devient fine à l'opposé de celle de la classe « Culture et jachère » qui augmente. Quant à la dominance de la plus grande tache au niveau de la classe « Sol nu et habitat », elle diminue lorsqu'on passe de 30 à 10 m de résolution puis augmente de 10 à 5 m de résolution. Enfin, la dimension fractale moyenne des taches des classes diminue lorsqu'on passe de 30 à 5 m de résolution.



**Figure 4.** Évolution des indices de composition du paysage (A, B, C) par classe en fonction de la résolution spatiale.

## DISCUSSION

### Dynamique d'occupation du sol entre 2002 et 2013

La classification de l'image de la FCHS avant le début des conflits en 2002 révèle que cette forêt classée était dominée par la forêt (90,93 % de la superficie de la FCHS). Les classes anthropiques au sein de la FCHS (« Culture et jachère » et « Sol nu et habitat ») ne représentaient que 7,9 % de la superficie totale de la FCHS, insinuant ainsi que l'infiltration de cette forêt classée aurait démarré bien avant la période de conflit (N'Guessan *et al.*, 2003 ; Oszwald, 2005). Les résultats obtenus sur toute l'étendue de la FCHS confirment les travaux de Kouakou *et al.* (2015) qui se sont déroulés uniquement dans la partie nord de la forêt. Ces travaux ont révélé que la partie nord de la FCHS avant la succession des crises politico-militaires, était occupée par 94,9 % de « Forêt » contre environ 5 % d'espace dégradé. Deux facteurs que sont la délimitation des enclaves de cette aire ainsi que la surveillance effective de celle-ci par les agents forestiers, pourraient expliquer la dominance de la forêt dense à cette date. En effet, la bonne délimitation physique des enclaves par la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) ainsi que la présence des agents

### Effet du changement de résolution spatiale sur la composition du paysage

Cette étude révèle globalement une dominance des zones anthropisées en termes de proportion dans le paysage au profit de la « Forêt » à mesure que la résolution spatiale devient fine. Ce constat est plus proche des observations de terrain. Cependant, il faut noter que le changement d'échelle d'observation de 30 à 10 m et de 10 à 5 m n'influence pas la proportion de la classe « Sol nu et habitat ». L'invariabilité de la proportion de cette classe à ces intervalles de résolutions pourrait s'expliquer par le fait

de surveillance dissuadant les populations qui seraient tentés d'installer des plantations au sein de la forêt (Oszwald *et al.*, 2003). À cette époque, les zones anthropisées, moins importantes, observées à l'intérieur de la forêt étaient dues certes à l'exploitation agricole, mais majoritairement à l'exploitation forestière légale (Kouamé *et al.*, 1998). Les petites exploitations agricoles disséminées çà et là dans la FCHS seraient favorisées par la présence d'axes routiers reliant les enclaves situées à ses deux extrémités, ainsi que des pistes créées par l'exploitation forestière. Cette observation corrobore les résultats de Mertens et Lambin (2000) selon lesquels l'accessibilité des zones forestières, en fonction de la qualité et de la densité du réseau routier, reste un facteur important dans la conversion des forêts tropicales.

Pendant cette décennie de conflits, environ 43,32% de « Forêt » ont été converties respectivement en « Culture et jachère » (38,24% sur les 43,32%) et en « Sol nu et habitat » (5,08% sur les 43,32%). Cette dégradation avancée de la forêt se justifierait par l'absence des agents de surveillance qui ont été mobilisés sur les différents fronts militaires pendant les crises, d'où une infiltration massive des populations au sein de la FCHS (Kouakou *et al.*, 2015).

que ces résolutions sont en deçà du seuil auquel où on observe une perte d'informations radiométrique et géographique. En effet, selon les travaux d'Oszwald (2005), la perte d'informations entraînée par la dégradation de la cohérence spatiale de la classe « Sol nu et habitat » se fait surtout dès le passage à une résolution de 60 mètres. À l'opposé, le changement d'échelle d'observation de 30 à 5 m de résolution influence la proportion de la classe « Sol nu et habitat ». Cette influence pourrait être due à un écart

de résolution spatiale trop grand entre ces images, que ne pourrait pas combler l'image 30 m de Landsat 8 OLI TIRS par sa bonne résolution radiométrique.

Par ailleurs, les travaux de Turner (1989) révèlent que les types d'occupations non dominantes dans le paysage ont tendance à diminuer à mesure que la résolution spatiale devient grossière. Ce résultat supposerait que les types d'occupations dominantes dans le paysage à une résolution grossière pourraient diminuer au profit de ceux non dominants lorsque la résolution

devient fine. En effet, les types d'occupations non dominantes sont engloutis par les dominants lorsque la résolution est grossière, ce qui n'est pas le cas pour une résolution spatiale fine où, il est possible d'observer plus clairement les types d'occupations non dominantes engloutis auparavant (Zhang *et al.*, 2008). Cette hypothèse expliquerait les résultats dans lesquels la classe « Forêt », dominante dans le paysage à 30 m de résolution, diminue en proportion à 5 m de résolution au profit de la classe « Culture et jachère » qui, était moins dominante à 30 m de résolution spatiale.

### **Effet du changement de résolution spatiale sur la structure du paysage**

L'observation de la FCHS en passant d'une résolution grossière de 30 m à une résolution plus fine à 5 m révèle au niveau de la classe « Forêt » une augmentation du nombre de taches ainsi qu'une diminution de l'aire totale moyenne des taches, indiquant une fragmentation des taches de cette classe (Bogaert *et al.*, 2004 ; Barima *et al.*, 2009). Néanmoins, la transformation spatiale observée pour cette classe aux intervalles de résolution de 30-10 m et 10-5 m est la dissection, dénotant ainsi d'un degré d'anthropisation atténué. Ce constat est sans doute due au fait que les processus au sein d'un paysage se déroulent à des échelles spatiales et temporelles spécifiques (Benson et Mackenzie, 1995). En effet, une structure différente peut émerger lorsque la résolution spatiale d'analyse est modifiée car les paysages sont engendrés par des processus qui se produisent à différentes échelles spatiales et temporelles (Benson et Mackenzie, 1995). La classe « Sol nu et habitat » est caractérisée par une

fragmentation de ces taches à toutes les échelles d'observations. Aussi, l'augmentation du nombre de taches couplée à celle de l'aire totale moyenne au niveau de la classe « Culture et jachère » aux différentes résolutions spatiales citées indiquent une création de taches dans cette classe. Ces transformations au niveau de ces classes sont appuyées par la dominance, qui est en baisse pour les classes de « Forêt dense » et « Sol nu et habitat », mais en hausse pour la classe « Culture et jachère » quand la résolution devient fine. À l'exception de la classe « Forêt », les transformations observées dans la structure des classes « Sol nu et habitat » et, « Culture et jachère » lorsqu'on passe d'une résolution à une autre, sont statiques. Ce résultat pourrait être dû au sens dans lequel le changement de résolution a été effectué. En effet, les changements qualitatifs et quantitatifs dans les mesures à travers les résolutions spatiales vont différer selon la façon dont la résolution est définie (Turner *et al.*, 1989).



## CONCLUSION

La présente étude qui s'inscrit dans le contexte de l'utilisation de la télédétection pour mettre en évidence l'anthropisation de paysages forestiers en période de crises, a permis de montrer que les conflits armés sont un facteur majeur de dégradation des formations naturelles en général et des forêts en particulier. La Forêt Classée du Haut-Sassandra, site de la présente recherche, a subi les conséquences néfastes de la décennie de conflit armé en Côte d'Ivoire. Entre 2002 et 2013, environ 43,32% de « Forêt » ont été converties en « Culture et jachère » (38,24%) et en « Sol nu et habitat » (5,08%). Cette importante anthropisation serait due à l'absence des gestionnaires de cette aire protégée pendant la période des conflits. Par ailleurs, la résolution spatiale s'avère importante dans l'analyse de la composition et la structure d'une forêt soumise aux pressions anthropiques. Le changement d'échelle d'observation, de l'échelle grossière à l'échelle fine, indique une progression des superficies des zones dégradées (« Culture et jachère », et « Sol nu et habitat ») et une

régression de la superficie de la « Forêt » à mesure que la résolution devient fine. La composition et la structure de la classe « Forêt » pour les résolutions de 30 et 10 m, sont identiques. Ainsi, la résolution spatiale 10 m ne résoudrait donc pas la quantification des cultures sous ombrages, problème rencontré avec l'utilisation d'une image de 30 m. Par ailleurs, à 5 m de résolution spatiale, on observe une régression de la proportion de cette classe et une progression de la proportion de « Culture et jachère », insinuant ainsi que la proportion supplémentaire de « Culture et jachère » obtenue pour cette résolution serait celle non quantifiable à 30 et 10 m de résolution. Par une approche multiscalaire, la présente étude définit la résolution spatiale 5 m comme opportune pour l'étude d'un paysage hétérogène et fragmenté comme la FCHS. Cependant l'association des informations de texture aux traitements radiométriques pourrait permettre d'améliorer l'exactitude des classifications supervisées et la cartographie des modes d'occupation des sols, en particulier la reconnaissance des zones en friche.

## REMERCIEMENTS

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet GEOFORAFRI intitulé «Dynamiques Paysagères et Produits Forestiers Non ligneux (DYNAPAY-PFNL)», financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) avec l'appui technique de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, France). Elle a aussi bénéficié du soutien du Programme d'Appui

Stratégique à la Recherche Scientifique (PASRES) et de l'Académie des Sciences, des Arts, des Cultures d'Afrique et des Diasporas Africaines (ASCAD). Le bon déroulement des travaux au sein de la Forêt Classée du Haut-Sassandra a été possible grâce à la collaboration avec la Société de Développement des Forêts (SODEFOR).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aké-Assi L, Boni D.** 1988. Développement agricole et protection de la forêt : Quel avenir pour la forêt ? *Mitteilungen aus dem Institut für Allgemeine Botanik in Hamburg*, 23: 169-176.
- Avenard JM, Eldin M., Girard G, Sircoulon J, Touchebeuf P., Guillaume JL, Adjanohoun E.** 1971(Eds.). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Paris, 391 p.
- Barima YSS, Barbier N, Bamba I, Traoré D, Lejoly J, Bogaert J.** 2009. Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 299 (1) : 15-25.
- Benson JB, Mackenzie DM.** 1995. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecology*, 2 : 113-120.
- Bogaert J, Ceulemans R, Salvador-Van Eysenrode D.** 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*, 33 (1) : 62-73.
- Chatelain C.** 1996. 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, Suisse, 158 p.
- FAO.** 2001. Evaluation des ressources forestières mondiales 2000. Rapport principal, études FAO, Rome, Italie, 140 p.
- Girard MC, Girard CM.** 1999. Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, France, 529 p.
- Guillaumet JL, Adjanohoun E.** 1971. La végétation de la Côte d'Ivoire. In: Avenard JM, Eldin M, Girard G, Sircoulon J, Touchebeuf P, Guillaume JL, Adjanohoun E, Perraud A, (Eds.). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM n° 50, Paris : 57-266.
- Inoussa TM, Imorou IT, Gbegbo MC, Sinsin B.** 2013. Structure et composition des forêts denses sèches des monts Kouffé au Bénin. *Applied Biosciences*, 64 : 4787-4796.
- Kouakou ATM, Barima YSS, Kouakou KA, Kouamé NF, Bogaert J, Kouadio YJ.** 2015. Forest dynamics in the North of the Classified Forest of Haut-Sassandra during the period of armed conflicts in Ivory Coast. *American Journal of Life Sciences*, 3(5) : 375-382.
- Kouakou KA, Barima YSS, Kouakou ATM, Sangne YC, Bamba I, Kouamé NF.** 2015. Diversité végétale post-conflits armés de la Forêt Classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2 : 4058-4071.
- Kouamé NF, Tra Bi HF, Etien TD, Traore D.** 1998. Végétation et flore de la forêt classée du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. *Revue CAMES*, 00: 28-35.
- Mertens B, Lambin EF.** 2000. Land-cover-change trajectories in Southern Cameroon. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(3): 467-494.
- Moody A, Woodstock CE.** 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on landcover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology*, 6 : 363-379.

- N'goran RK.** 2010. Application de l'évaluation environnementale stratégique dans un contexte conflictuel en Côte d'Ivoire. Mémoire de master en environnement de l'Université de Sherbrooke, Canada, 83 p.
- N'guessan E, Bellan M, Blasco F.** 2003. Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, 3 : 443-456.
- Oswald J.** 2005. Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. Thèse de doctorat de l'Université des sciences et technologies de Lille, France, 304 p.
- Oswald J, Bigot S, Kergomard C, Brou TY.** 2003. Dynamiques et représentations spatiales de la déforestation en Côte d'Ivoire : l'exemple de la forêt classée du Haut-Sassandra (1986-2001). *Photo-Interprétation*, 1-11.
- Païvinen R, Pitkanen J, Witt R.** 1992. Mapping closed forest cover in West Africa, using NOAA/AVHRR-LAC data. *Silva Carelica*, 27-51.
- Puig H.** 2001. La forêt tropicale. Belin Coll, Paris, France, 448 p.
- Richard JF.** 1985. Le paysage, analyse et synthèse. Contribution méthodologique à l'étude des milieux tropicaux (savanes et forêts de Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de l'Université de Paris VII, France, 438 p.
- Schlaepfer R.** (2002). Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Lausanne, Suisse, 10 p.
- Shuku O.** 2003. Évaluation environnementale des conflits armés : Cas de la RDC. Communication, Marrakech, Maroc, 5 p.
- Turner MG.** 1989. Landscape Ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20 : 171-197.
- Turner M, O'Neill R, Gardner R, Milne B.** 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3(3/4) : 153-162.
- Vadrot CM.** 2005. Guerre et environnement : panorama des paysages et des écosystèmes bouleversés. Delachaux et Niestlé, Paris, France 252 p.
- Woodcock CE, Strahler AH,** 1987. The factor of scale in Remote Sensing. *Remote sensing of environment*, 21 : 311-332.
- Zhang Q, Ban Y, Liu J, Shu Q, Hu Y.** 2008. Analysis of Landscape Dynamics in Shanghai Using Landscape Metrics: Effects of Spatial Resolutions. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 6 p.