

MODÉLISATION PROSPECTIVE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA FORÊT CLASSÉE DU BANDAMA BLANC (COTE D'IVOIRE) À L'HORIZON 2030

Kouamé Julien KOUASSI, Doctorant, Géographie
humaine, UAO, julienkouassin@gmail.com

Kouakou Camille GOLI, Doctorant, Géographie
humaine, UAO,
camillegoli4@gmail.com

Kan Emile KOFFI, Maître-assistant, Géographie
physique, UAO,
kanemile22@gmail.com

Résumé

La forêt classée du Bandama blanc connaît une dynamique importante du fait des activités humaines intenses qui mettent l'écosystème en équilibre précaire, pourtant elle est régie par un cadre juridique et institutionnel approprié. Cette étude s'appuie à la fois sur les technologies de l'information géographique et la modélisation systémique afin d'analyser la dynamique prospective à l'horizon 2030 du système Bandama blanc. Pour atteindre cet objectif, des scénarios prospectifs construits, ont été spatialisés à l'aide du modèle LCM (Land Change Modeler) implémenté dans le logiciel Idrisi développé par ClarkLabs de Clarks University. Il ressort des résultats que les quatre scénarios (scénario tendanciel, scénario normatif de rupture

souhaitée, scénario normatif de rupture redoutée et scénario alternatif) extrapolant les tendances actuelles, prédisent qu'à l'horizon 2030, le paysage forestier sera dominé majoritairement par les espaces naturels (+ 50%) à l'exception du scénario de rupture redoutée (33,74%). Par ailleurs, le scénario normatif de rupture souhaitée porte les germes d'un avenir meilleur et la préservation des ressources végétales est encore possible avec la volonté des décideurs.

Mots clés : Forêt classée, Géoprospective, Scénario, LCM, Simulation

Abstract

The Bandama White Forest is experiencing significant dynamics due to intense human activities that put the ecosystem in precarious balance, yet it is governed by an appropriate legal and institutional framework. This study uses both geographic information technologies and systemic modeling to analyze the prospective dynamics of the White Bandama system by 2030. To achieve this goal, built-forward scenarios were spatialised using the Land Change Modeler (LCM) model implemented in the Clarks University-developed Idrisi software developed by ClarkLabs. The results show that the four scenarios (trend scenario, normative rupture scenario desired, normative scenario of dreaded rupture and alternative scenario) extrapolating current trends, predict that by 2030, the forest landscape will be dominated mainly by natural

resources (+ 50%) with the exception of the dreaded rupture scenario (33.74%). In addition, the normative scenario of desired rupture carries the seeds of a better future and the preservation of plant resources is still possible with the will of the decision-makers.

Keywords: Classified forest, Geoprospective, Scenario, LCM, Simulation

1 – Introduction

Les forêts tropicales sont au cœur des enjeux internationaux sur le changement climatique et la conservation de la biodiversité (B. DESCLÉES et *al.*, 2014, p.21). Celles d'Afrique contribuent plus indirectement à alimenter les 40 millions de personnes qui vivent dans les centres urbains proches de ces domaines forestiers (R. NASI et *al.*, 2011, p.362). Pourtant, ces ressources naturelles subissent des pressions anthropiques croissantes qui entraînent des dysfonctionnements des écosystèmes terrestres et des pertes de biodiversité (P. ROCHE, 1998, p.3).

En Côte d'Ivoire, la politique de protection de la nature date de l'époque coloniale d'où elle tire ses fondements juridiques et institutionnels (T. I. NDOTAM, 2005, p.25). Cela a permis de constituer un important réseau d'aires protégées qui couvrait une superficie de plus de cinq millions d'hectares à l'indépendance (G. J. IBO, 1993, p.103). Cette dynamique de préservation des ressources naturelles de la Côte d'Ivoire s'est consolidée dans la

période postcoloniale par le renforcement des dispositions juridiques et la création de la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) dont l'objectif était d'assurer la protection des forêts classées (CORENA, 2013, p.3). Pourtant, la plupart de ces forêts classées sont menacées de disparition car leur surface diminue régulièrement de façon accélérée (E. N'GUESSAN et al, 2006, p.308).

Localisée dans le centre-nord de la Côte d'Ivoire, la forêt classée du Bandama blanc, cadre spatial de cette étude, n'échappe pas à cette tendance lourde. En effet, l'analyse de l'évolution du couvert végétal basée sur le traitement par télédétection d'images satellitaires multidates (1991, 2003 et 2015), a montré que le taux de dégradation de la forêt classée du Bandama blanc est passé de 10,40% à près de 40% entre 1991 et 2015 (K. J. KOUASSI, 2015, p.73). La tendance de dégradation actuelle observée présage un avenir incertain pour la forêt classée du Bandama blanc si elle se poursuit. Comment pourrait se présenter alors les futurs possibles de cette aire protégée ? C'est pourquoi, nous nous proposons, dans cette étude, d'analyser les changements futurs de la forêt classée du Bandama blanc à l'horizon 2030 à partir de la modélisation prospective dont l'objectif est ici, de réaliser les cartes d'occupation du sol prédictives.

2 – Méthodologie

2.1 – Présentation de la zone d'étude

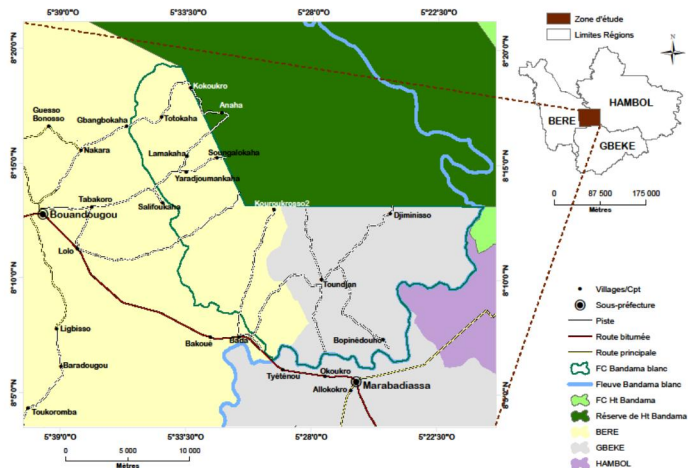
Éponyme du fleuve Bandama blanc, la forêt du Bandama blanc a été classée le 13 août 1954 et couvrait initialement une superficie de 50 000 ha. Cependant, l'implantation d'une Réserve de Faune et Flore du Haut Bandama qui englobe une partie de cette aire protégée, a réduit sa contenance à une superficie de 28 800 ha actuellement. Elle est localisée au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire (Carte 1), s'étendant sur les régions administratives de Béré et de Gbékè, et couvre les départements de Béoumi et de Mankono. Elle est directement gérée par les circonscriptions administratives de Marabadiassa et de Bouandougou.

Cette aire protégée est située entre les méridiens 5°36'00,6" et 5°19'58,95" de longitude Ouest et les parallèles 8°05'45,62" et 8°19'50,77" de latitude Nord. Elle est délimitée par le fleuve Bandama blanc au sud sur une distance de 35 km, la rivière Banagni (sur 11 km) à l'ouest, la rivière Garamou (sur 8,50 km) au nord et la Réserve de Faune et de Flore du haut Bandama à l'est.

Le relief se présente sous la forme d'un plateau légèrement incliné vers l'est, dont l'altitude moyenne varie entre les côtes 200 et 400 mètres (J. M. AVENARD, 1971, p.14). La forêt classée est, en majeure partie, composée de sols ferrallitiques moyennement désaturés, les bas-fonds et plaines alluviales étant occupés par des sols hydromorphes

ou des sols, peu évolués, d'apport hydromorphe (F. LAUGINIE, 2007, p.287).

Carte 8 : Situation géographique de la zone d'étude



Source : SODEFOR, 2017

La forêt classée du Bandama blanc est soumise à un climat tropical appartenant au secteur subsoudanais et au secteur soudanais (J.L. GUILLAUMET et E. ADJANOHOUN, 1971, pp.219). Ces secteurs phytogéographiques se distinguent, en plus des savanes arbustives et de forêts claires sèches caractéristiques de l'ensemble du domaine soudanais, par la présence de forêts denses sèches et de forêts-galeries le long des cours d'eau.

La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 1 200 mm, avec les plus grandes précipitations en août et septembre. La saison sèche dure environ sept mois,

l'harmattan venant en accentuer les effets pendant deux à trois mois. Les autres caractéristiques du climat sont une température moyenne annuelle de 26°C et une humidité relative moyenne voisine de 70% (M. ELDIN).

La flore est constituée en majeure partie d'essences de moindres valeurs commerciales dénommées "essences secondaires ou divers". Néanmoins, il y existe quelques essences principales (P1, P2 et P3) telles que l'Iroko, le Tali, le Fromager, l'Ako, l'Aningré, le Poré-poré, l'Azobé de savane et le Sougué des rivières. Sa faune comprenant 8 ordres repartis en mammifères (4), en reptile (1) et en oiseaux (3), est caractérisée par 33 espèces animales principales. Il y est observé aussi bien de grands mammifères (les buffles) que les petits rongeurs (l'écureuil fouisseur).

2.2 – Données

Les données utilisées dans cette étude sont : deux variables topographiques (pente et altitude), et trois variables de distance (routes, cours d'eau et zone construite) qui ont des répercussions importantes sur le changement de couverture végétale dans la zone d'étude. À ces variables sont ajoutées les cartes d'occupation du sol de 1991, 2002 et 2015 de la forêt classée de Bandama blanc. Les variables explicatives des changements d'occupation du sol en entrée du modèle de l'étude sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 4 : Données utilisées pour la modélisation prédictive de l'occupation des sols de la forêt classée du Bandama blanc

Types de données	Description
Cartes de l'occupation des sols de 1991, 2002 et 2015	Générées à partir des images Landsat (USGS, 2016)
Carte de la distance à la pédologie	Unités morpho-pédologiques de Katiola (ORSTOM, 1957)
Carte de distance au réseau hydrographique	Définir à partir du réseau hydrographique à l'aide du MNT (ASTER)
Carte de distance du réseau routier	Définie à partir du réseau routier (à l'aide de la carte topologique (BNETD, 1994) et mise à jour par les images Landsat)
Carte de distance aux localités	Analysée sur la base de la carte des localités (Levé au GPS)
Carte du MNT	À partir des données SRTM
Carte de pente	À partir de la carte du MNT
Carte d'aspect	À partir de la carte du MNT

Un GPS (Global Positioning System) de marque GARMIN a été utilisé pour localiser la position des différents points de contrôle sur le terrain. À ces données

planimétriques s'ajoutent quelques données socio-économiques (démographie, superficies des exploitations agricoles) collectées sur le terrain et indispensables pour la simulation de l'occupation du sol. Le logiciel Idrisi à travers son outil Land Change Modeler (LCM) a été utilisé pour la simulation de l'occupation du sol de la forêt classée de Bandama blanc à l'horizon 2030.

2.3 – Méthodes

2.3.1 – Simulation de l'occupation du sol

Le modèle de prédiction utilisé ici est Land Change Modeler (LCM) implémenté dans le logiciel Idrisi. Ce modèle s'appuie sur les connaissances passées et actuelles de l'occupation du sol pour prédire le futur. La figure 1 présente toutes les étapes majeures du modèle LCM-IDRISI (J. R. Eastman, 2012, p.265) utilisées dans l'étude. Il y en a trois : l'entrée de données, les traitements, la validation et les résultats de prédiction sont présentés dans ce diagramme.

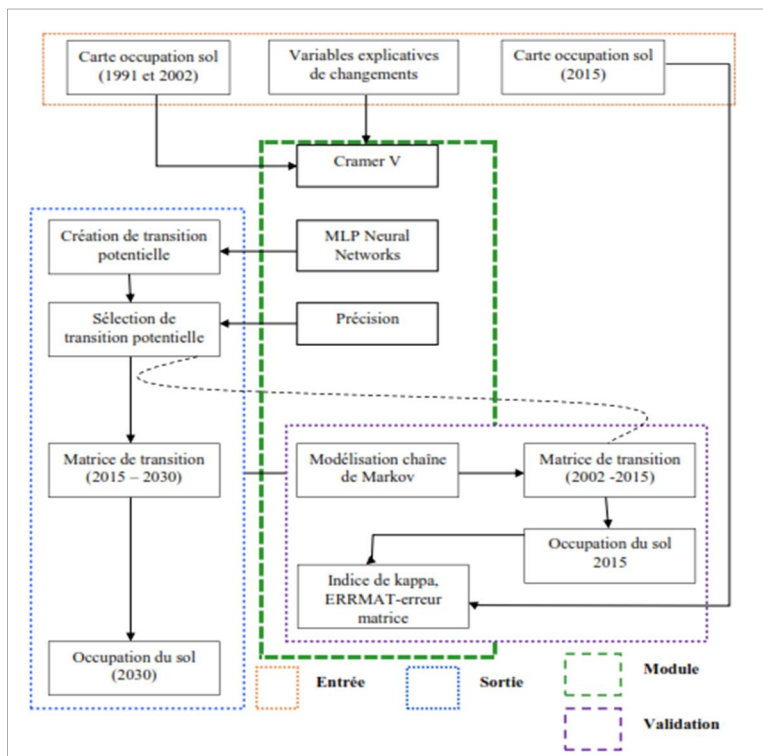


Figure 1 : Cadre conceptuel des différentes étapes du modèle LCM

(Source : B. G. F. BOUSSOUGOU, 2017, p.139)

Détection des changements et définition de variables explicatives

L'évaluation des interactions entre les changements et les explications potentielles variables, et de l'impact de ces dernières sur résultats de prévision, a été réalisée en deux phases. La première phase s'est concentrée sur la paire

1991-2002 et les résultats ont été validés à travers une comparaison avec la carte d'occupation du sol de 2015. La deuxième phase s'est concentrée sur la paire 2002-2015 et elle a permis de produire la carte prédictive de 2030.

La modification de l'occupation du sol a été étudiée à l'aide de la méthodologie proposée par (J. R. EASTMAN, 2009, p.234), qui consiste à déterminer le relatif actions de persistance, gain, perte et échanges entre les classes étudiées. Les changements survenus entre les deux années analysées (1991-2002) ou (2002-2015) ont été identifiés et inclus dans le sous-modèle de transition pour évaluer la relation entre les changements observés et explicatifs variables. Ceux-ci ont été sélectionnés en fonction de leur potentiel explicatif, évalué par le biais de Coefficient Cramer'V, utilisé dans ce cas comme un indicateur du pouvoir explicatif de chaque variable. Une valeur élevée de ce coefficient montre l'importance de la variable explicative. Ainsi, une valeur supérieure ou égale à 0,15 est considérée comme acceptable. Au-delà de 0,4, les variables explicatives sont considérées comme très satisfaisant (J. R. EASTMAN, 2009, p.254). Dans cette étude, huit variables explicatives (la pente, l'aspect, la distance aux routes, distance aux cours d'eau, distance aux localités et les types de sol) ont été pris en compte.

Modélisation des changements d'affectation du sol

Suite à la définition des variables explicatives, la probabilité d'occurrence de chaque transition a été

calculée. Pour assurer la fiabilité de la modélisation des transitions potentielles, les paramètres du sous-modèle de transition ont été calibrés. Ce sous-modèle sera considéré comme acceptable si le taux de précision est à moins 70% (J. R. EASTMAN, 2012, p.270). la modélisation prédictive des changements d'affectation du sol de l'année 2015 a été développé par la Chaîne de Markov (M. G. TEWOLDE et P ABRAL, 2011, p.2154). La méthode nécessite la carte d'occupation du sol de 2002 et les transitions potentielles précédemment calculé. Le sous-modèle fournit la matrice des probabilités de transition pour 2015, qui donne les changements de probabilité des classes. Dans cette matrice, les lignes représentent les classes d'occupation de la carte de 2002 et les colonnes représentent les catégories de la carte prédictive de 2015.

Validation du modèle et générations de scénarios

Aux fins de validation, la carte prédictive 2015 est comparé à la carte de référence correspondant à la même date. Cette la comparaison permet le calcul de la précision globale, le coefficient de kappa et l'exactitude de chaque classe prédite. La carte prédictive sera considérée comme acceptable s'il répond aux exigences suivantes : (1) le la précision globale doit être supérieure à 85% et (2) la précision pour chaque catégorie doit être du même ordre (J. R. ANDERSON et *al*, 1976, p.5). Après la calibration et la validation du modèle, la carte prédictive de 2030 a été généré sur la base de paramètres optimisés. Il est clair que les conditions actuelles peuvent changer dans l'avenir, ce

qui pourrait produire une source potentielle d'erreurs. La carte prédictive de 2030 sera utilisée pour évaluer la tendance générale des changements d'affectation du sol et pour déterminer les déviations potentielles par rapport à 2015.

2.3.2 – Description des scénarios

Quatre scénarios ont été élaborés pour prédire l'évolution de l'occupation du sol de la forêt classée du Bandama blanc afin de faciliter les prises de décisions. Il s'agit de :

Scénario A : la tendance observée se poursuit (scénario tendanciel ou de référence)

Le scénario A est un scénario tendanciel qui part de l'hypothèse de l'absence de volonté politique dans la mise en œuvre des textes réglementaires existants et de l'insuffisance de ressources (matérielles, financières et humaines). C'est un scénario dans lequel l'évolution de l'occupation du sol future suit les tendances observées dans le passé. Il se base sur les données socioéconomiques passées récentes (1991-2015), par exemple, les activités économiques et l'infiltration clandestine des populations à l'intérieur de la forêt classée.

Scénario B : la tendance corrigée (scénario normatif de rupture souhaitée)

Le second scénario envisage une évolution radicale des modes d'occupations du sol qui se traduit par la préservation intégrale du territoire juridique de la forêt classée, une reconquête maximale des zones de cultures et

de la destruction des cultures pérennes ainsi que des lieux d'habitation.

Scénario C : scénario de rupture redoutée

Ce scénario présage l'accélération de la destruction du couvert végétal et l'agrandissement des espaces humanisés (tendance à la catastrophe). Dans ce scénario, l'infiltration des populations clandestines et le développement des activités économiques seront très élevés et se soldant par une dégradation accrue des ressources naturelles. C'est un scénario pessimiste, mais très probable dans la mesure où la Côte d'Ivoire traverse actuellement une tension entre la classe dirigeante. Cela pourrait engendrer une situation de crise insurrectionnelle qui va contraindre les gestionnaires à abandonner cet espace protégé en cas d'insécurité généralisée.

Scénario D : scénario de durabilité environnementale (scénario alternatif)

Le principal objectif du scénario est de protéger le reste des ressources végétales encore en place. Dans ce scénario, les exploitations agricoles en production existante à la date de 2015 sont maintenues au sein de la forêt classée à la seule condition que leurs propriétaires n'effectuent plus de nouveaux défrichements, ni de constructions nouvelles de lieux d'habitation. C'est un scénario dans lequel les subventions gouvernementales et l'appui financier des partenaires extérieurs vont stimuler la réalisation de vaste projet de reboisement où les

populations vivant dans ladite forêt seront des acteurs majeurs.

3 – Résultats

Cette première phase de l'étude a identifié les changements survenus entre les classes d'occupation du sol entre les années (2002-2015), puis calculé les transitions potentielles. Les résultats sont inclus dans le modèle de sous-transition pour prédire les changements d'affectation du sol pour les 15 prochaines années. Tous les changements possibles entre les deux cartes de référence (2002, 2015) sont utilisés pour le calcul des transitions potentielles. Un total de 38 transitions a été identifiées dont 8 retenues du fait de leurs pertinences et pris en compte dans le sous-modèle de transition.

3.1 – Évaluation des variables explicatives

La qualité des variables est évaluée par le calcul des coefficients de Cramer'V de ces variables (tableau 2).

Tableau 2 : Coefficients de Cramer's V des variables explicatives

	V _{Globa} l	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇
Changement 2002/2015	0.424 7	0.8624	0.4273	0.4283	0.2372	0.1796	0.0457	0.0831
MNT	0.105 2	0.1907	0.0919	0.1043	0.0502	0.0910	0.0791	0.0507
Pente	0.048 0	0.0900	0.0536	0.0329	0.0339	0.0380	0.0153	0.0211
Aspect	0.047 5	0.0289	0.0855	0.0831	0.0277	0.0406	0.0131	0.0238
Types de sol	0.124 6	0.2293	0.0944	0.1210	0.0699	0.1373	0.0654	0.0522
Distance des localités	0.082 3	0.0903	0.0990	0.0622	0.0622	0.0956	0.0355	0.0560
Distance du réseau hydro	0.068 1	0.1232	0.0502	0.0712	0.0633	0.0393	0.0425	0.0332
Distance route	0.077 0	0.0973	0.0851	0.1056	0.0617	0.0875	0.0450	0.0524

Dans ce tableau, V_{Global} indique le coefficient de Cramer's V global et V₁, V₂, ..., V₇ les coefficients de Cramer's V pour les différentes classes d'occupation du sol (Eau, Forêt claire, Savane arbustive, Anacarde, Jachère, Coton et Sol nu).

La phase d'étalonnage du sous-modèle de transition permet l'ajustement du principe paramètres (taille maximale de l'échantillon ; début de l'apprentissage taux ; Fin taux d'apprentissage ; Sigmoid constant) en appliquant le MLP méthode. L'évaluation de la qualité des résultats est basée sur l'erreur quadratique moyenne

(RMSE) pour les phases d'apprentissage et de test, ainsi que sur le taux de précision. Le RMSE est d'environ 0,14 à la fin de l'étalonnage et de la précision du bronzage le taux de 76% est atteint après 7000 itérations, supérieur à la valeur de seuil recommandée (70%) (J. R. EASTMAN, 2012, p.270).

Ces résultats confirment l'étalonnage satisfaisant du sous-modèle de transition, qui permet de calculer transitions potentielles en appliquant le Markov chaîne aux images de 2002 et 2015. Ce qui permet de générer la matrice de probabilité de transition (Tableau 3) entre 2015 et 2030.

Tableau 3 : Matrice des probabilités de transition de l'occupation du sol entre 2015 et 2030

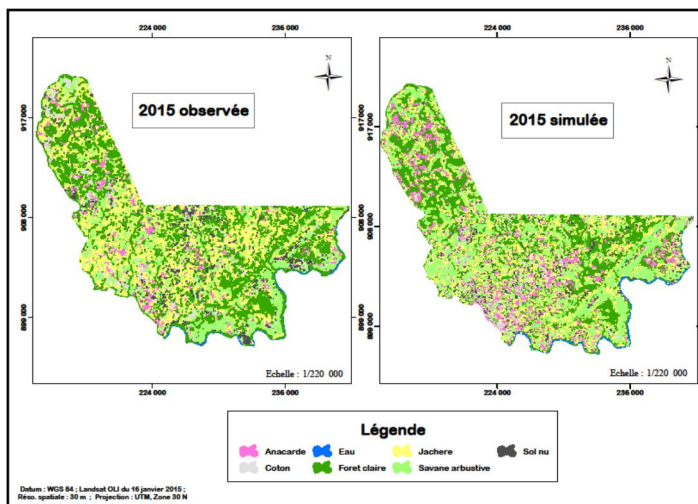
2030 2015	Anacarde	Coton	Eau	Forêt claire	Jachère	Savane arbustive.	Sol nu
Anacarde	0.1758	0.0114	0.0002	0.1461	0.2906	0.3463	0.0296
Coton	0.1922	0.0154	0.0000	0.0732	0.2335	0.4478	0.0378
Eau	0.0069	0.0000	0.8141	0.0961	0.0143	0.0000	0.0686
Forêt claire	0.0612	0.0093	0.0013	0.2599	0.3643	0.2864	0.0176
Jachère	0.0711	0.0147	0.0002	0.0614	0.2775	0.5447	0.0304
Savane arbustive	0.0896	0.0186	0.0003	0.0230	0.2142	0.6144	0.0398
Sol nu	0.1661	0.0128	0.0015	0.0899	0.2625	0.4250	0.0422

Cette matrice détermine la probabilité d'un pixel dans une classe d'occupation du sol à changer dans une autre classe pendant cette période. Les transitions potentielles présentées dans le tableau 3 sont relativement élevés pour les zones de forêt, de jachère et de savane arbustive, alors qu'elles sont relativement basses pour zone de sol nu, de coton et d'eau.

3.2 – Validation des cartes prédictives des scénarios

La phase prédictive comprend deux étapes. La première étape consiste à créer une carte prédictive pour année 2015 (Carte de 2015 simulée), pour laquelle nous avons une carte de référence (carte de 2015 observée) à comparer (Carte 2). La deuxième l'étape est spécifique à l'extension de la prévision jusqu'en 2030 (Carte 3).

Carte 2 : Cartes d'occupation du sol simulée et observée de



Quand on observe directement les deux cartes, on voit transparaître beaucoup de similitudes. Les taches vertes sont quasiment identiques. Les jachères et les savanes arbustives présentent quelques nuances mais ont un niveau de ressemblance acceptable.

Tableau 4 résume les principaux résultats de cette phase appliqué à la carte de référence (carte observée) et la carte simulée 2015.

Tableau 4 : Précision de la validation entre les cartes réelles et prédictives de 2015

Classes d'occupation du sol	Précision de producteur (%)	Précision de l'utilisateur (%)	Erreurs de commission (%)	Erreurs d'omission (%)
Anacarde	92.19	91.02	8.98	7.81
Coton	90.73	81.38	18.62	9.27
Eau	99.79	100	0	0.21
Forêt claire	82.46	94.59	5.14	17.54
Jachère	76.72	65.14	34.86	23.28
Savane arbustive	88.22	78.32	21.68	11.78
Sol nu	80.99	94.12	5.88	19.01
Précision globale (%)	90.33			
Coefficient de Kappa	0.8721			

La précision globale et le coefficient Kappa de la prédiction sont respectivement égale à 90.33% et à 0.87. Ce même tableau montre que la catégorie ayant la meilleure précision de producteur (producer's accuracy)

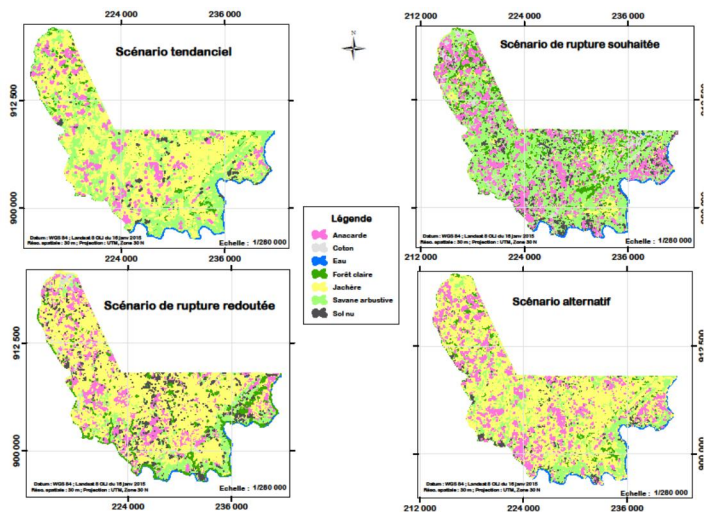
est celle de l'eau, avec 99.79%. L'anacarde, le coton et la savane arbustive affichent des précisions également élevées, respectivement 92.12%, 90.73% et 88.22%. Par contre, la classe forêt claire enregistre une précision inférieure de 83.00%.

En ce qui concerne la précision de l'utilisateur (user's accuracy), les classes d'occupation du sol de l'eau, de la forêt claire, du sol nu et du coton sont correctement prédites avec une précision respective de 100%, 94,59%, 94.12% et 81.38%. La classe jachère enregistre une faible précision de l'ordre de 66.14%.

En somme, les valeurs de précision consignées dans le tableau 4 montrent que la précision de la carte prédictive de l'occupation du sol de 2015 est assez élevée. Elles montrent que la précision globale et le coefficient Kappa de cette carte atteignent 90.33% et 0.87, respectivement ; ce qui rend le traitement acceptable et le modèle viable pour la prédiction. La catégorie qui a la plus hautes la précision est celle de l'eau avec 99,79%.

Sur la base de ces résultats, les cartes prédictives de 2030 ont été généré en fonction des scénarios élaborés (Carte 3).

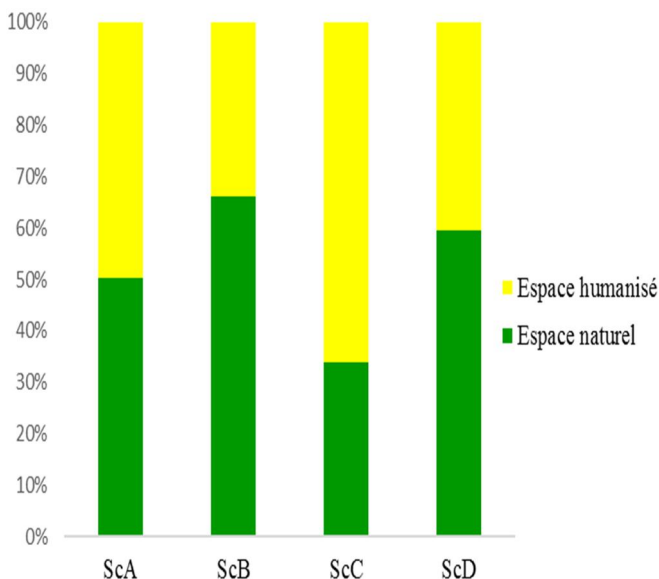
**Carte 3 : Changements futurs de l'occupation du sol de
2030 de la forêt
classée du Bandama blanc selon les quatre scénarios**



Les tendances générales extraites sont examinées à la lumière des différents scénarios possibles : Scénario A : scénario de référence – Scénario B : scénario normatif de rupture souhaitée – Scénario C : scénario normatif de rupture redoutée – Scénario D : scénario de durabilité environnementale ou scénario alternatif. Cette disposition comparative de la spatialisation des scénarios permet de faire des remarques objectives. Les portions vertes sont dominantes dans le scénario souhaité, elles disparaissent au profit des espaces anthropisés dans le scénario alternatif et de rupture redoutée lorsque la configuration est

aléatoire dans le tendanciel. Cette tendance spatiale peut se résumer dans la figure 2.

Figure 2 : Évolution des classes de l'occupation du sol selon les quatre scénarios en 2030



La figure 2, montre que la simulation prospective indique une baisse significative (30%) de l'espace naturel dans le scénario de rupture redoutée tandis qu'elle avoisine 70% dans le scénario de rupture souhaitée. Toutefois, les statistiques de l'évolution de l'occupation du sol au regard de l'état de conservation de cet espace protégé de 2015 par scénario (Tableau 5).

**Tableau 5 : Évolutions de la forêt classée du Bandama
blanc par
rapport à la situation en 2015 selon le scénario envisagé**

Occupatio n du sol	2015		Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
	Superfici e (Ha)	Proportio n (%)	Évolutio n (%)	Évolutio n (%)	Évolutio n (%)	Évolutio n (%)
Anacarde	2 341	8,13	1,34	-2,35	13,73	-0,19
Coton	403	1,4	0,6	-1,4	4,38	-1,4
Eau	156	0,54	0,01	0,08	0,10	0,12
Forêt claire	4 832	16,78	-6,57	2,23	-13,85	0,58
Jachère	8 190	28,44	6,32	-1,38	7,19	1,08
Savane arbustive	12 074	41,92	-2,36	4,56	-11,75	-0,42
Sol nu	804	2,79	0,66	-1,74	0,2	-0,07
Total	28 800	100	0	0	0	-0,3

Pour le scénario A – l’intensification de l’agriculture est traduite par l’accroissement des espaces de cultures : anacarde (+1.34%), coton (+0.6%) et sol nul (+0.66%) au détriment de la forêt claire et de la savane arbustive qui perdent respective (-6.57%) et (-2.36) de leurs superficies. Il est également noté une augmentation significative de la proportion (+6.32%) de la jachère dans ce scénario en 2030. Dans le scénario B – Gestion rigoureuse avec l’application stricte des textes – l’occupation du sol évolue nettement par rapport à 2015 avec une régression générale de toutes les activités liées à l’agriculture : anacarde (-2.35%), coton (-1.4%) et sol nu (-1.74%) au profit des espaces boisés [la savane arbustive (+4.56%) et la forêt claire (+2.23%)]. Il sera constaté une baisse de la zone des

jachères (-1.38%). Dans le scénario C – La forêt classée est laissée sans protection du fait de l'avènement d'une crise insurrectionnelle caractérisée par l'abandon de ladite forêt par les gestionnaires – l'occupation du sol est caractérisée par un recul remarquable des espaces naturels [forêt claire (-13.85%) et savane arbustive (-11.75%)]. Ce scénario projette une progression significative des espaces humanisés [anacarde (+13.73%), Coton (+4.38), Sol nu (+0.2%) et de la jachère (+7.19%)]. Dans le scénario D – Gestion durable de la forêt classée par les populations clandestines et les gestionnaires de cet espace protégé – l'occupation du sol est caractérisée par un recul des espaces de cultures [anacarde (-0.19%), coton (-1.4%) et sol nu (-0.07%)] ainsi qu'une diminution de la savane arbustive (-0.42%). Enfin, ce scénario prévoit une progression de la jachère (+1.08%) et de la forêt claire (+0.58%).

4 – Discussion

4.1 – Validation et calibration du modèle

La validation du modèle a été évaluée par un coefficient Kappa et une précision globale de la carte simulée estimée respectivement à 0.87 et 90.33%. Quant à la calibration, elle s'est appuyée sur la réalisation de la carte simulée de 2015 à partir des potentiels de transition entre 2002–2015 avec un taux de précision de 85%. Ces résultats sont bons quand on les compare à certains travaux validés. En effet, (V. T. NGHIEM *et al*, 2013, SC04-99) ont montré que la carte prédictive de 2010 générée à partir des cartes de

l'occupation du sol de 1975 et 1992 a une précision supérieure à 80% et un coefficient Kappa supérieur à 0.80 dans le bassin versant de l'Ain en France. Tandis que (V. T. NGHIEM, 2014, p.81) a montré que la précision globale et le coefficient Kappa de la carte prédictive de 2010 dépassent 89% et 0.88, respectivement dans la même zone d'étude. (B. J. F. BOUSSOUGOU, 2017, p.148) a évalué le taux de précision de la carte simulée de 2016 à 72 % et le coefficient de Kappa à plus de 0,70 dans ses travaux sur l'analyse prospective des dynamiques de l'occupation du sol des réserves forestières de Pugu et de Kazimzumbwi en Tanzani avec le modèle LCM. Ces données jugées acceptables permettent d'utiliser le modèle pour prédire les scénarios futurs.

4.2 – Spatialisation des scénarios

Les quatre scénarios prospectifs spatialisés ici tiennent compte du niveau d'infiltration clandestine de la forêt classée de Bandama blanc. D'une manière générale, la tendance de l'évolution des formations végétales dans cette étude est régressive tandis que celle des espaces humanisés est progressive. Dans le scénario de référence, les superficies des espaces anthropisés (cultures, jachères et sols nus) ont augmenté. L'augmentation de ces classes d'occupations du sol pourrait s'expliquer par l'augmentation de la population infiltrée dans cette aire protégée. Et la pratique culturelle de celle-ci étant basée sur une agriculture sur brûlis extensive, réduit les superficies de forêt claire et de savane arbustive. Ceci concorde bien

avec les travaux (T. AGBANOU *et al.*, 2018, p.259) menés dans la région soudanienne (au nord-ouest) du Bénin où ils ont montré que les surfaces des forêts et des savanes diminueront respectivement de 67.7% et de 48.75% à l'horizon 2030 par rapport à l'année de référence 2016. Le scénario de rupture souhaitée projette un gain de superficies des formations végétales au détriment des zones humanisées. Ces projections du couvert végétal de la forêt classée de Bandama blanc en 2030 sont conformes à celles de (C. DODANE *et al.*, 2014, p.16) mené dans le bassin versant de l'Yzeron, en périphérie lyonnaise (France) et qui expliquent le maintien global de la surface boisée, la limitation de la spéculation foncière et le durcissement de la législation sur les collinaires malgré l'augmentation de la population. Le scénario de rupture redoutée imagine la régression des formations végétales naturelles aux profits de l'espace anthropisé. Ces prévisions concordent avec celles de (V. J. MAMA, 2002, p.81) à l'horizon 2025 pour les communes de Savè, Ouèssè au Bénin. Il en est de même pour les prévisions de (J. OLOUKOÏ, 2013, p.13) dans le scénario catastrophe pour la même zone à l'horizon 2034. Le scénario de durabilité environnementale qui combine à la fois la préservation du couvert végétal et les activités agricoles des populations clandestines de la forêt classée de Bandama blanc responsabilise l'État dans son rôle de contrôle de la déforestation. Ceci est similaire au scénario de densification développé par (G. LAJOIE et A.

HAGEN-ZANKER, 2007, p.43) qui encourage la préservation des forêts et limite l'étalement urbain dans l'île de la Réunion à l'horizon 2030.

Conclusion

Le couvert végétal de la forêt classée de Bandama blanc a connu une dynamique spatiale importante entre 1991 et 2015. D'une manière générale, cette aire protégée a vu une réduction notable des formations végétales naturelles (forêt claire et savane arbustive) au profit des formations anthropisées (cultures, jachères et sols nus). La démarche prospective utilisée dans cette étude a permis de comprendre et de projeter le devenir de la forêt classée de Bandama blanc à l'horizon 2030. Le modèle de simulation prospective d'occupation du sol utilisé est le LCM implémenté dans le logiciel Idrisi. Il a permis de prédire les changements dans l'occupation du sol à partir de quatre scénarios prospectifs. La spatialisation des scénarios prospectifs présage un futur catastrophique pour la forêt classée de Bandama blanc notamment pour le scénario de rupture redoutée où les classes forêt claire et savane arbustive perdent respectivement 13.85% et 11.75% en faveur des espaces humanisés. Cependant, les résultats obtenus avec les scénarios de rupture souhaitée et de durabilité environnementale montrent que l'espoir est permis avec la volonté des pouvoirs publics. En effet, ces scénarios font observer un gain significatif des aires de forêt claire et de savane arbustive dans l'ordre respectif de 2.23% et 4.56%.

Bibliographiques

ANDERSON James R., HARDY ERNEST E, ROACH JOHN T., WITMER Richard E., 1976, A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, U.S, Geological Survey Professional Paper 964, *A revision of the land use classification system as presented in U.S. Geological Survey Circular 671*, p. 28.

AGBANOU Thierry, PAEGELOW Martin, TOKO Ismaïla, TENTE Brice, 2018, « Modélisation des changements d'occupation des terres en région soudanienne au nord-ouest du Bénin », European Scientific Journal April 2018, Édition Vol.14, No.12, pp.248-266.

AVENARD Jean Michel, 1971, « Aspects de la géomorphologie », in Avenard Jean-Michel, Eldin Michel, Girard Georges, Sircoulon Jacques, Touchebeuf De Lussigny Pierre, Guillaumet Jean-Louis, Adjanohoun Edmond, Perraud Alain, *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Paris, ORSTOM, (50), « Mémoires ORSTOM ; 50 », pp. 9-72.

BOUSSOUGOU Boussougou Guy Fidèle., 2017. Vulnérabilité des paysages forestiers en relation avec les activités humaines et la variabilité climatique en Tanzanie : analyse prospective des dynamiques de l'occupation du sol des réserves forestières de Pugu et de Kazimzumbwi. Thèse en Géographie, Université de la Réunion (France), 212p.

CORENA (Conservation des Ressources Naturelles), 2013, « Plan de l'AFD de conservation des ressources naturelles », C2D - Agir pour la sauvegarde des forêts, parcs et réserves, Consulté le 16 mars 2016 sur le site <http://www.afd.fr/>

DESCLÉES Baudouin, MAYAUX Philippe, HANSEN Matthew, AMANI Lola Patrick, SANNIER Christophe, MERTENS Benoît, HÄUSLER Thomas, NGAMABOU Siwe René, POILVÉ Hervé, GOND Valery, RAHM Mathieu, HAARPAINTNER Jörg, 2014, « Evolution du couvert forestier du niveau national au régional et moteurs de changement », in De Wasseie C. (ed.), Flynn J. (ed.), Louppe D. (ed.), Hiol Hiol F. (ed.), Mayaux P. (ed.) Les forêts du bassin du Congo : état des forêts 2013, Neufchâteau : Weyrich, 2014, p. 21-46. Consulté le 16/07/2016 sur <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010063864>.

DODANE Clément, JOLIVEAU Thierry, RIVIÈRE-HONEGGER Anne, 2014, « Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire », Cybergeo, Revue européenne de géographie, Article 689 <http://cybergeo.revues.org/26483>).

EASTMAN J. Ronald, 2009, IDRISI Taiga, Guide to GIS and Image Processing, Manual Version 16.02, Clark Labs Clark University 950 Main Street Worcester, MA ;01610-1477 USA, 325p.

EASTMAN, J. Ronald., 2012. IDRISI Selva Tutorial, Manuel Version 17, IDRISI Production, Clark Labs, Clark University, 354p.

ELDIN Michel, 1971, « Le climat », in Avenard Jean-Michel, ELDIN Michel, GIRARD Georges, Sircoulon Jacques, Touchebeuf De Lussigny Pierre, Guillaumet Jean-Louis, Adjanooun Edmond, Perraud Alain, *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Paris, ORSTOM, (50), « Mémoires ORSTOM ; 50 », pp. 73-152.

GUILLAUMET Jean-Louis et ADJANOOUN Edmond, 1971, « La végétation de la Côte d'Ivoire », in Avenard Jean-Michel, Eldin Michel, Girard Georges, Sircoulon Jacques, Touchebeuf De Lussigny Pierre, Guillaumet Jean-Louis, Adjanooun Edmond, Perraud Alain, *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Paris, ORSTOM, (50), « Mémoires ORSTOM ; 50 », pp. 161-263.

IBO Guéhi Jonas, 1991, « La politique coloniale de protection de la nature en Côte-d'Ivoire (1900-1958) », in Revue française d'histoire d'outre-mer, tome 80, n°298, 1er trimestre 1993, pp. 83-104.

KOUASSI Kouamé Julien., 2015, Les TIG dans la protection de la forêt classée de Bandama blanc en Côte d'Ivoire, Mémoire de Master 2 en Géographie, Université Alassane Ouattara (Bouaké), 145p.

LAUGINIE Francis, 2007, Conservation de la nature et des aires protégées en Côte d'Ivoire, CEDA/NEI/Hachette et Afrique Nature, Abidjan, 668p.

LAJOIE Gilles., HAGEN-ZANKER Alex, 2007, « La simulation de l'étalement urbain à La Réunion : apport de l'automate cellulaire pour la prospective territoriale », Cybergeog, Revue européenne de géographie, Article 405, (<http://www.cybergeog.eu>).

LUBAMBA Jean-Paul, 2014, « Evolution du couvert forestier du niveau national au régional et moteurs de changement », in De Wasseige Carlos (ed.), Flynn John (ed.), Louppe Dominique (ed.), Hiol Hiol François (ed.), Mayaux philippe (ed), Les forêts du bassin du Congo - État des forêts 2013, Neufchâteau, Weyrich, pp.21-46.

MAMA Vincent Joseph, 2002, An integrated approach for land-use/cover change analysis in a central region of Benin Republic. PhD Thesis, Geography, University of Lagos, Lagos, 221p.

NASI Robert, TABER Andrew, VAN VLIET Nathalie, 2011, « Empty Forests, Empty Stomachs? Bushmeat and Livelihoods in the Congo and Amazon Basins », International Forestry Review, Vol. 13, No. 3, Special Issue : Forests, Biodiversity and Food Security (2011), pp. 355-368.

NDOTAM Tatila Isaac., 2005, Gestion des aires protégées au Tchad : contraintes et perspectives pour une gestion

participative, Mémoire de DESS en Aménagement et Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Université de Kinshasa, 120 p.

NGHIEM Van Tuan, NEDJAI Rachid, LE Van-Anh and CHARLEUX Laure, 2013, Application of GIS and Remote Sensing for Predicting Land-use Change in the French Jura Mountains with the LCM model : The Impact of Variables on the Disturbance Model. *Proceeding of the 34th Asian Conference on Remote Sensing*–Bali, Indonesia. ISBN : 978-602-9439-33-5, p 2588-2595 (SC04-95 à SC04-102).

NGHIEM Van Tuan, 2014, Impact du changement du mode d'occupation des sols sur le fonctionnement hydrogéochimique des grands bassins versants : cas du bassin versant de l'Ain. Thèse de Géographie, Université de Grenoble (France), 307p.

N'GUESSAN Edouard, DIBI N'da Hyppolite, BELLAN Marie France, BLASCO François, 2006. « Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection ». *Télédétection*, 2006, Vol. 5, n°4, pp. 307-323.

OLOUKOI Joseph., 2013. « Scénario socio-économique et écologique des changements de l'occupation des terres au Bénin », *Vertigo* (en ligne), Vol.13 (1), mis en ligne le 16 avril 2013. URL : <http://vertigo.revues.org/13267>.

ROCHE Philip, 1998, « Dynamique de la biodiversité et action de l'homme ». Rapport ENV-SRAE – 94233, Paris, France. 6 pp.

ROCHE Stéphane, RAVELEAU Benoît, 2009, « Social Use and Adoption Models of GIS », In ROCHE Stéphane & CARON Claude (dir.), *Organizational Facets of GIS*, Toronto : Wiley-ISTE, p. 121-145.

TEWOLDE Mussie G., CABRAL Pedro., 2011, « Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea ». *Journal of Remote Sensing*, vol.3, pp.2148-2165.