

IMAGERIE SATELLITAIRE ET MODELISATION DU COUVERT FORESTIER : CAS DU MASSIF DE ZOZOUNKAN DANS LA ZONE DE TRANSITION ENTRE LE CRISTALLIN ET LE SEDIMENTAIRE AU BENIN

[SATELLITE IMAGING AND FOREST COVER MODELING : CASE OF ZOZOUNKAN MASSIVE IN THE TRANSITION ZONE BETWEEN CRYSTAL AND SEDIMENTARY SOIL IN BENIN]

SOHOU E.B.¹, OREKAN V.², HOUNDENOU C.³, BOKO M.⁴

⁽¹⁾PhD student. Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH / UAC

⁽²⁾Maitre Assistant (CAMES) Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale / FLASH / UAC

⁽³⁾Prof Titulaire (CAMES) Laboratoire de Climatologie Pierre Pagney / FLASH / UAC

⁽⁴⁾Prof Titulaire (CAMES), Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH / UAC

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

RESUME: Le massif de Zouzoukan est l'un des massifs forestiers du sud Bénin dont la gestion se fait de façon communautaire en pleine zone de transition entre le socle cristallin et le sol sédimentaire. La présente étude constitue une application de l'imagerie satellitaire et de la modélisation statistique à l'évaluation des états du couvert forestier de Zouzoukan de l'année 1990 à 2010. Il ressort l'existence d'une corrélation négative entre les sols dénudés et les formations végétales du massif de Zouzoukan (-0,74 pour les forêts claires et savanes boisées et -0,33 pour les savanes arborées et arbustives). Les mosaïques de cultures et jachères induisent une corrélation négative de -0,29 aux forêts claires et savanes boisées. L'érosion des sols entraîne à son tour une corrélation négative de -0,11 aux savanes arborées et arbustives. 2 fonctions linéaires d'état du massif ont été réalisées grâce à l'analyse factorielle sur la base de deux axes factoriels expliquant 100% de la variance. L'axe factoriel 1 se matérialise par une fonction linéaire $f(x) = 0,997 Se + 0,969 FcSb + 0,960 Ma - 0,865 Sd - 0,778 Shs - 0,521 Mcj$; où Se = Sols altérés par l'érosion ; FcSb = Forêt claire et savane boisée ; Ma = Marécages ; Sd = Sols dénudés ; Shs = Savane herbeuse et saxicole. L'axe factoriel 2 est matérialisé par $F(x) = 0,24 FcSb - 0,983 Saa + 0,854$; avec Saa = Savane arborée et arbustive. Du diagramme des composantes dans l'espace après rotation, on déduit que l'augmentation de 0,865 unités des Sols dénudés ou de 0,521 unités des mosaïques de cultures et jachères entraîne une dégradation de 0,969 unités des forêts claires et savanes boisées. Il urge des mesures de reboisement, d'aménagement antiérosif et de veilles forestières bien organisées pour la pérennité des agroécosystèmes du massif de Zouzoukan.

MOTS-CLEFS: Massif ; Zouzoukan ; imagerie satellitaire ; modélisation statistique ; corrélation négative.

ABSTRACT: Zouzoukan massive is one of southern Benin forests whose management is done communally in the transition zone between the crystalline basement and the sedimentary soil. The present study is an application of satellite imagery and statistical modeling to the assessment of Zouzoukan forest cover states since the year 1990 to 2010. It appears that there is a negative correlation between bare soil and vegetation massif Zouzoukan (-0.74 to clear forests and woodlands and -0.33 for tree and shrub savanna). The mosaics of crops and fallow induce a negative correlation of -0.29 to clear forests and woodlands. Soil erosion leads to turn a negative correlation of -0.11 with tree and shrub savannah. 2 linear state functions

were achieved through factor analysis on the basis of two factorial axes explaining 100% of the variance. The factorial axis 1 is materialized by a linear function $f(x) = 0,997 Se + 0,969 FcSb + 0,960 Ma - 0,865 Sd - 0,778 Shs - 0,521 Mcj$; where Se = Soils altered by erosion; fcsb = Clear forest and savanna woodland ; Ma = Wetlands ; Sd = bare floors ; Shs = Savanna Grassland ; Mcj = mosaics of crops and fallow. The factorial axis 2 is represented by $F(x) = 0,24 FcSb - 0,983 Saa + 0,854$; With Saa = tree and shrub Savannah. From the diagram of components in space after rotation, we deduce that the increase 0.865 units of bare floors or 0.521 units mosaics of crops and fallow causes a degradation of 0.969 units of woodland and savanna Woodland. Urgent mesures of reforestation, erosion control and forest eve well-organized are essential for the sustainability of massive Zouzoukan agroecosystems.

KEYWORDS: Massive ; Zouzoukan ; satellite imagery ; statistical modeling ; negative correlation.

Introduction

La déforestation, y compris le défrichement au profit de l'agriculture, est fréquemment le seul moyen d'existence offert aux agriculteurs qui vivent dans les zones forestières (Angelsen, 1999). L'hypothèse de l'irréversibilité du changement d'affectation de la terre correspond largement à la réalité de la déforestation tropicale actuelle, car la plupart des terres défrichées ne retournent pas à leur état boisé précédent (Kerr *et al.*, 2004; Vance et Geoghegan, 2002).

Pour la période 1976-1980, le taux de dégradation annuelle des forêts tropicales humides se chiffrait à environ 6,113 millions d'hectares (Lanly, 1982). La déforestation a ainsi entraîné la disparition ou la raréfaction d'un nombre important d'espèces végétales, parmi lesquelles figurent des plantes intéressantes, soit par leur rareté, soit par leur endémisme (Aké Assi et Dian Boni, 1990; Aké Assi, 1988, 1998).

Les enregistrements de données effectués dans le proche et le moyen infrarouge de l'imagerie satellitaire présentent un intérêt considérable pour des applications en région tropicale, en raison de la sensibilité de ces longueurs d'onde à la réflectance des couverts végétaux (Baret et Bruno, 1994).

Une autre possibilité de suivi à petite échelle consiste à utiliser les mosaïques d'images Landsat (WRI, 2006). Le présent travail constitue une application des imageries satellitaires et de la cartographie numérique à l'analyse spatiale du massif forestier de Zouzoukan.

Les figures ci-après (figure 1 et figure 2) présentent respectivement la couverture du Bénin en images Landsat et la localisation du massif de Zouzoukan au Bénin.

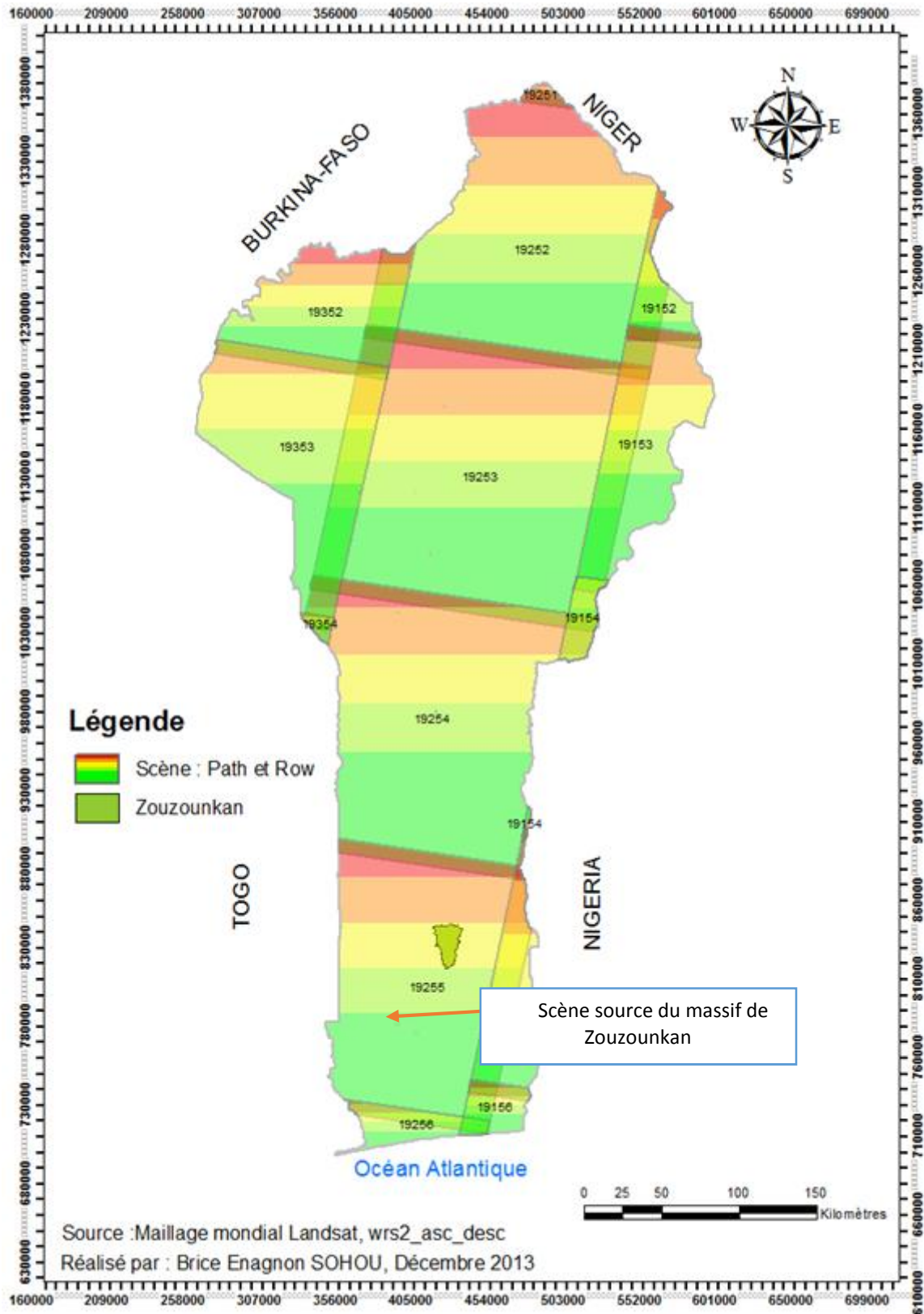


Figure 1 : Situation du massif de Zouzoukan dans les scènes Landsat du Bénin

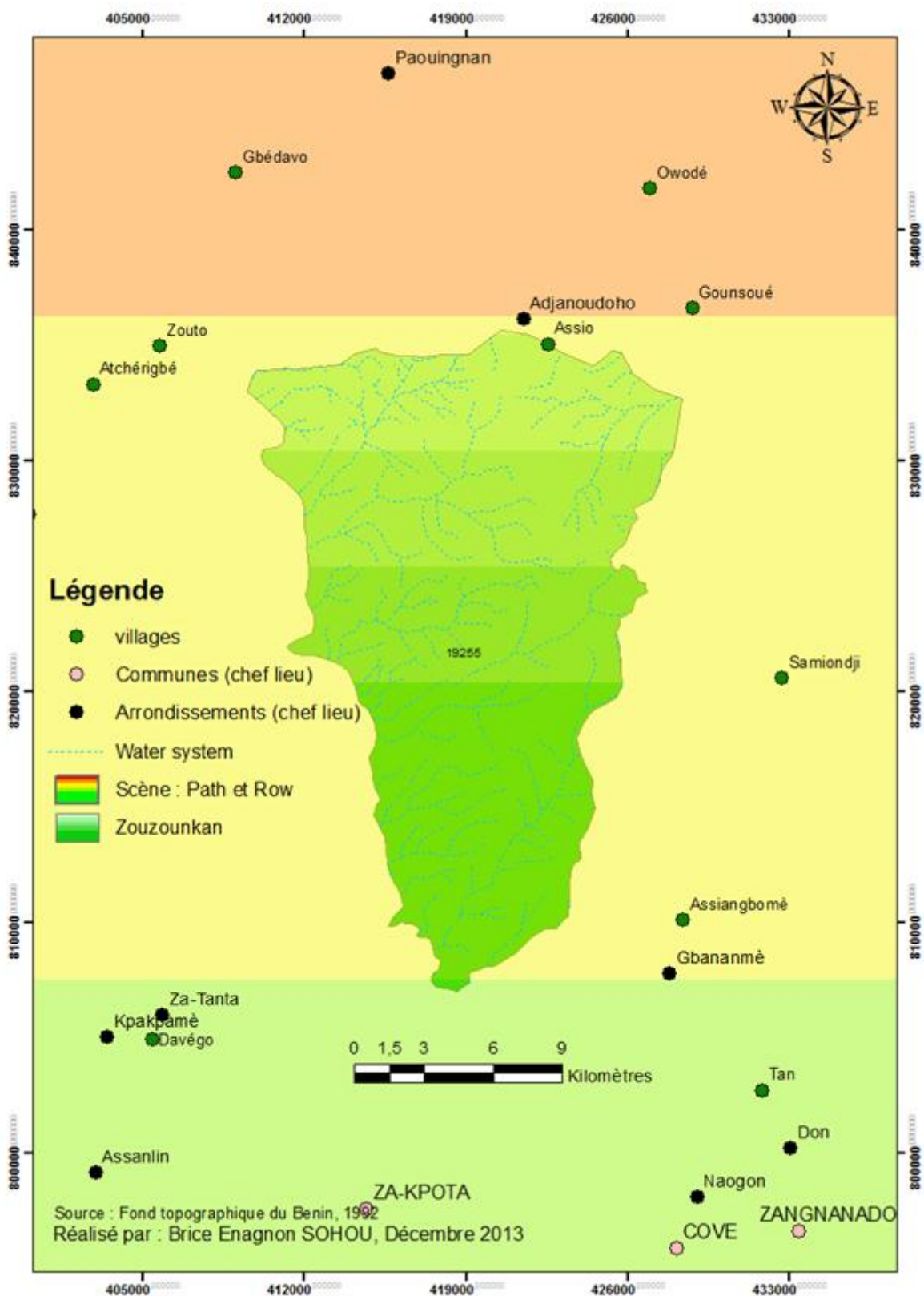


Figure 2 : Situation géographique du massif de Zouzoukan

Matériels

Le matériel utilisé pour ce travail est constitué des logiciels SPSS, ArcGIS 10.1, Envi 5, PCL Géomatica, Excel, Word, Qgis et Idrisi Selva et un ordinateur portable HP. Le Global Positioning System (GPS) Garmin a permis l'identification des points de contrôles. Les images satellites des bandes spectrales du visible et de l'infrarouge des satellites Landsat-5 et Landsat-7 (bandes 7-4-2), pour les années 1990, 2000 et 2010 ont été téléchargées à partir du site internet de l'United State Geological Survey (USGS) sur www.earthexplorer.usgs.gov et celui du Global Land Cover Facility (GLCF) sur <http://glcf.umd.edu/>. La période d'acquisition d'images est celle de la régénération de la végétation (début mai/fin juin).

Méthodes

L'application du traitement d'image est axée principalement sur la classification spectrale des images satellites Landsat suivant la combinaison des canaux 7-4-2. Les techniques d'interprétation visuelle assistées par l'ordinateur ont permis un bon décodage des images. Il s'en suit la classification assistée par maximum de vraisemblances. Les fichiers dbf relevant des vecteurs de classes ont été traités dans Excel, puis insérées dans la base de données de SPSS en vue d'une analyse factorielle des composantes principales. La procédure de réalisation se présente comme ci-après : au moyen de SPSS, en cliquant sur Analyse => Factorisation => Analyse Factorielle => Analyze => Data reduction => Factor, il apparaît alors la boîte de dialogue principale pour l'analyse factorielle en composantes principales. Sélectionner les variables à factoriser, cliquer sur la flèche située au centre pour les envoyer dans le rectangle au centre droit; Cliquer sur « Descriptives » pour choisir certaines statistiques, des matrices et des tests. Ensuite => Cliquer sur « Extraction » pour Sélectionner le type de méthode de factorisation. Dans le cas présent, conserver le défaut "Analyse en composantes principales" => sélectionner dans cette même boîte de dialogues les options « Matrice de corrélation », « Structure factorielle sans rotation » (Il est toujours possible de demander une rotation des données. Mais, ici, on ne modifie rien). Cliquer sur l'option "graphique des valeurs propres » afin de représenter graphiquement les différentes variables par rapport aux composantes qui seront extraites et calculées et enfin cliquer sur, « Valeurs propres supérieures à ». Cliquer sur « Rotation »: Dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, il est possible de demander la structure factorielle après rotation et le graphique des facteurs choisis. Cliquer sur « Facteur »: Ici, il est possible de sauvegarder les facteurs. Le bouton du bas permet de présenter la matrice des coefficients factoriels. Cliquer sur « Options » pour sélectionner des options de présentation, pour classer les variables les plus importantes et cacher celles qui n'expliquent pas les dimensions => Cliquer enfin sur « OK ».

Les résultats obtenus sont illustrés aux moyens des figures, tableaux et graphes ci-après.

Résultats

- Présentation des images satellitaires du secteur Zouzoukan

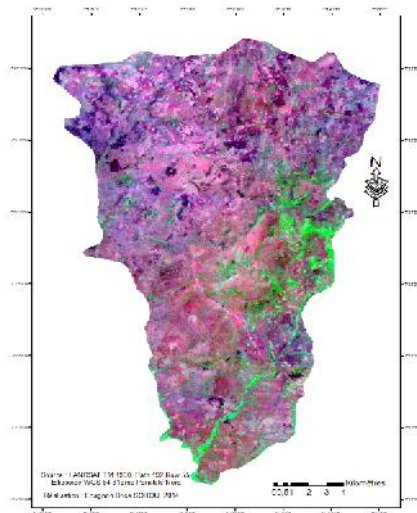


Figure 3 : Image satellitaire 1990 du massif de Zouzoukan

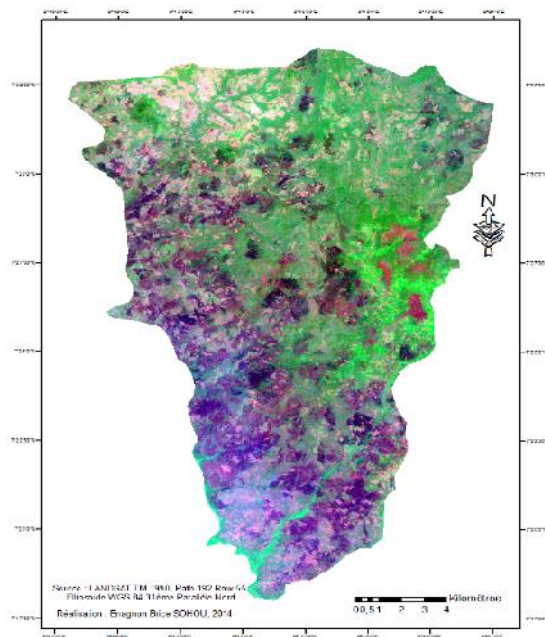


Figure 4 : Image satellitaire, année 2000 du massif de Zouzoukan

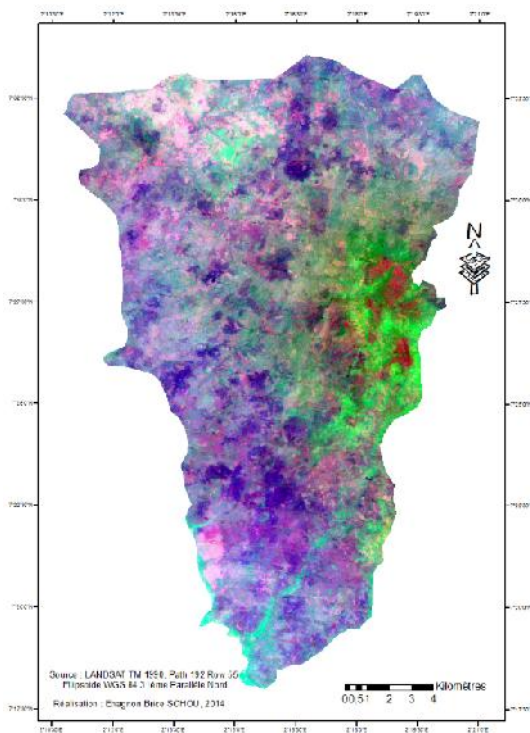


Figure 5 : Image satellitaire, année 2010 du massif de Zouzoukan

- Résultats d'analyses factorielles

Les tableaux ci-après présentent les résultats d'analyses factorielles.

Tableau I : Résultats de statistiques descriptives des aires (m^2) d'unités d'occupation de 1990 à 2010

	Moyenne des aires (ha)	Ecart-type des aires (ha)
Forêt claire et savane boisée (1990, 2000 et 2010)	6248,3523	1606,5702
Sols dénudés (1990, 2000 et 2010)	3003,6620	1602,8065
Marécages (1990, 2000 et 2010)	2599,7289	1458,1231
Sols altérés par l'érosion (1990, 2000 et 2010)	2897,6479	1209,9441
Savane arborée et arbustive (1990, 2000 et 2010)	5081,2079	2248,3219
Savane herbeuse et saxicole (1990, 2000 et 2010)	6731,9084	8867,955
Mosaïques de cultures et jachères (1990, 2000 et 2010)	5910,6367	2740,2424

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau II : Matrice de corrélation des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010 (après analyse factorielle)

		Forêt claire et savane boisée	Sols dénudés	Marécages	Sols altérés par l'érosion
Corrélation (1990, 2000 et 2010)	Forêt claire et savane boisée	1	-0,714	0,86	0,95
	Sols dénudés	-0,71	1	-.97	-0,90
	Marécages	0,86	-0,97	1	0,98
	Sols altérés par l'érosion	0,95	-0,90	0,98	1
	Savane arborée et arbustive	-0,42	-0,33	0,10	-0,11
	Savane herbeuse et saxicole	-0,60	0,99	-0,923	-0,82
	Mosaïques de cultures et jachères	-0,29	0,88	-0,74	-0,58

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau II (suite) : Matrice de corrélation des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010 (après analyse factorielle)

		Savane arborée et arbustive	Savane herbeuse et saxicole	Mosaïques de cultures et jachères
Corrélation (1990, 2000 et 2010)	Forêt claire et savane boisée	-0,42	-0,60	-0,29
	Sols dénudés	-0,33	0,99	0,88
	Marécages	0,10	-0,92	-0,74
	Sols altérés par l'érosion	-0,11	-0,82	-0,58
	Savane arborée et arbustive	1	-0,474	-0,74
	Savane herbeuse et saxicole	-0,47	1	0,94
	Mosaïques de cultures et jachères	-0,74	0,94	1

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau III : Variance totale expliquée des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010 (après analyse factorielle)

Composante	Variance totale expliquée				
	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus	
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance
1	5,14	73,42	73,42	5,14	73,42
2	1,86	26,58	100	1,86	26,58

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

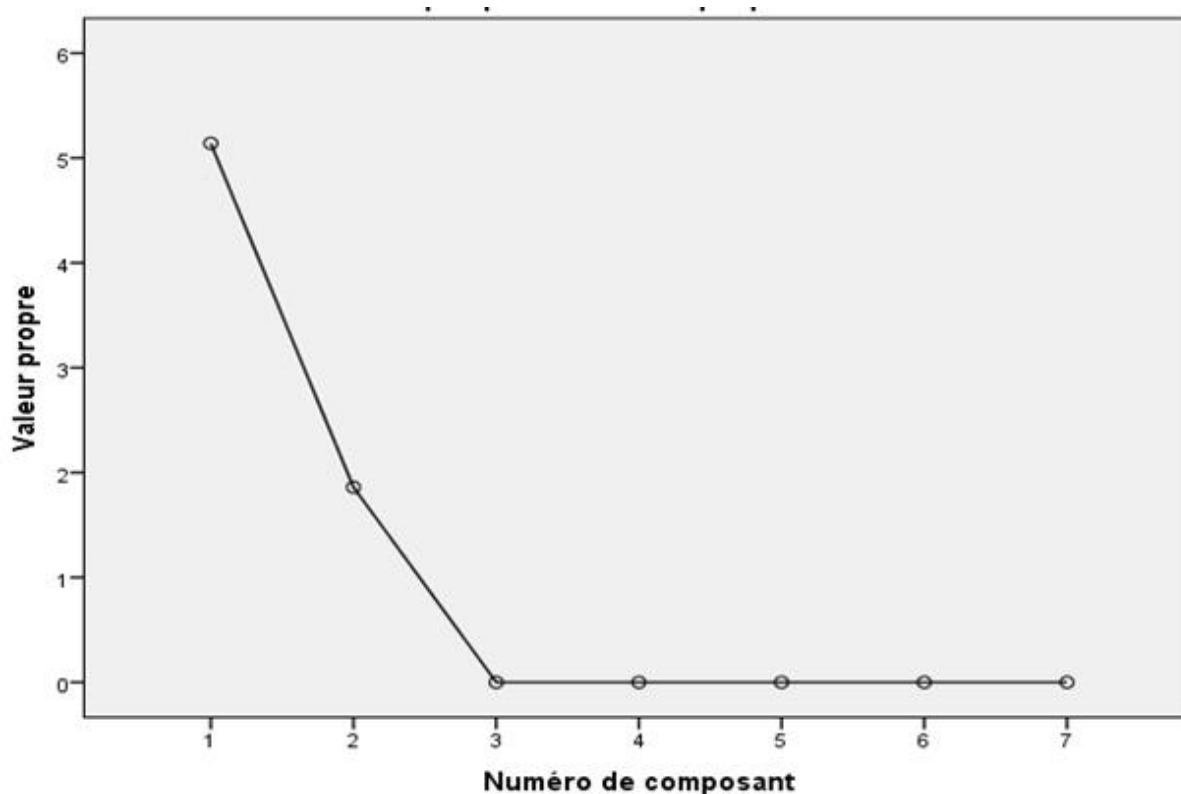


Figure 6 : Graphique des valeurs propres d'analyse factorielle

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau IV : Matrice des composantes d'analyse factorielle des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010

	Composante	
	1	2
Sols dénudés	-0,997	0,073
Marécages	0,986	0,167
Savane herbeuse et saxicole	-0,974	0,226
Sols altérés par l'érosion	0,929	0,370
Mosaïques de cultures et jachères	-0,841	0,540
Forêt claire et savane boisée	0,764	0,645
Savane arborée et arbustive	0,263	-0,965

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau V : Matrice des corrélations reproduites après analyses factorielles des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010

		Forêt claire et savane boisée	Sols dénudés	Marécages
Corrélation reproduite	Forêt claire et savane boisée	1 ^a	-0,714	0,861
	Sols dénudés	-0,714	1 ^a	-0,971
	Marécages	0,861	-0,971	1 ^a
	Sols altérés par l'érosion	0,948	-0,900	0,978
	Savane arborée et arbustive	-0,422	-0,333	0,098
	Savane herbeuse et saxicole	-0,599	0,988	-0,923
	Mosaïques de cultures et jachères	-0,294	0,879	-0,739

a. Qualité de représentation reproduite

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image**Tableau V (suite 1)** : Matrice des corrélations reproduites d'analyse factorielle des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010

		Mosaïques de cultures et jachères
Corrélation reproduite	Forêt claire et savane boisée	-0,294 ^a
	Sols dénudés	0,879
	Marécages	-0,739
	Sols altérés par l'érosion	-0,582
	Savane arborée et arbustive	-0,742
	Savane herbeuse et saxicole	0,942
	Mosaïques de cultures et jachères	1

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image**Tableau V (suite 2)** : Matrice des corrélations reproduites d'analyse factorielle des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010

		Sols altérés par l'érosion	Savane arborée et arbustive	Savane herbeuse et saxicole
Corrélation reproduite	Forêt claire et savane boisée	0,948 ^a	-0,422	-0,599
	Sols dénudés	-0,900	-0,333 ^a	0,988
	Marécages	0,978	0,098	-0,923 ^a
	Sols altérés par l'érosion	1	-0,113	-0,822
	Savane arborée et arbustive	-0,113	1	-0,474
	Savane herbeuse et saxicole	-0,822	-0,474	1
	Mosaïques de cultures et jachères	-0,582	-0,742	0,942

a. Qualité de représentation reproduite

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Tableau VI : Matrice des composantes après rotation d'analyse factorielle des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010

	Composante	
	Axe 1 (abscisses)	Axe 2 (ordonnés)
Sols altérés par l'érosion	0,997	-0,073
Forêt claire et savane boisée	0,969	0,247
Marécages	0,960	-0,280
Sols dénudés	-0,865	0,501
Savane herbeuse et saxicole	-0,778	0,628
Savane arborée et arbustive	-0,185	-0,983
Mosaïques de cultures et jachères	-0,521	0,854

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

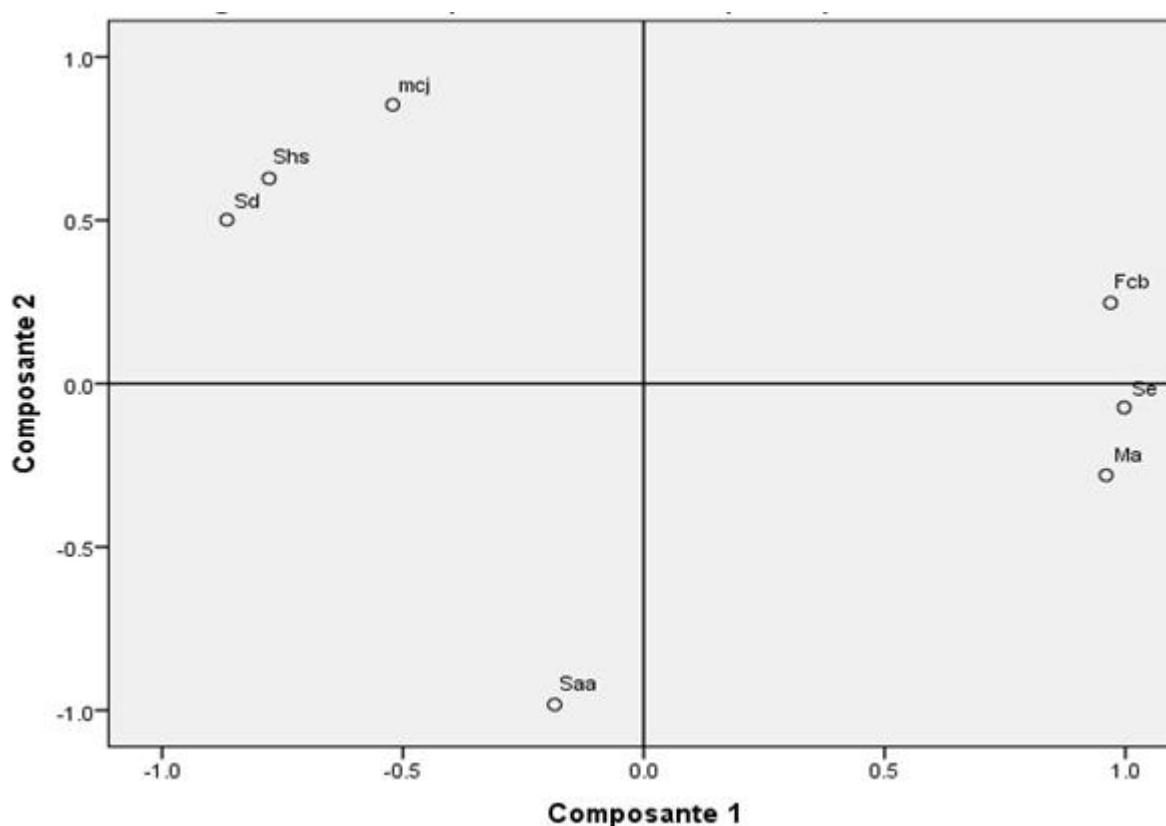


Figure 7 : Diagramme dans l'espace après rotation des composantes principales des unités d'occupation de 1990 à 2010

Source : Analyse factorielle des aires d'unité d'occupation après traitement d'image

Légende : Saa = Savane arborée et arbustive ; Ma = Marécages ; Se = Sols altérés par l'érosion ; Sd = Sols dénudés ; Fcb = Forêt claire et savane boisée ; Savane herbeuse et saxicole = Shs ; mcj = Mosaïques de cultures et jachères.

Discussion des résultats

La matrice de corrélation des aires d'unités d'occupation de 1990 à 2010 révèle qu'il existe une corrélation négative entre les sols dénudés et les formations végétales du massif de Zouzoukan (-0,74 pour les forêts claires et savanes boisées et -0,33 pour les savanes arborées et arbustives). Les mosaïques de cultures et jachères induisent une corrélation négative de -0,29 avec les forêts claires et savanes boisées. L'érosion des sols entraîne à son tour une corrélation négative de -0,11 avec les savanes arborées et arbustives. 2 axes factoriels (axe 1 et axe 2) estiment 100% des variances d'analyse factorielle. L'axe 1

représenté par la composante 1 dans la matrice des composantes au tableau 4, estime 73,42 % de cette variance et représente au mieux les sols dénudés (0,997), les marécages (0,986), les savanes herbeuses et saxicoles (-0,841), les sols érodés (0,929), les mosaïques de cultures et jachères (-0,841) et les forêts claires et savanes boisées (0,764). L'axe 2, représenté par la composante 2 détient 26,58% de la variance totale exprimée et représente au mieux les savanes arborées et arbustives (-0,965). L'axe factoriel 1 est matérialisé par une fonction linéaire $f(x) = 0,997 Se + 0,969 FcSb + 0,960 Ma - 0,865 Sd - 0,778 Shs - 0,521 Mcj$; où Se = Sols altérés par l'érosion ; FcSb = Forêt claire et savane boisée ; Ma = Marécages ; Sd = Sols dénudés ; Shs = Savane herbeuse et saxicole. L'axe factoriel 2 est matérialisé par $F(x) = 0,24 FcSb - 0,983 Saa + 0,854 Mcj$ avec Saa = Savane arborée et arbustive. Du diagramme des composantes dans l'espace après rotation, on déduit que les mosaïques de cultures et jachères et le dénuement des sols constituent des facteurs régressifs et de dégradation des forêts claires et savanes boisées. En effet, l'augmentation de 0,865 unités des Sols dénudés ou de 0,521 unités des mosaïques de cultures et jachères entraîne une dégradation de 0,969 unités des forêts claires et savanes boisées.

Conclusion

La présente étude a permis non seulement de traiter les images satellitaires LANDSAT du massif de Zouzoukan et de les décoder, mais aussi de comprendre la dynamique spatiale et temporelle des unités d'occupations, de même que leurs contraintes sur le paysage grâce aux analyses factorielles. Il ressort de cette investigation spatiale que la dégradation des forêts claires et savanes boisées est liée aux pressions anthropiques par déboisement intense (ce qui entraîne le dénuement des sols), et à l'intensification des mosaïques de cultures et jachères. Il urge des mesures de reboisement, d'aménagement, et de gestion des ressources forestières en vue d'une bonne préservation des écosystèmes pour le bien-être des générations présentes et futures.

Bibliographie

1. Angelsen, A. (1999). Agricultural expansion and deforestation : modelling the impact of population, market forces and property rights. *Journal of Development Economics*, 58: 185–218.
2. Kerr, S., Pfaff, A.S.P. et Sanchez, A. (2002). The dynamic of deforestation: evidence from Costa Rica. Wellington, Nouvelle-Zélande, Motu Economic and Public Policy Research.
3. Lanly, J. P. (1982). Les ressources forestières tropicales. FAO, Rome, 113p.
4. Aké Assi, L. et Dian, B. (1990). Développement agricole et protection de la forêt : quel avenir pour la forêt ivoirienne ? *Mitt. Inst. All. Bot. Hamburg. Band 23a*, p. 169-176.
5. Aké Assi, L. (1988). Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 25, p. 461-463.
6. Aké Assi, L. (1998). Impact de l'exploitation forestière et du développement agricole sur la conservation de la diversité biologique en Côte d'Ivoire. *Le flamboyant* N° 48 Déc., p. 20-21.
7. Baret F., Bruno A. (1994). Intérêt du moyen infrarouge réflectif pour caractériser la végétation. In *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, n° 136, p.p. 8-22.
8. World Resources Institute. (2006). Human pressure on the Brazilian Amazon forests. WRI Report, 86 p.