Télédétection, 2006, vol. 6, n° 4, p. 305-323
© 2006 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions Scientifiques GB*

MODÉLISATION DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LE DÉPARTEMENT DES COLLINES AU BÉNIN

Joseph OLOUKOI[1], Vincent Joseph MAMA[2] et Fulbert Bernadin AGBO[3]

[1] *Regional Center For Training in Aerospace Surveys (RECTAS), PMB 5545, Ile-Ife, Nigeria ; téléphone +234 08058023924; courriel : chabijos@yahoo.fr*

[2] *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 06 B.P. 1105, Cotonou, Bénin ; téléphone : +229 334239 ; courriel : mamvincent@yahoo.com*

[3] *Regional Center For Training in Aerospace Surveys (RECTAS), PMB 5545, Ile-Ife, Nigeria ; téléphone : +234 08034885920 ; courriel : agboful@yahoo.com*

Soumis le 2 octobre 2006 ; révisé le 19 décembre 2006 ; accepté le 28 janvier 2007

La présente étude vise entre autres objectifs à évaluer les mutations spatio-temporelles que connaît actuellement le département des Collines en République du Bénin, à la suite des pratiques diverses observées en matière d'exploitation des ressources. Des travaux réalisés sur la dynamique de l'occupation des terres, entre 1978 et 1998, révèlent que la superficie des unités des différentes catégories d'occupation des terres est demeurée stable sur seulement 22,3 % du territoire étudié, alors qu'elle a regressé sur 59,4 % du territoire et augmenté sur 18,3 % du territoire, d'où des espaces en progression.

La modélisation de la dynamique de l'occupation des terres par la matrice de transition montre, qu'entre 1978 et 1998, les catégories en régression concernent les formations végétales denses, notamment les forêts galeries et les forêts claires ainsi que les savanes boisées et qu'elles ont habituellement évolué vers les champs et les jachères. Les facteurs de conversion, c'est-à-dire les quantités de changements observés, d'une catégorie d'occupation des terres à une autre entre les deux dates, sont supérieurs à 60 % dans la plupart des cellules évaluées, en dehors des agglomérations et des savanes saxicoles. Les simulations, faites sur la base des probabilités pour qu'une cellule i se convertisse en une autre cellule j, révèlent que la probabilité pour qu'une cellule d'occupation des terres soit transformée en champ ou en jachère dans la région de Dassa et ses environs est forte et varie entre 30 et 53 %, exception faite des agglomérations et des savanes saxicoles. Les projections réalisées vers un horizon de 2010 et de 2020 révèlent, qu'à l'avenir, pendant que les agglomérations, les champs et les jachères s'étendront, les forêts claires et les savanes boisées, de même que les forêts galeries et les savanes à emprise agricole seront en nette régression.

***Mots clés** : Occupation des terres, étude multidate, modélisation, matrice de transition*

MODELLING LAND COVER DYNAMICS IN THE DEPARTMENT OF COLLINES IN BENIN

One of the objectives of the study is to assess spatio-temporal dynamics in the Department of Collines in the Republic of Benin resulting from various practices observed in terms of resource exploitation. Previous work carried out on the dynamics of the land cover, between 1978 and 1998, reveal that the area of the different land cover classes has remained stable over only 22.3 % of the study area, while 59.4 % has actually regressed or increased over 18.3 % of the area between the two dates. Areas in regression concern mainly woody savannah and the gallery forest strata.

Modelling of land use and land cover changes, using the transition matrix, reveals that most land use and land cover units have changed extensively toward crops and fallows in 1998. Conversion factors, i.e. the number of changes observed from one land cover class to another between the two dates are higher than 60 % in most of the cells evaluated, excluding agglomerations and saxocolous savannahs. Simulations carried out on the basis of probabilities for a unit i to be converted to another unit j reveals that the probability for a land cover unit to be transformed into cropland and fallow in the Dassa region and vicinity is high and varies from 30 to 53 %, except for agglomerations and saxocolous savanahs. Projections for the 2010 and 2020 horizon show that in the future, while agglomerations, cropland and fallows will spread, forested areas as well as savannahs will decrease strongly.

Key words: Land use land cover, Dynamics, Modelling, Transition matrix

1. INTRODUCTION

La dynamique de l'occupation des terres est l'évolution dans le temps et dans l'espace des catégories de cette occupation, soit vers un stade d'extrême dégradation ou soit vers un état d'équilibre plus ou moins stable (Adjinda et Hounton, 1997) : elle rend donc compte de l'ensemble des variabilités spatio-temporelles.

Les approches d'étude de la dynamique de l'occupation des terres varient en fonction des disciplines scientifiques et des échelles spatiales

d'analyse (Verburg, 2000). Les chercheurs des sciences sociales utilisent des approches essentiellement descriptives. À une échelle spatiale plus grande, les géographes et les écologistes étudient les changements intervenus dans l'occupation des terres à partir des observations directes en se servant des techniques de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) (Lambin *et al.*,1999). À l'aide de ces techniques, ces spécialistes évaluent la dynamique de l'occupation des terres à l'aide d'une étude multidate. Dans la plupart des études générales, on a intégré cette approche d'évaluation de la dynamique de l'occupation des terres en l'appuyant, avec une enquête socio-économique, sur les facteurs explicatifs des changements observés. En utilisant cette approche, Tchibozo (1981) a montré que la dynamique du milieu est très liée à l'interaction des facteurs climatiques, tels que la température, l'humidité relative et le vent. Nombre de géographes physiques appuient cette conception des facteurs explicatifs de la dynamique du milieu, dont Tchamié et Bouraïma (1997), qui soulignent que la répartition des formations végétales est non seulement liée aux facteurs climatiques mais également à la nature des sols et à la topographie. Par contre, d'autres réservent une part considérable d'explication des changements aux activités humaines.

Au Bénin, en dehors des auteurs précédemment cités, Codjia et Gnagna (1993) ont abordé l'impact de la pression humaine sur la dynamique des paysages végétaux de la forêt classée de Touï-Kilibo, au centre du pays. Ils ont constaté que la superficie des formations denses diminue au profit de celle des formations claires, des jachères et des espaces cultivés. Précédemment, non loin de cette forêt, Borgui et Leffi (1992) ont analysé les différentes causes et les processus de dégradation de l'environnement sur le versant ouest de l'Okpara. Dans une approche qui intègre l'analyse diachronique et celle de la diversité floristique des ligneux, Tente (2000) a étudié la dynamique de l'occupation des terres dans le massif de l'Atacora. Il a abouti à une description des formations végétales actuelles, tout en évoquant la dégradation des formations ligneuses, et il a mentionné que « *si la dégradation de ces formations augmente avec la même vitesse, elle pourra être irréversible et une grande partie des espèces disparaîtra* ». Le département des Collines, devenu un lieu d'accueil de beaucoup de colons agricoles, est actuellement en proie à des pratiques culturales et à des formes d'utilisation des ressources végétales et animales peu respectueuses de l'environnement. Un des signes inquiétants de cette situation est la raréfaction des terres fertiles que les paysans cherchent de plus en plus dans les zones basses hydromorphes, notamment les bas-fonds, autrefois considérés comme des lieux sacrés reservés au culte traditionnel.

Plusieurs approches de modélisation de la dynamique de l'occupation des terres ont été développées ces dernières années. D'après Verburg (2000), les modèles de dynamique d'occupation des terres exigent assez d'informations sur la relation entre l'occupation des terres et les facteurs socio-économiques et biophysiques. Les techniques de modélisation diffèrent en fonction des objectifs et du cadre de l'étude. Certains modèles sont développés pour simuler et explorer l'occupation actuelle des terres, alors que d'autres s'intéressent aux changements possibles dans le futur. Pour le dernier cas, le modèle CLUE (*Conversion of land use and its effects*), qui est un modèle de la dynamique de l'occupation des terres utilisé au Costa Rica pour simuler les changements, est une référence (Veldkamp and Fresco, 1996).

Dans le cadre de la description et de la compréhension des changements qui s'opèrent dans le paysage, il existe différentes techniques d'analyse de la dynamique du paysage. Parmi ces techniques figurent :

- l'étude statistique de l'évolution dans le temps et dans l'espace des indicateurs de la structure du paysage, tels que le nombre d'unités fonctionnelles, la taille moyenne des unités fonctionnelles, la longueur des lisières par unité de surface, l'indice de diversité, l'indice de répartition (Turner and Rusher, 1988) ;
- la modélisation de la dynamique spatiale à l'aide des automates cellulaires et basée sur les processus de Markov (Finn, 1985) ou sur le principe de la cohérence de voisinage (Langlois et Phipps, 1997) ; en effet, à l'origine, l'automate cellulaire a été défini comme étant l'interconnexion dans un espace donné d'un ensemble d'automates à nombre fini d'états ; récemment, Ferber (1997) a considéré les automates cellulaires comme des systèmes multi-agents particuliers, où les cellules-agents sont des éléments surfaciques contigus et fixes ; en géographie, on a plutôt adopté l'approche de l'organisation spatiale bidimensionnelle des cellules à travers un système en mailles topologiques (régulier ou irrégulier) constituant une partition dans un espace donné ; dans cette optique, l'organisation des cellules est définie par les liens de voisinage entre mailles et elle est appelée aussi topologie (Dubos-Paillard *et al.*, 2003) ; bien que les automates cellulaires n'aient pas été utilisés comme outil principal d'analyse dans le cadre de cette étude, leur principe général de simulation a servi de cadre, auquel nous nous sommes référés pour appréhender les changements entre les cellules d'occupation des terres ;
- la modélisation des changements à l'aide des matrices de transition, renseignant sur les changements d'une catégorie i d'occupation des terres à une catégorie j, réalisée sur une certaine période de temps (Bell, 1974 ; Turner, 1988) ; cette technique a été adoptée comme principal outil d'analyse dans le cadre de cette étude en combinaison avec la matrice des probabilités ; par ailleurs, un recours a été fait au principe général de

simulation spatiale sur les automates cellulaires simples.

Au Bénin, la modélisation de la dynamique de l'occupation des terres demeure un aspect très peu abordé dans la plupart des études, particulièrement dans le département des Collines. En effet, en dehors de Mama *et al.* (2002) qui, dans une approche intégrée de l'étude de la dynamique de l'occupation des terres au nord du département des Collines, ont utilisé les modèles de régression multiple pour faire des projections et des simulations, les études dans ce domaine sont encore rares ou en sont à leurs débuts. De l'analyse de la bibliographie existante, il ressort que la dynamique de l'occupation des terres et, surtout, sa modélisation, restent des domaines à explorer dans les travaux de recherche au Bénin.

Le présent article vise, de façon globale, à évaluer la dynamique de l'occupation des terres dans le département des Collines. De façon spécifique, il vise à :

- analyser la dynamique spatio-temporelle intervenue dans l'occupation des terres et les tendances évolutives ;
- modéliser les changements intervenus sur l'occupation des terres ;
- procéder à des simulations et projections sur l'évolution de l'occupation des terres ;

2. SECTEUR D'ÉTUDE

2.1. Situation géographique

Le département des Collines, au Bénin, est situé entre les 7°27' et 8°46' de latitude nord et entre 1°39' et 2°44' de longitude est. Il regroupe les communes de Savè, Ouèssè, Dassa, Glazoué, Savalou et Bantè (figure1) et couvre une superficie d'environ 13 900 km^2 , soit une proportion de plus de 12 % du territoire national.

2.2. Milieu physique

Le secteur d'étude fait partie intégrante de la pénéplaine cristalline située sur le socle granito-gneissique du centre du pays, qui est contigu au bassin sédimentaire côtier du Bas-Bénin. Trois grandes unités géologiques dominent le milieu d'étude. Il s'agit des gneiss migmatites, des grès et siltites ainsi que des gneiss oeillés à biotite et des amphiboles. En dehors de ces trois grandes unités, les autres formations sont constituées de blastomylonites, de granites alcalins, de granites à biotites et de rhyolites alcalines (OBRGM, 1995).

Du point de vue géomorphologique, la pénéplaine est dans l'ensemble inclinée du nord au sud, avec une altitude moyenne variant entre 170 m au nord et 60 m au sud. On y retrouve une série d'inselbergs à flancs pentus, notamment ceux de Savè, de Fita, de Dassa-Zoumè et de Minifi. Les points culminants du relief se situent à 465 m sur le chaînon granitique de Dassa-Zoumè, à 520 m sur la colline de Savalou et à environ 400 m sur celle de Savè (Okioh**,** 1972 ; Dubroeucq, 1977).

Comme région de transition entre le climat guinéen et le climat soudanien (Boko, 1988 ; Bokonon-Ganta, 1987 ; Afouda, 1990), le site d'étude présente un régime pluviométrique à cheval sur celui de la distribution bimodale du sud et celui de la distribution unimodale du nord. La pluviométrie annuelle oscille entre 900 mm et 1 200 mm. Elle est en moyenne de 1 150 mm, mais avec des variations atteignant parfois 50 %. L'évapotranspiration annuelle moyenne est de l'ordre de 1 600 mm. Les lignes isohyètes sont réparties de façon concentrique, délimitant des poches plus sèches (1 000 mm à Toui) et des poches plus humides (1 200 mm à Dassa-Zoumé). Dans l'ensemble, il ressort que l'ouest est plus sec que l'est, qui se trouve être le secteur où les collines sont beaucoup plus concentrées. L'amplitude thermique journalière est globalement de 8,5 °C, mais elle atteint par moments 10 °C au nord de la commune de Savè (Afouda, 1990).

La végétation naturelle était jadis constituée de forêts denses sèches, de forêts claires et de savanes boisées. De nos jours, avec l'effet de la pression démographique, le paysage végétal reste dominé par une mosaïque de cultures et de jachères ainsi que de savanes arborées et arbustives. On trouve les forêts galeries le long des axes de drainage, les forêts claires et les savanes boisées sur les vertisols ainsi que les savanes saxicoles sur les collines. Malgré la régression sans cesse croissante de ces formations du fait des déboisements intenses, on enregistre encore quelques essences dominant le paysage telles que : *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Anogeissus leiocarpus*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus* et *Vitex doniana.*

Une diversité de sols existe dans le secteur d'étude. Les plus importants sont les sols ferrugineux tropicaux et les sols hydromorphes. Les sols ferrugineux sont argilo-sableux, gravillonnaires et se localisent sur les ondulations et sur les glacis des massifs rocheux. Quant aux sols hydromorphes, ils sont argileux, épais et noirs, et se localisent en bordure des vallées et dans les dépressions.

Sur le plan hydrographique, le département des Collines possède des cours d'eau à régime essentiellement tropical, avec une seule période de crue d'août à octobre. Le fleuve Ouémé est le principal cours d'eau et il reçoit la Beffa et le Zou, à l'ouest, et l'Okpara, à l'est. À ces principaux cours d'eau, il faut ajouter les grandes rivières telles que : l'Agbado, la Toumi, etc.

2.3. Milieu humain

Estimée à 340 284 habitants, en 1992, lors du deuxième recensement général de la population et de l'habitation (RGPH2), la population du département des Collines compte aujourd'hui 535 923 habitants (INSAE, 2003), soit un taux annuel d'accroissement intercensitaire de 4,7 %, contre 3,3 % pour le territoire national. Avec un poids démographique de 8 %, le département des Collines est le septième département le plus peuplé au Bénin. La densité moyenne est de 38 habitants/km^2 en 2002, contre 24,4 en 1992. La population active représente 45 % de la population totale, avec une légère prédominance du sexe féminin (52 %). Les communes de Dassa-Zoumé et de Glazoué, où a été choisi l'échantillon ayant servi aux analyses pour cette étude, comptaient, en 1992, une population de 123 470 habitants et, en 2002, de 184 442 habitants, soit respectivement 36 % et 34 % de la population du département. Cette population est répartie sur une superficie de 3 475 km^2. En 2002, ces deux communes affichent les densités les plus élevées du département, soit 55 habitants/km^2 pour la commune de Dassa-Zoumé et 51 habitants/km^2 pour Glazoué, ce qui les met largement au-dessus de la moyenne départementale (tableau 1).

Le milieu est principalement peuplé par les ethnies Yoruba et Fons ainsi que les ethnies apparentées, qui se trouvent être les plus anciens occupants, et ensuite par des ethnies minoritaires comme les Adja, les Bariba, les Dendi, les Yom, etc. Venus dans le milieu à la suite des migrations rurales successives observées ces dernières années, ces colons agricoles sont à la recherche des terres fertiles pour l'agriculture.

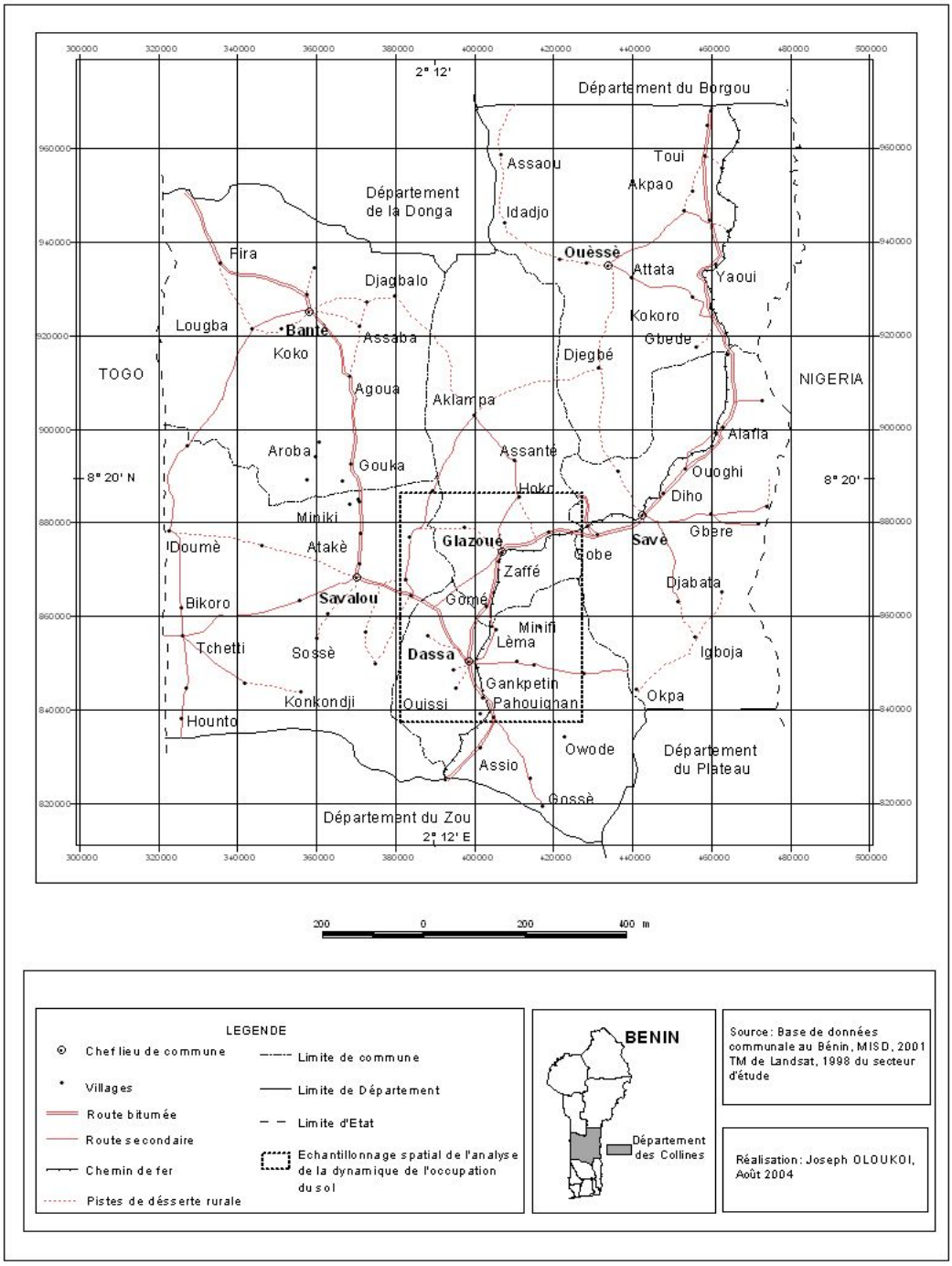


Figure 1 : Carte de localisation géographique du département des Collines.

Geographic location map of the department of Collines

Tableau 1 : Population et densité par communes dans le département des Collines

Population and density per district in the department of Collines

Communes	Population		Superficie (km^2)	Densité (hab./km^2)	
	1992	2002		1992	2002
Bantè	46 699	82 129	2 675	17,5	31
Dassa-Zoumè	64 065	93 967	1 711	37,4	55
Glazoué	59 405	90 475	1 764	44,0	51
Ouèssè	52 071	96 850	2 879	18,1	34
Savalou	72 641	104 749	2 674	27,2	39
Savè	45 403	67 753	2 228	20,4	30
Total	**340 284**	**535 923**	**13 931**	**24,4**	**38**

Source : Données fournies par l'Institut national de la statistique et de l'analyse économique (INSAE)

Tableau 2 : Classification des strates de l'occupation des terres

Land cover classification

Code	1er niveau de classification	Code	2^{e} niveau de classification
1	Forêt dense	1.1	Forêt galerie
		1.2	Forêt dense sèche
2	Forêt claire	2.0	Forêt claire et savane boisée
3	Savanes	3.1	Savane arborée arbustive
		3.2	Savane saxicole
		3.3	Savane à emprise agricole
4	Espace agricole	4.1	Champs et jachères
		4.2	Plantation
5	Agglomération	5.0	Agglomération
6	Hydrographie	6.1	Cours d'eau principal (permanent)
		6.2	Cours d'eau secondaire (temporaire)
		6.3	Plan d'eau
7	Voie de communication	7.1	Route principale
		7.2	Route secondaire
		7.3	Voie ferrée

Source : Mama et Oloukoi (2003)

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche utilisée découle d'une approche transversale qui est à la fois analytique et diachronique. Cette démarche comporte les éléments suivants : la spécification de l'échelle spatiale d'analyse, la recherche documentaire, le traitement et l'analyse cartographique ainsi que la modélisation.

3.1. Spécification de l'échelle spatiale d'analyse

On s'est intéressé à un secteur commun à trois communes du département, notamment les communes de Dassa, de Savalou et de Glazoué. Ce secteur est compris entre 7°36' et 8° de latitude nord, et entre 2° et 2°18' de longitude est. Il couvre une superficie de 1 720 km^2, soit une proportion de 12,4 % du département (figure 1).

3.2. Recherche documentaire

La recherche documentaire a été une activité transversale durant toute l'étude et elle a été faite dans les centres de documentation et les laboratoires, dont les plus importants sont la Bibliothèque centrale de l'Université d'Abomey-Calavi, le Laboratoire de biogéographie et d'expertise environnementale, le Centre national de télédétection et de surveillance du couvert forestier, l'Unité nationale de

coordination du Consortium bas-fonds et l'Institut national de la statistique et de l'analyse économique. Dans ces différents centres, ont été consultés des documents planimétriques et quelques statistiques socio-économiques du secteur.

Les documents cartographiques existants relatifs à la région sont :

- les cartes élaborées par l'Institut géographique national (IGN) et par le Consortium bas-fonds portant, entre autres, sur le réseau hydrographique, l'implantation humaine et la localisation de certains bas-fonds ;
- les cartes topographiques au 1/200 000 éditées par IGN France, soit les feuilles Zagnanado (NB-31-XXI) et Abomey (NB-31-XX-XXI), qui ont servi à l'élaboration d'un fond topographique ;
- les cartes des unités géomorphologiques et du drainage au 1/50 000 (feuilles de Gomé et de Paouignan) réalisées par Houndagba *et al.* (1998) ; ces cartes ont été réalisées à partir des photographies aériennes de 1982 et des levés sur le terrain et elles ont constitué également des documents de référence.

3.3. Traitement et analyse cartographique

3.3.1. Traitement cartographique

Les changements au niveau de l'occupation des terres ont été extraits grâce aux avantages des observations multidates et macroscopiques/ offerts par les données de télédétection. Ainsi, les modèles de paysage numériques, extraits à partir de l'interprétation des images TM de Landsat de janvier 1978 et de décembre 1998 relatifs au département des Collines ont servi de base de données auxquelles nous nous sommes référés pour les analyses de l'occupation des terres. Le processus d'interprétation des images a été le suivant :

- correction géométrique des images, incluant le géopositionnement et le reéchantillonnage à l'aide du logiciel Ilwis 3.2. ;
- amélioration du contraste des images ;
- identification visuelle des classes spectrales à l'écran, inspirée de la nomenclature proposée par la FAO (Baltaxe, 1985) ; à ce stade, la classification à deux niveaux proposée par Mama et Oloukoi (2003) a servi de référence (tableau 2) ;
- numérisation directe à l'écran des cellules d'occupation des terres identifiées ;
- mise en place d'une minute d'interprétation, dont la précision a été validée par la réalité de terrain ; il importe de noter ici que la précision n'a pas été évaluée quantitativement mais plutôt de façon analogique tel que l'ont fait Mama et Oloukoi (2003) ; ces derniers ont abouti à un indice de Kappa de l'ordre de 0,69 dans la zone d'étude ; d'après Pontius (2000), une étude de l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50 % et 75 % ;
- mise en place d'une banque de données sur l'occupation des terres.

La présentation et l'observation cartographiques ont été faites à l'aide du logiciel Arcview 3.2. La superficie des cellules d'occupation des terres ont toujours été évaluées à l'aide de *X tools*, installé dans Arcview 3.2.

3.3.2. Analyse statistique

L'analyse de la dynamique de l'occupation des terres a été faite à partir du calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale. L'une des formules appliquées pour mesurer la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux périodes données (Bernier, 1992), a été utilisée. La variable considérée ici est la superficie (S). Ainsi, pour S_1 et S_2, correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation des terres en 1978 et en 1998, le taux d'expansion spatiale moyen annuel T, est évalué à partir de la formule suivante :

$$T = \frac{(\ln S2 - \ln S1)}{t \ln e} X\ 100$$

où :

t est le nombre d'années d'évolution ;

ln le logarithme népérien ;

e la base des logarithmes népériens (e = 2,71828).

3.4. Essai de modélisation de la dynamique de l'occupation des terres

La modélisation de la dynamique de l'occupation des terres sur la base d'une matrice de transition a été utilisée pour simuler la dynamique spatiale dans le secteur d'analyse.

3.4.1. Hypothèse de base

Le paysage a été considéré comme un ensemble de cellules dont chacune peut être classée dans une catégorie d'occupation des terres. Chacune des cellules peut changer d'état pendant la période étudiée, c'est-à-dire la période de 1978 à 1998, suivant des règles précises de transition. L'ensemble des cellules appartenant à une catégorie donnée, par exemple la savane à emprise agricole, permet de calculer la superficie totale du paysage appartenant à cette catégorie d'occupation des terres. Ainsi, deux niveaux hiérarchiques se dégagent : le niveau de la cellule spatiale élémentaire d'une catégorie donnée (par exemple l'état de la savane à emprise agricole) et le niveau de la surface totale occupée par l'ensemble des cellules d'une même catégorie (par

exemple la surface totale occupée par la savane à emprise agricole).

3.4.2. Mise en place de la matrice de transition

L'hypothèse de base a conduit à la mise en place d'une matrice de transition. Cette dernière a permis de décrire, de manière condensée, les changements d'état des cellules d'occupation des terres pendant une période donnée (Schlaepfer, 2002).

À titre d'exemple, soit la matrice des changements intervenus entre les dates t0 et t1, correspondant respectivement aux catégories i et j d'occupation des terres (tableau 3).

Tableau 3 : Exemple d'une matrice de transition

Example of transition matrix

Catégorie i au temps t0	Catégorie j au temps t1			Sommes Eit0 des lignes
	Catégorie 1 (j = 1)	Catégorie 2(j = 2)	Catégorie 3 (j = 3)	
Catégorie 1 (i = 1)	a(1,1)	a(1,2)	a(1,3)	Σ a(1,j), j = 1,n
Catégorie 2 (i = 2)	a(2,1)	a(2,2)	a(2,3)	Σ a(2,j), j = 1,n
Catégorie 3 (i = 3)	a(3,1)	a(3,2)	a(3,3)	Σ a(3,j), j = 1,n
Sommes Ejt1 des colonnes	Σ a(i,1),i = 1,m (E1t1)	Σ a (i,2), i = 1,m (E2t1)	Σ a(i,3), i = 1,m (E3t1)	ΣΣ a(i,j), i = 1,m J = 1,n

Le nombre n de colonnes de la matrice représente le nombre de catégories d'occupation des terres au temps t1. Le nombre m de lignes de la matrice correspond au nombre de categories d'occupation des terres au temps t0. De ce fait, il est à noter que m = n parce qu'au temps t1 il n'y a pas de nouvelles formes ou catégories d'occupation des terres par rapport au temps t0.

La case a(i, j) de la matrice représente la superficie d'une catégorie i d'occupation des terres au temps t0, convertie à une catégorie j au temps t1. Les changements se font donc de la ligne i vers la colonne j.

Dans le cadre de la présente étude, cette superficie a été calculée à partir du croisement ou de l'intersection des cellules de l'occupation des terres aux deux dates, à l'aide de l'algorithme *Intersect polygons* de l'extension *Geoprocessing* du logiciel Arcview 3.2. La superficie, provenant de l'intersection de deux catégories d'occupation des terres, a été reportée dans les cellules de la matrice. En référence au principe des automates cellulaires, nous considérons que les valeurs a(i, j) sont obtenues sur la base de l'addition de toutes les cellules élémentaires ayant passé de l'état i à l'état j.

Dans l'analyse de la matrice de transition, on considère par exemple que si i ou j = 1 correspond aux champs et aux jachères et si i ou j = 2 correspond à la forêt claire et à la savane boisée, alors la cellule a(2,1) représente la superficie de la forêt claire et de la savane boisée, qui a été convertie en champs et en jachères entre les dates t0 et t1.

Les cellules a(i, i) de la diagonale correspondent à la superficie des zones stables qui n'ont pas évolué entre les dates t0 et t1. La somme Eit0 = Σ a(i, j), j = 1,n de la ligne i représente la superficie totale de la catégorie i d'occupation des terres au temps t0. La somme Ejt1 = Σ a(i, j), i = 1,m de la colonne j représente la superficie totale de la catégorie j d'occupation des terres au temps t1.

Le facteur de conversion Ci de la catégorie i correspond à la somme des changements d'une catégorie i vers d'autres catégories : Ci = (SLi – a(i, i))/ SLi où SLi est la somme de la ligne i.

Les éléments qui sont en dehors de la diagonale représentent les changements d'occupation des terres. Par conséquent, ce sont ces valeurs qui expliquent les changements de flux de matière organique observés dans le paysage.

3.4.3. Processus de simulation et mise en place de la matrice des probabilités de transition

Le processus de simulation peut faire appel à différentes techniques. Au nombre de ces techniques, il existe les deux suivantes :

- la technique des équations différentielles utilisée par exemple par Dobson *et al.* (1997),

exprimant le changement de certaines catégories d'occupation des terres par l'utilisation d'équations différentielles qui tiennent compte de certains facteurs d'influence connus ;

- la technique des automates cellulaires, qui permet de déterminer les changements de catégorie des cellules spatiales élémentaires sur la base des règles de transition ; dans le cadre de cette étude, nous nous sommes référés au principe de simulation offert par les automates cellulaires probabilistes ; une matrice P des probabilités de transition a été déterminée ; cette matrice donne la probabilité moyenne p(i,j) qu'une cellule dont la catégorie est i au temps t0 passe à la catégorie j au temps t1 (tableau 4) ; ces probabilités ne sont pas à confondre avec celles de changement de catégorie d'une cellule élémentaire du paysage, car elles ont été calculées à partir des valeurs a(i,j) par une estimation empirique sur la base de la matrice de transition observée ; ainsi $P(i,j) = \frac{a(i,j)}{Eit0}$; à titre d'exemple, le croisement de la catégorie de la forêt claire et de la savane boisée de 1978 avec celle de 1998 a donné une superficie a(i,j) de 10,6 km² au niveau de la matrice de transition ; étant donné que la superficie totale Eit0 de la catégorie de la forêt claire et de la savane boisée est de 215,2 km², en 1978, la probabilité p(i,j) pour que Fcsb demeure Fcsb est calculée de la manière suivante : $P(Fcsb, Fcsb) = \frac{10,6}{215,2} = 0,05$; c'est donc la valeur 0,05 qui sera reportée dans la matrice des probabilités au niveau de la cellule où Fcsb de 1978, est croisée à Fcsb de 1998 ; de même, la superficie a(i,j) issue du croisement de la savane à emprise agricole de 1978 aux champs et jachères de 1998 est de 691,7 km² au niveau de la matrice de transition ; étant donné que la superficie totale Eit0 de la savane à emprise agricole est de 1052,2 km² en 1978, la probabilité p(i,j) pour que cette savane soit transformée en champs et jachères en 1998 est de $P(Sea, Cja) = \frac{691,7}{1052,2} = 0,67$.

Le principe général des automates probabilistes utilisé est résumé dans les considérations suivantes :

- le champ cellulaire est un ensemble de cellules spatiales déployé dans un espace où les cellules sont disposées selon un arrangement défini ;
- chaque cellule u prend, au temps t, un état e(j,u,t), avec j = 1, m ;
- dans un automate probabiliste, la détermination de l'état j de la cellule u au temps t est assujettie aux probabilités p(j,u,t) telle que la somme des p(j,u,t) sur les j est égale à 1 ;
- dans un automate probabiliste, le choix de la catégorie initiale est précédé de la détermination des probabilités initiales p(j,u,t0).

Dans cet ordre d'idée, considérons par exemple le paysage suivant exprimé par la matrice de voisinage du tableau 5, dont la catégorie des cellules au temps t0 est soit « Champs et jachères » (Cja), soit « forêt claire et savane boisée » (Fcsb). L'évolution de ce paysage et de sa structure peut être simulée par la méthode probabiliste de simulation avec les automates cellulaires. Un exemple de règle de transition dans le cadre de cette simulation peut être formulé de la manière suivante :

- la probabilité *p(Fcsb, Fcsb)* pour que Fcsb demeure Fcsb est égale à 0,8 s'il y a, au temps t0, quatre, cinq, six, sept ou huit cellules voisines dont la catégorie est Fcsb ;
- la probabilité *p(Fcsb, Cja)* pour que Fcsb devienne Cja est égale à 0,6 si, au temps t0, il y a cinq, six, sept ou huit cellules voisines dont la catégorie est Cja ;
- la probabilité *p(Cja, Cja)* pour que Cja demeure Cja est égale à 0,9 si, au temps t0, cinq, six, sept ou huit cellules voisines sont dans la catégorie Cja ;
- la probabilité *p(Cja, Fcsb)* que Cja devienne Fcsb est égale à 0,20 si, au temps t0, un, deux, trois ou quatre cellules voisines sont dans la catégorie Cja.

Au total, cette démarche méthodologique, basée sur des approches cartographiques et statistiques, a permis un meilleur traitement des données avec une analyse conséquente tel que le montrent les résultats obtenus (section 4).

4. RÉSULTATS

4.1. Dynamique de l'occupation des terres

L'étude de la dynamique de l'occupation des terres dans le secteur d'analyse, couvrant une superficie de 1 720 km², a révélé l'existence de plusieurs catégories d'occupation des terres entre 1978 et 1998 (figures 2 et 3).

Les informations extraites des images satellitaires de 1978 montrent une forte proportion de savanes à emprise agricole (60,5 %) suivie de la savane arborée et arbustive, de la forêt claire et de la savane boisée ainsi que des forêts galeries.

En 1998, la savane à emprise agricole s'est largement transformée en champs et jachères, et n'occupe désormais qu'une proportion de 16,5 %. La savane à emprise agricole est constituée de zones d'aménagement récentes où l'on rencontre une mosaïque de cultures et de savanes. Cette dernière se substitue habituellement aux mosaïques de cultures et de jachères. Les formations végétales rencontrées sont celles des savanes avec des champs constitués d'espèces comme *Parkia bigloboza*, *Butyrospermum paradoxum*, *Tamarindus indica* et *Isoberlinia doka*. La catégorie des champs et des jachères demeure la catégorie dominante du secteur avec environ 1 052 km² (61,2 %), suivie de la savane à emprise agricole (16,5 %).

L'analyse de la dynamique de l'occupation des terres (tableau 6) révèle, de façon générale, une tendance à l'expansion des agglomérations. Corrélativement, on constate une réduction des catégories des forêts galeries, des forêts claires et des savanes boisées, des savanes à emprise agricole de même que des savanes arborées et arbustives. Aussi, c'est en 1998 que la catégorie des champs et des jachères a été clairement définie et domine tout le secteur.

Les taux d'évolution bruts et les taux moyens annuels calculés permettent de mieux apprécier la valeur de chaque catégorie. Ainsi, une analyse faite des catégories suivantes : galeries forestières, forêt claire et savane boisée, savane à emprise agricole et agglomérations.

4.1.1. Forêts galeries

Le taux de régression moyen annuel de la catégorie des forêts galeries est estimé à 4 % pour l'ensemble du secteur étudié. Cette catégorie est à plus de 43 % dégradée au profit des espaces cultivés comme l'indique la matrice de transition (tableau 7). En effet, on y constate que 65,9 km² des forêts galeries sont converties en champs et en jachères. Les plus importantes forêts galeries se trouvent le long des grands cours d'eau, tels que l'Ouémé et l'Okpara.

4.1.2. Forêt claire et savane boisée

La catégorie de la forêt claire et de la savane boisée régresse à un taux moyen annuel de 9 %. Elle est principalement transformée en champs et en jachère, en savane arborée arbustive, puis en savane à emprise agricole.

4.1.3. Savane à emprise agricole

On constate que la savane à emprise agricole a régressé de 758,3 km² entre 1978 et 1998, c'est-à-dire de 73 %. Cette catégorie d'occupation des terres se dégrade à un taux moyen annuel de 6,4 % au profit des champs et des jachères jusqu'à atteindre 691,7 km². Une superficie de 100 km² a été perdue au profit de la savane arborée arbustive (tableau 7).

4.1.4. Agglomérations

Avec l'installation de nouveaux colons agricoles, l'essor du développement agricole a conduit à la création de hameaux de culture et à l'expansion des agglomérations existantes. Le taux d'évolution moyen annuel des agglomérations a été évalué à 2,5 %.

4.2. Résultat de l'essai de modélisation

La matrice de transition des changements de l'occupation des terres (tableau 7) permet de répondre à la question relative au changement de catégorie des cellules d'occupation des terres mise en exergue par l'étude. Cette matrice, aussi appelée matrice des changements de l'occupation des terres, entre 1978 et 1998, révèle les informations suivantes :

- 28,7 km² des forêts galeries de 1978 sont demeurés dans cette catégorie en 1998, alors que 124,1 km² ont changé de catégorie, soit un facteur de conversion de 81 % ;
- 10,6 km² des forêts claires et de savane boisées sont demeurés dans cette catégorie en 1998, alors que 204,6 km² ont changé de catégorie, soit un facteur de conversion de 95 % ;
- 37,2 km² des savanes arborées arbustives de 1978 sont demeurés dans cette catégorie en 1998, alors que 217,4 km² ont changé de catégorie, dont 185,4 km² ont été changés en champs et en jachères ; le facteur de conversion de cette catégorie est de 85,3 % ;
- 194,1 km² des savanes à emprise agricole, soit seulement 18,8 % de la superficie de cette catégorie, y sont demeurés en 1998, alors que 836,3 km², soit 81,2 % de cette catégorie, ont changé de catégorie, dont 691,7 km² ont été convertis en champs et en jachères.

Il importe de retenir que la plupart des catégories d'occupation des terres de 1978 ont largement évolué vers les champs et jachères en 1998. Le facteur de conversion évalué pour chaque catégorie est supérieur à 60 %, sauf pour les agglomérations et les savanes saxicoles (tableau 8). Au total, l'occupation des terres change d'état avec une moyenne de 53,8 %, avec une grande variation autour de la tendance (81,4 %).

Les simulations faites sur la base des probabilités pour qu'une catégorie i se convertisse en une catégorie j (tableau 9), permettent de faire des observations suivantes :

- la probabilité pour qu'une catégorie de l'occupation des terres soit transformée en

champs et en jachères dans la région de Dassa et de ses environs est forte ; à l'exception des agglomérations et des savanes saxicoles, dont la probabilité de changement est faible, soit respectivement de 0,12 et de 0, la probabilité de changement des autres catégories varie entre 49 et 72 % ;

- les agglomérations présentent une probabilité de stabilité plus grande (87 %) lorsque l'on écarte les savanes saxicoles qui ne changent pas, compte tenu de leur nature ; par contre, la forêt claire et la savane boisée est la catégorie la plus vulnérable du secteur avec 95 % de changement ;
- du point de vue spatial, 22,3 % du secteur étudié ne change pas, 59,4 % est en régression et 18,3 % connaît une expansion (figure 4) ; les zones considérées comme stables sont celles dont les catégories d'occupation des terres n'ont pas varié entre les deux dates ; avec les zones en expansion, non seulement il y a une variation des catégories d'occupation du sol en 1998 par rapport à 1978, mais aussi la superficie de ces catégories a évolué et c'est le contraire dans les zones en régression.

L'évolution des catégories d'occupation des terres dans le temps et dans l'espace est projetée à l'horizon 2010 et 2020 sur la base des changements actuels et des probabilités déterminées (figure 5).

L'analyse de cette projection révèle, qu'à l'horizon 2010 et 2020, pendant que les agglomérations ainsi que les champs et les jachères s'étendront, les forêts claires et les savanes boisées, de même que les forêts galeries, les savanes arborées arbustives ainsi que les savanes à emprise agricole connaîtront une forte régression. Les prochains changements qui s'observeront en matière d'occupation des terres, se feront aux dépens des espaces forestiers et au profit des espaces agricoles et des agglomérations. La tendance évolutive des espaces agricoles provient tant de la place de choix accordée à l'agriculture dans l'économie du secteur d'étude que des migrations rurales enregistrées. Avec cette tendance, les terres se feront rares et la concentration s'orientera vers des terres hydromorphes à l'exemple des bas-fonds, autrefois considérées comme des espaces marginaux.

Tableau 4 : Exemple d'une matrice de probabilité de transition

Example of transition probability matrix

Catégorie i au temps t0	Catégorie j au temps t1			Sommes des lignes
	Catégorie 1 (j= 1)	Catégorie 2(j = 2)	Catégorie 3 (j = 3)	
Catégorie 1 (j = 1)	p (1,1)	p (1,2)	p (1,3)	1,00
Catégorie 2(j = 2)	p (2,1)	p (2,2)	p (2,3)	1,00
Catégorie 3 (j = 3)	p (3,1)	p (3,2)	p (3,3)	1,00

Tableau 5 : Exemple d'une matrice de voisinage

Example of a neighborhood matrix

Fcsb	Fcsb	Fcsb	Fcsb	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb
Fcsb	Fcsb	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb	Cja	Cja
Fcsb	Fcsb	Cja	Cja	Cja	Cja	Cja	Cja
Fcsb	Fcsb	Cja	Cja	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb
Cja	Cja	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb	Fcsb	Fcsb
Cja	Cja	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb	Fcsb	Fcsb

Agg : agglomérations/settlements
Cja : champs et jachères/crops and fallows
Fcsb : forêt claire et savane boisée/open forest and woody savannah
Fg : forêt galerie/gallery forest
Sea : savane à emprise agricole/crop impact savannah
Ssax : savane saxicole/saxocolous savannah

Tableau 6: Dynamique de l'occupation des terres entre 1978 et 1998

Land cover dynamics from 1978 to 1998

Occupation des terres	**Superficie 1978 (km^2)**	**Proportion 1978 (%)**	**Superficie 1998 (km^2)**	**Proportion 1998 (%)**	**Taux d'expansion spatiale moyen annuel (%)**
Savane saxicole	38,5	2,1	38,5	2,1	0
Agglomérations	28,5	1,5	47,1	2,8	2,5
Forêt claire savane boisée	215,2	12,4	35,1	2	-9
Forêt galerie	152,8	8,8	68,5	4	-4
Savane arborée arbustive	254,6	14,7	194,4	11,3	-1,3
Savane à emprise agricole	1 030,4	60,5	284,2	16,5	-6,4
Champs et jachères			1 052,2	61,2	
Total	**1 720**	**100**	**1 720**	**100**	**-18,2**

Source : Statistiques évaluées à partir des cartes d'occupation des terres de 1978 et de 1998

Tableau 7 : Matrice de transition des unités de l'occupation des terres de 1978 à 1998

Land cover unit matrix of transition from 1978 to 1998

1998 / **1978**	Ssax	Agg	Fcsb	Fg	Saa	Sea	Cja	**Total 1978**
Ssax	**38,5**	0	0	0	0	0	0	**38,5**
Agg	0	**24,8**	0	0	0,3	0	3,4	**28,5**
Fcsb	0	0,1	**10,6**	21,6	43,5	33,6	105,8	**215,2**
Fg	0	12	7,2	**28,7**	13,4	25,6	65,9	**152,8**
Saa	0	0,2	0,7	0,2	**37,2**	30,9	185,4	**254,6**
Sea	0	12	14,6	18	100	**194,1**	691,7	**1 030,4**
Cja	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**
Total 1998	**38,5**	**49,1**	**33,1**	**68,5**	**194,4**	**284,2**	**1 052,2**	**1 720**

Source : Matrice construite à partir du croisement des unités d'occupation des terres de 1978 et de 1998

Agg : agglomérations/setlements
Cja : champs et jachères/Crop and fallow
Fcsb : forêt claire et savane boisée/open forest and woody savannah
Fg : forêt galerie/gallery forest
Sea : savane à emprise agricole/crop impact savannah
Ssax : savane saxicole/saxocolous savannah

Tableau 8 : Facteurs de conversion (Ci) des catégories d'occupation des terres

Conversion factors of land cover units

Catégories	**Ci (%)**
Savane saxicole	0
Agglomérations	13
Forêt claire et savane boisée	95
Forêt galerie	80
Savane arborée arbustive	66
Savane à emprise agricole	81
Moyenne	**53,8**
Écart type	**43,8**
CV (%)	**81,4**

Source : Paramètres calculés à partir des données du tableau 5

Tableau 9 : Matrice des probabilités

Matrix of probabilities

1998 / **1978**	Ssax	Agg	Fcsb	Fg	Saa	Sea	Cja	**Total** ($\sum P(i,j)$)
Ssax	**1**	0	0	0	0	0	0	**1**
Agg	0	**0,87**	0	0	0,01	0	0,12	**1**
Fcsb	0	0,0004	**0,05**	0,1	0,20	0,12	0,49	**1**
Fg	0	0,08	0,05	**0,18**	0,08	0,17	0,43	**1**
Saa	0	0,0007	0,002	0,0007	**0,14**	0,12	0,72	**1**
Sea	0	0,01	0,01	0,02	0,09	**0,19**	0,67	**1**
Cja	0	0	0	0	0	0	0	**0**

Source : Probabilités déduites des données de la matrice de transition (tableau 7)

Agg : agglomérations/setlements
Cja : champs et jachères/Crop and fallow
Fcsb : forêt claire et savane boisée/open forest and woody savannah
Fg : forêt galerie/gallery forest
Sea : savane à emprise agricole/crop impact savannah
Ssax : savane saxicole/saxocolous savannah

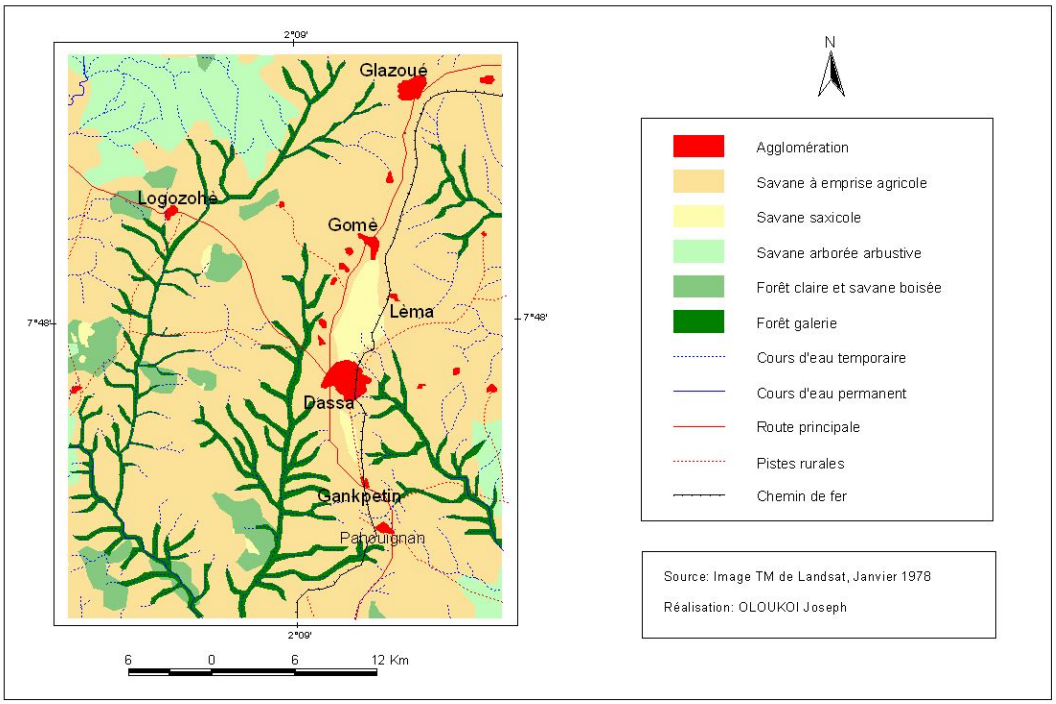


Figure 2 : Occupation des terres dans la région de Dassa et ses environs en 1978.
Land cover of Dassa area and surrounding in 1978

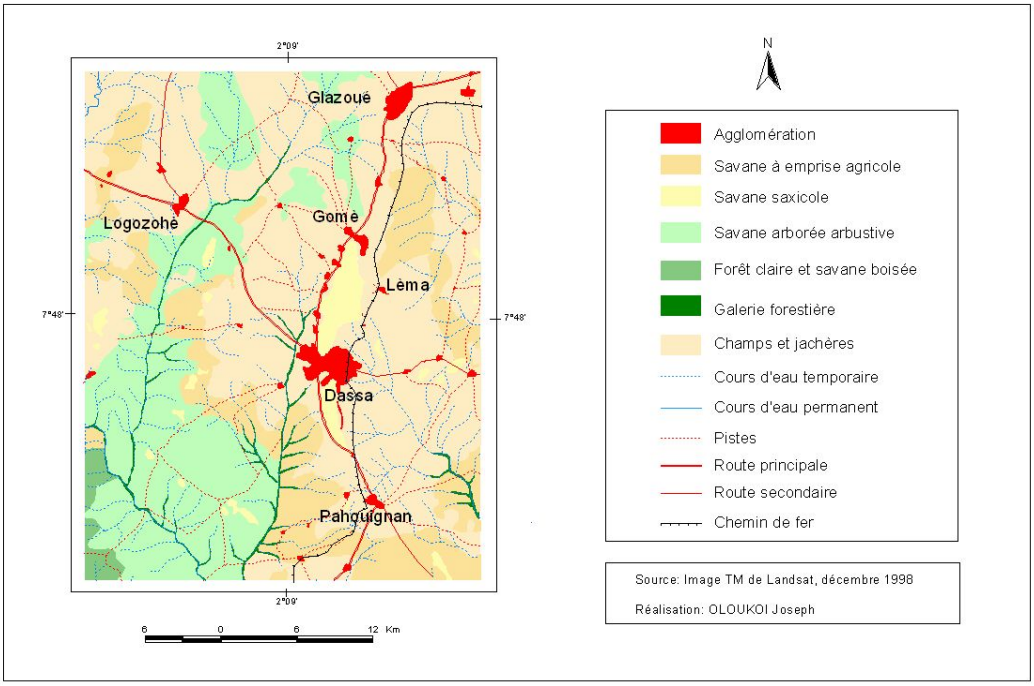


Figure 3 : Occupation du sol dans la région de Dassa et ses environs en 1998**.** *Land cover of Dassa area and surroundings in 1998*

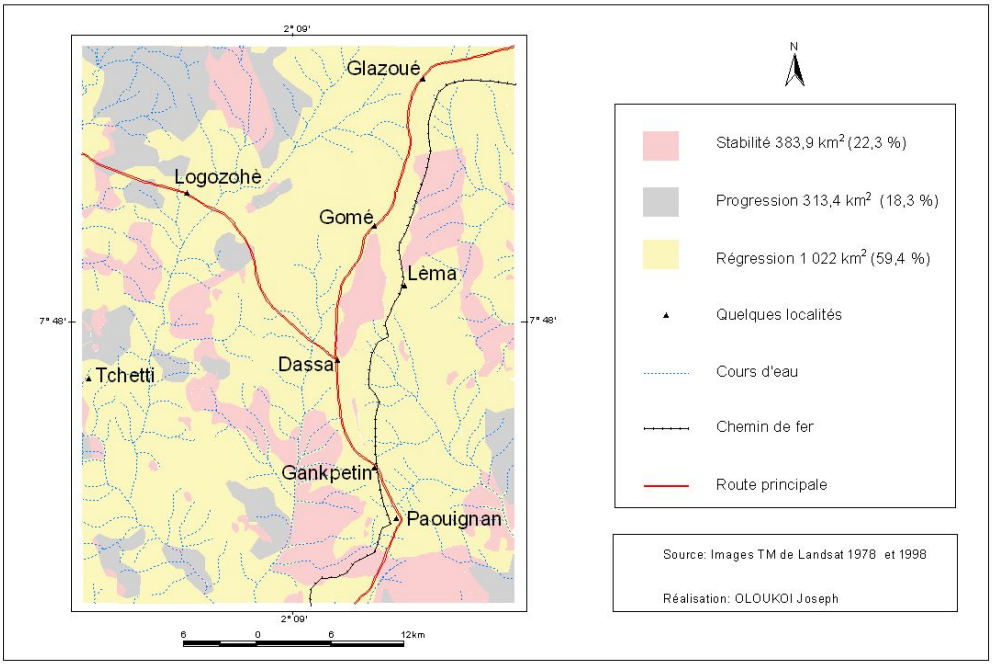
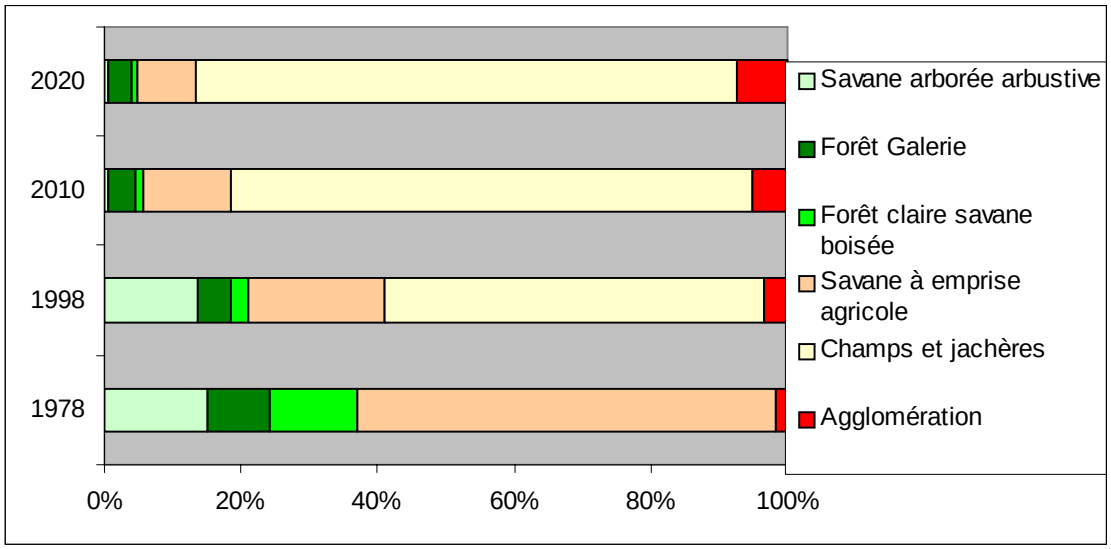


Figure 4 : Dynamique de l'occupation des terres dans la région de Dassa et ses environs / *Land cover dynamics in Dassa area and surroundings*



Source : Projections faites sur la base des changements obtenus entre 1978 et 1998, et des probabilités

Figure 5 : Évolution de l'occupation des terres à l'horizon 2010 et 2020 **.** *Evolution of land cover in 2010 and 2020*

5. DISCUSSION

Le département des Collines est l'unité spatiale de base pour l'étude. Mais, pour des problèmes liés à l'échantillonnage, trois communes de ce département ont été retenues. De même, au niveau de ces trois communes, un secteur qui leur est commun a été défini pour l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres. L'étude devra donc s'étendre à l'avenir à d'autres secteurs du département et une comparaison des résultats pourra permettre de généraliser, à l'échelle de tout le département, les conclusions provenant de la présente étude.

Les images TM de Landsat utilisées, bien que de résolution relativement faible (30 m), ont été d'un grand apport dans l'identification des catégories d'occupation des terres. La résolution spatiale de ces images n'a cependant pas permis d'accéder à des détails, ce qui a occasionné un certaine généralisation des données. À l'avenir, dans le but de fournir des informations plus précises et plus détaillées aux décideurs, il faudra recourir à des images à haute résolution spatiale.

De même, la précision des résultats de l'interprétation dans le cadre de l'extraction de l'information mérite une évaluation beaucoup plus quantitative que qualitative. Nonobstant le niveau de résolution spatiale, ces images ont un tant soit peu permis de dégager la tendance générale de la dynamique de l'occupation des terres. Cette tendance révèle l'augmentation des superficies agricoles et des agglomérations aux dépens des autres catégories, tels les espaces forestiers. L'analyse confirme les conclusions tirées par Vodougnon (1996) dans une étude de la dynamique de l'occupation des terres au sud sur le plateau d'Abomey. En effet, la variation de l'occupation des terres se fait au profit des champs et des jachères. Cette dynamique est la conséquence de la pratique de l'agriculture itinérante sur brûlis comme principale technique culturale depuis des décennies sur le plateau. Cette pratique agricole est associée à des feux de végétation et à l'abattage des arbres pour la fabrication de charbon de bois et l'obtention du bois de chauffe. Dans ce processus de dégradation des ressources, les réserves protégées de l'État ne sont pas épargnées. Dans leur travail sur la cartographie et l'étude de la dynamique de la végétation de l'aire classée de la colline de Savalou, Akoègninou et Akpagana (1997) ont constaté une expansion des champs et des jachères ainsi que des agglomérations, au détriment des formations forestières denses. Ils avaient conclu à un impact considérable de l'activité humaine, se traduisant par la raréfaction des grands arbres comme *Afzelia africana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Burkea africana*, *Pterocarpus erinaceus* et *Isoberlinia doka,* utilisés comme combustible pour la fabrication de la farine de manioc. Une des conséquences de cette dégradation est la migration des populations rurales vers la conquête de nouvelles terres. Ainsi, il est malheureusement constaté que l'humain a commencé par s'attaquer aux lieux

les plus sacrés à cause du manque de terres fertiles. Dans une étude plus approfondie au centre du Bénin, précisément dans les communes de Savè, d'Ouèssè et de Tchaourou, Mama (2002) constate la même tendance. Il remarque que cette dynamique de l'occupation des terres affecte la cohésion sociale des populations, induit les populations à la conquête de nouvelles terres et déplace de plus en plus le front des activités agricoles des plateaux vers les milieux hydromorphes, comme les bas-fonds. Alors, à cette allure, que faut-il faire lorsque les bas-fonds seront saturés ?

Les indications quantitatives fournies sur la dynamique de l'occupation des terres devraient aussi permettre de revéler vers quelle période toutes les réserves ligneuses des formations végétales mises en exergue auront disparu et aussi vers quelle période tout le territoire sera saturée à la suite de l'expansion des superficies agricoles et des agglomérations. Ces éléments évoqués présenteront des implications certaines sur la vie des populations locales, étant donné que leur système de vie sera condamné à évoluer. Alors, de nombreuses questions se poseront : par exemple, comment faire sans bois de chauffe et comment assurer la subsistance des populations dans une situation où toutes les réserves de terres sont dégradées ?

La technique de modélisation utilisée, basée sur la matrice de transition, a permis d'appréhender les changements de catégorie au niveau des cellules d'occupation des terres entre 1978 et 1998. Bien que donnant une idée de la tendance de la dynamique du paysage de façon générale, il importe qu'une troisième date soit prise en compte entre 1978 et 1998 afin de mieux apprécier les transitions, car nous estimons que les changements révélés peuvent ne pas être aussi linéaires. Quant aux projections faites à l'horizon 2010 et 2020, les tendances sont envisagées avec l'hypothèse que les facteurs potentiels et les variables qui influenceront la dynamique du paysage garderont la même emprise que dans celle de la période de 1978 à 1998. Par ailleurs, les simulations, faites à l'aide de la matrice des probabilités avec pour référence les automates cellulaires, évoquent les différentes options possibles pour chaque catégorie d'occupation des terres. Les probabilités expriment la possibilité pour que les catégories d'occupation des terres changent ou non. Il importe à l'avenir qu'un intervalle de confiance soit associé à ces probabilités en vue d'apprécier leur précision.

Quant au principe des automates cellulaires évoqué, tous les aspects n'ont pas été abordés de façon pratique dans cette étude. Les questions relatives aux liens de voisinage et aux règles de vie ou de mort mériteraient d'être creusées. À cet effet, l'utilisation d'un logiciel à vocation « automates cellulaires », à l'exemple de Spacell, s'avère nécessaire.

6. CONCLUSION

L'étude de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des Collines a permis d'analyser les cellules des catégories d'occupation des terres dans leur état actuel et passé, et ce au moyen des techniques de la télédétection et des SIG. Cette analyse révèle une tendance à la hausse des espaces cultivés au détriment des zones forestières. La modélisation de la dynamique de l'occupation des terres, à l'aide de matrices de transition et de probabilités, montre que la plupart des autres catégories d'occupation des terres perdent considérablement de superficie au profit des champs et des jachères, avec un taux de conversion largement supérieur à 50 % entre 1978 et 1998. D'après les simulations et les projections effectuées, cette tendance se maintiendra vers des horizons 2010 et 2020. Une telle situation a pour conséquence la réduction du temps de jachère, la surexploitation des terres agricoles, la baisse de la fertilité des sols et, par voie de conséquence, la baisse du rendement agricole. Ces conséquences sont perceptibles par les paysans et certains sont contraints de se ruer sur les écosystèmes plus hydromorphes, comme les bas-fonds. Il ressort sans doute que la dynamique qui affecte les interfluves a un impact au niveau des bas-fonds. La tendance évoquée affectera aussi ces bas-fonds au fur et à mesure que la densité de la population augmentera, vu l'ampleur des migrations rurales dans le secteur d'étude, d'où l'intérêt pour les autorités étatiques et locales de penser à la sauvegarde des interfluves et à un plan d'aménagement conséquent des zones hydromorphes comme les bas-fonds.

Cette étude révèle aussi que la modélisation est un outil indispensable pour la compréhension de la dynamique qui s'opère dans le paysage. Vue sa contribution dans l'étude, la simulation aux moyens d'une matrice de probabilités, basée sur le principe des automates cellulaires, demeure une technique de choix en matière de projection sur le devenir d'un paysage.

À l'avenir, dans le but d'améliorer la présente étude, l'analyse devra prendre en compte les associations entre les catégories d'occupation des terres et les unités morpho-pédologiques. Les facteurs socio-économiques et biophysiques qui expliquent les changements observés au niveau de l'occupation des terres devront aussi être étudiés.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil pour le développement de la recherche en sciences sociales en Afrique (CODESRIA) pour l'appui matériel et financier dans la réalisation de cette étude. Aussi, nos remer-

ciements vont à l'endroit du professeur Mohamed Rached Boussema, de l'École nationale d'ingénieurs de Tunis, pour son apport dans l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.

Références

Adjinda, A.S. et Hounton, K.N. (1997) Contribution à l'étude de la dynamique de l'environnement dans une zone d'accueil : cas des sous-préfectures de Savè, Ouèssè et Tchaourou. Mémoire d'ingénieur des travaux, Collège polytechnique universitaire/Université Nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 84 p.

Afouda, F. (1990) L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de doctorat, Université de Paris IV (Sorbonne), Paris, 428 p.

Akoègninou, A. et Akpagana, K. (1997) Étude cartographique et dynamique de la végétation de l'aire classée de la colline de Savalou (Bénin). Journal botanique de la Société botanique de France, n° 3, p. 69-81.

Baltaxe, R. (1985) Guidelines for tropical forest cover monitoring based on remote sensing. FAO Special Study on Forest Management, Bangkok, 103 p.

Bell, E.J. (1974) Markov analysis of land use change: an application of stochastic processes to remotely sensed data. Socio-Economic Planning Sciences, vol. 8, p. 311-316.

Bernier, B. (1992) Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 217 p.

Boko, M. (1988) Climat et communautés rurales au Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 605 p.

Bokonon-Ganta, E. B. (1987) Les climats de la région du Golfe du Bénin (Afrique Occidentale). Thèse de doctorat, Université de Paris IV (Sorbonne), Paris, 248 p. et annexes.

Borgui, C. et Leffi, S. L. (1992) Aspect actuel de la dynamique de l'environnement dans les versants ouest du cours de l'Okpara. Mémoire de maîtrise, Faculté des lettres, arts et sciences humaines, Université nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 95 p.

Codjia, C.L. et Gnagna P. (1993) Dynamique des paysages des forêts classées de Toui et de Kilibo. Mémoire de maîtrise, Faculté des lettres, arts et sciences humaines, Université nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 96 p.

Dobson, A.P., Bradshow, A.D. and Baker, A.J.M. (1997) Hopes for the Future: Restoration

Ecology and Conservation Biology. Science, vol. 277, p. 515-522.

Dubos-Paillard, E., Guermond, Y. et Langlois, P. (2003) L'analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle SpaCelle. L'espace géographique, n° 4, p. 357-378.

Dubroeucq, D. (1977) Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200 000, feuille de Savè, ORSTOM, Paris.

Ferber, J. (1997) Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective. InterEditions, Paris, 522 p.

Finn, J.T. (1985) Analysis of Land Use Change Statistics Through the Use of Markov Chains. *In* The Proceedings of the 1985 Summer Computer Simulation Conference. 22-24 juillet 1985, The Society for Computer Simulation, Chicago (Illinois), p. 514-517.

Houndagba, C. J., Dagbenonbakin, G., Akoègninou, A., Toni, E., Alle, P. et Biaou, F. (1998) Caractérisation semi-détaillée et évaluation des ressources en bas-fonds du Zou. Unité nationale de coordination/Consortium bas-fonds, Cotonou , 42 p.

INSAE (2003) Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Février 2002. Quelques résultats. Institut national de la statistique et de l'analyse économique, Cotonou, 9 p.

Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N., Fisher, D., Krug, T., Leemans, R., Moran, E.F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D., Turner II, B. L. and Vogel, C. (1999) Land use and land cover change (LUCC) : implementation strategy. IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) Report 48, IHDP (International Human Dimensions Programme) Report 10, Stockholm, 125 p.

Langlois, A. et Phipps, M. (1997) Automates cellulaires : Application à la simulation urbaine. Hermès, Paris, 208 p.

Mama, V.J. (2002) An integrated approach for land use/cover change analysis in a central region of Benin Republic. Thèse de doctorat, University of Lagos, Lagos (Nigeria), 221 p.

Mama, V.J. et Oloukoi, J. (2003) Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol. Télédétection, vol. 3, n° 5, p. 429–441.

Mama, V.J., Bamijoko, O. and Adeniyi, O.P (2002) Modelling land use/cover change using transition probabilities in a central region of Republic of Benin. The African Association of Remote Sensing for Environment (AARSE) Conference, Abuja (Nigeria) 14-18 octobre 2002, 12 p.

OBRGM (Office béninois de recherche géologique et minière) (1995) Notice explicative de la carte géologique du Bénin, Feuille d'Abomey au 1/200 000, Cotonou, 15 p.

Okioh, L. (1972) Contribution à l'étude morphologique des reliefs résiduels de la région de Dassa-Zoumé, Fita et Savalou (Dahomey). Thèse de doctorat, Université de Paris VII, Paris, 163 p.

Pontius, R.G. Jr. (2000) Quantification error versus location in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 66, n° 8, p. 1011-1016.

Schlaepfer, R. (2002) Analyse de la dynamique du paysage. Laboratoire de gestion des écosystèmes (GECOS), École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 11 p.

Tchamie, T. et Bouraima, M. (1997) Les formations végétales du plateau Soudou-Dako dans la chaîne de l'Atacora et leur évolution récente (Nord Togo). Journal botanique de la Société botanique de France, n° 3, p. 83-94.

Tchibozo, C. F. (1981) Contribution à l'étude biogéographique de la région de l'Atacora : étude typologique des unités de paysage du versant oriental de la chaîne de l'Atacora (à la hauteur de Natitingou). Thèse de doctorat, Université de Paris VII–Jussieu, Paris, 326 p.

Tente, B. (2000) Dynamique actuelle de l'occupation du sol dans le massif de l'Atacora : secteur Perma–Toucountouna. Mémoire de DEA, École doctorale pluridisciplinaire, Université nationale du Bénin, 83 p.

Turner, M.G. (1988) A Spatial Simulation Model of Land Use Changes in a Piedmont County in Georgia. Applied Mathematics and Computation, vol. 2, p. 39-45.

Turner, M.G. and Ruscher, C.L. (1988) Changes in landscape patterns in Georgia, USA.

Landscape Ecology, vol. 1, n^{o} 4, p. 241-251.

Veldkamp, A. and Fresco, L.O. (1996) CLUE-CR : An integrated multiscale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. Ecological Modelling, n^{o} 91, p. 231-248.

Verburg, P.H. (2000) Exploring the spatial and temporal dynamics of land use with special reference to China. Thèse de doctorat, Wageningen University, 143 p.

Vodougnon, M. R. (1996) Dynamique de l'environnement : cas du plateau d'Abomey. Mémoire de maîtrise, Faculté des lettres, arts et sciences humaines, Université nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 75 p.