

Cartographie de la dynamique environnementale sur les parcours naturels des troupeaux bovins dans la Commune de Savalou au Bénin

Kountangni M.G.¹, Yabi I.^{1,2} et Toko Imorou I.^{1,3}

(1) Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université d'Abomey-Calavi (UAC-Bénin) / e-mail : kountangnim@gmail.com

(2) Laboratoire "Pierre PAGNEY" Climat, Eau, Ecosystème et développement (LACEEDE)

(3) Laboratoire de Cartographie (LaCarto) ; DGAT/FASH /UAC

DOI : <http://doi.org/10.5281/zenodo.2610516>

Résumé

Les parcours naturels de la Commune de Savalou qui ont fait l'objet de cette étude ont subi de fortes pressions anthropiques. La présente étude vise à cartographier la végétation des parcours naturels et modéliser leur dynamique. Les techniques de la télédétection satellitale notamment l'interprétation et la classification des images Landsat TM de 1995 et Landsat OLI/TIRS de 2015 avec les outils de simulation (Land Change Modeler d'IDRISI Selva) ont permis d'analyser les changements intervenus et de faire des projections à l'horizon 2030. La matrice de transition a été réalisée à l'aide de la fonction Intersect du logiciel ArcGIS 10.1. Les programmes "Pontius Matrix22" et "Intensity Analysis02" ont permis de mesurer l'intensité

et la vitesse de changement des unités d'occupation des terres. Les résultats de la dynamique des parcours naturels ont révélé que les forêts galeries, les forêts claires et savane boisées, les forêts denses, les savanes arborées et arbustives des parcours naturels ont connu une régression de leur superficie qui est respectivement de 4,05 %, 18,34%, 0,23 %, 65,02 % en 1995 et de 2,49 %, 2,12 %, 0,10 %, 52,68 % en 2015. La modélisation prédictive des parcours naturels à l'horizon 2030 a révélé que les savanes arborées et arbustives occuperont 53,39 % de la superficie totale des parcours naturels de la Commune de Savalou si les pratiques actuelles de l'exploitation des ressources naturelles sont maintenues.

Mots clés : Cartographie, modélisation, parcours naturels, dynamisme de la végétation, Savalou

Abstract

The natural routes of the municipality of Savalou which were the object of this study underwent strong anthropic pressures. This study aims at mapping the vegetation of natural rangelands and modeling their dynamics. Satellite remote sensing techniques, including the interpretation and classification of Landsat TM of 1995 and Landsat OLI / TIRS imagery of 2015 with the Land Change Modeler (IDRISI Selva) simulation tools, made it possible to analyze the changes that occurred and make projections by 2030. The transition matrix was made using the Intersect function of ArcGIS 10.1 software. The "Pontius Matrix22" and "Intensity Analysis02" programs were used to measure

the intensity and speed of change in land-use units. The results of the rangeland dynamics revealed that gallery forests, open forests and savannah woodland, dense forests, treed and shrubby savannah rangelands decreased by 4.05%, 18.34%, 0.23%, 65.02% in 1995 and increased by 2.49%, 2.12%, 0.10%, 52.68% in 2015. Predictive modeling of natural routes by 2030 revealed that tree and shrub savannahs will occupy 53.39% of the total area of natural rangelands of the municipality of Savalou if the current practices of the exploitation of natural resources are maintained.

Keywords : Cartography, modeling, natural routes, dynamism of vegetation, Savalou

1. Introduction

L'élevage et l'agriculture sont les deux principales activités économiques des populations rurales en Afrique Sub-saharienne (RIPIECSA, 2009).

La contribution moyenne de l'élevage au Produit

Intérieur Brut (PIB) agricole régional est de 44% (FAO, 2010). Avec un cheptel bovin de plus de 60 millions de têtes, 160 millions de petits ruminants et 400 millions de têtes de volailles, la région ouest africaine est une aire privilégiée pour l'élevage (CEDEAO, 2009).

L'élevage de gros bétail est un système de production animalière fournissant différents produits indispensables à la santé physique de l'homme tels que : la viande rouge, le lait et le fromage. Au Bénin la part de l'élevage au PIB est estimée à 6,2 % (Houéhanou et al., 2008). Ce système de production a besoin de bons pâturages pour le développement de l'élevage afin de mieux remplir sa fonction d'alimentation des hommes. Les ligneux fourragers jouent un rôle prépondérant dans les bilans fourragers des systèmes d'élevage extensifs, tant est important leur apport en protéines indispensables à l'équilibre alimentaire du cheptel sur pâturage naturel au cours de la saison sèche. La dynamique régressive du fourrage, la raréfaction voire la disparition de certaines espèces fourragères, l'indisponibilité des ressources en eaux, conditionnent la mobilité du cheptel et les ligneux deviennent indispensables surtout durant la saison sèche (Sinsin, 1998). L'élevage de bovins et des petits ruminants dans la Commune de Savalou repose sur les pâturages naturels et les résidus de récolte. Les animaux s'alimentent essentiellement sur les parcours naturels logés dans différents types de formations végétales, qui se trouvent dans les substrats intimement liés au relief de la zone concernée (Toko, 2008). En effet, l'élevage dans la Commune est caractérisé par un système alimentaire de type pastoral, c'est-à-dire l'utilisation exclusive des parcours naturels et de quelques résidus de récolte. L'élevage du bovin est l'apanage des peulhs, un groupe socio-culturel d'éleveurs-pasteurs (Agonyissa et Sinsin, 1998). Les animaux s'alimentent essentiellement sur les parcours naturels, dans différents types de formations végétales (Rivière, 1977). L'existence des pâturages dans les formations végétales naturelles, et les points d'abreuvement le long des cours d'eau sont les facteurs qui entretiennent l'exercice de cette activité (Arouna et al., 2010).

Les travaux de recherche effectués sur les pâturages naturels tropicaux visent dans leur grande majorité à caractériser et à préserver l'écosystème pâturé par la typologie des formations végétales pâturables, l'estimation de leur productivité, leur évolution et la recherche d'innovation susceptibles d'améliorer leur productivité (Toko, 2014).

La surexploitation de ces parcours, l'extension continue des surfaces cultivées et la croissance du cheptel bovin entraînent une régression progressive

de la flore et du potentiel fourrager dont les impacts sur le devenir du couvert végétal de la région méritent d'être investigués de façon approfondie.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Zone d'étude

La Commune de Savalou est située entre 7°36' et 8°8' de latitude nord d'une part ; 1°36' et 2°8' de longitude est d'autre part (figure 1).

2.1.1. Milieu physique

Situé dans une zone de transition entre le climat guinéen et le climat soudanien (Boko, 1988 ; Bokonon-Ganta, 1987 ; Afouda, 1990), le milieu d'étude a un régime pluviométrique à cheval entre la distribution bimodale du sud et la distribution uni modale du nord. La pluviométrie annuelle oscille généralement entre 900 et 1200 mm mais peut atteindre parfois 1500 mm (1555,1 mm en 1999). Comme dans l'ensemble du moyen Bénin, on distingue quatre (4) saisons dans le secteur d'étude (Adam et Boko, 1993 ; Afouda, 1990).

Le site occupé par la Commune de Savalou repose sur du matériel précambrien du vieux socle granito gneissique. Le modèle est une pénélaine avec des dômes isolés appelés inselbergs et de petites chaînes dont l'une s'étend sur près de 20 km donnant à la commune son appellation du « pays de la chaîne des collines ». Les sols, les plus répandus sont les sols ferrugineux tropicaux avec par endroit des étendues de concrétion. On y rencontre aussi des sols hydromorphes et des vertisols. La végétation est composée par endroits de galeries forestières, de forêts claires, de savanes boisées, de savanes arbustives et arborées, des plantations et des mosaïques de cultures et de jachères.

La formation végétale dans la Commune de Savalou est caractérisée par une forêt galerie dominée par les espèces : *Anogeissus leiocarpa*, *Pterocarpus erinaceus* et *Daniellia oliveri*; une forêt claire dominée par les espèces : *Pterocarpus erinaceus*, *Anogeissus leiocarpus*, *Isobertinia doka*. La strate herbacée est la plus souvent composée de *Andropogon gayanus*, *Andropogon tectorum* et *Hyparrhenia volucrata* ; une savane boisée dominée par les espèces : *Daniellia oliveri*, *Azelia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Burkea africana*. Quant à la strate herbacée, elle comporte les graminées comme *Andropogon tectorum*, *Andropogon gayanus*. Une savane arborée

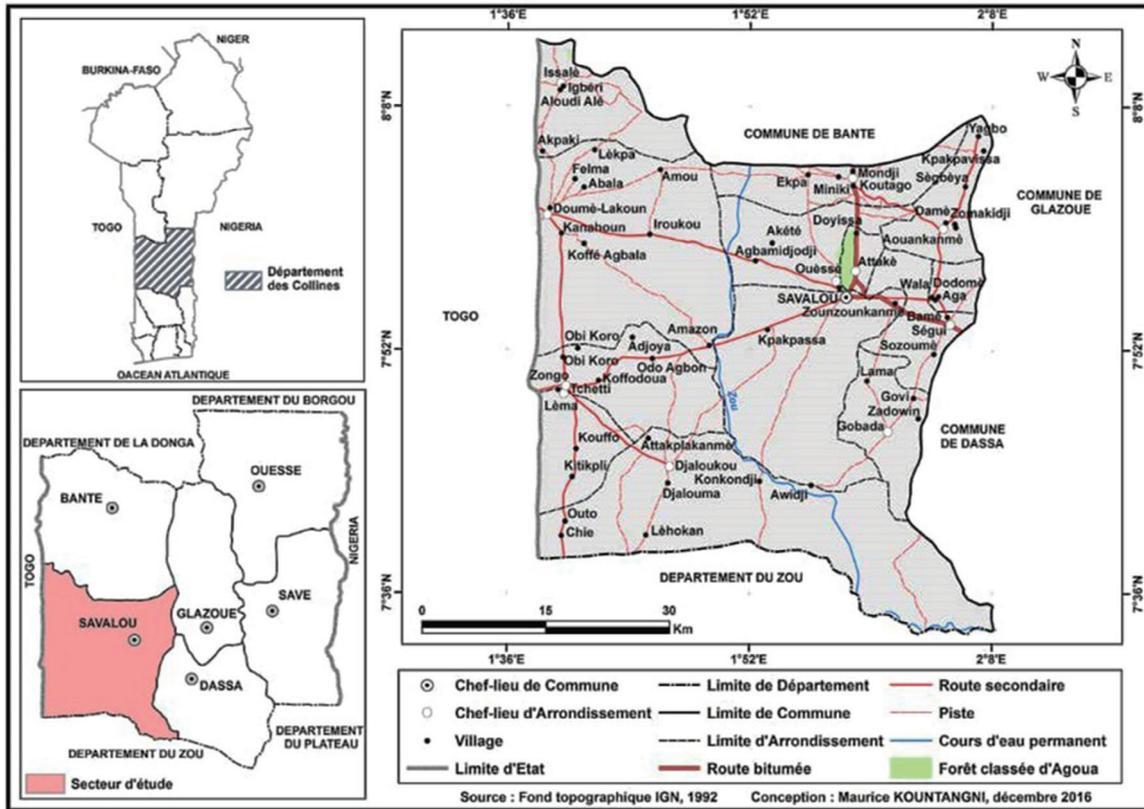


Figure 1 : Situation géographique de la Commune de Savalou

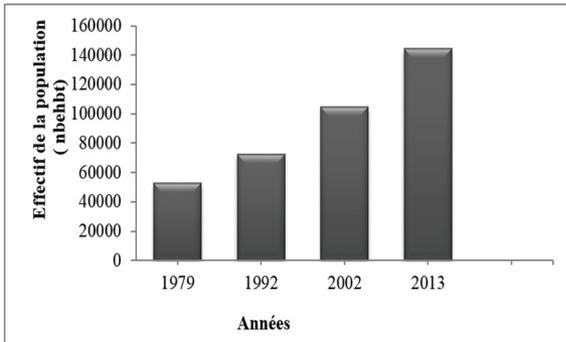


Figure 2 : Evolution de la population de la Commune de Savalou (Source : INSAE, 2016)

et arbustive dominée par des espèces telles que *Burkea africana*, *Detarium microcarpum* et *Piliostigma thonningii*. Au niveau de la strate herbacée, on note la dominance de quelques graminées comme *Sida acuta* et *Hyparrheniain volucrata*. Dans l'ensemble, on a les anacarderaies et les palmeraies qui sont de vieilles plantations. Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) est un élément essentiel du parc agroforestier de la commune de Savalou.

2.1.2. Facteur humain

- Evolution démographique

La commune de Savalou a une population de 144 549 habitants inégalement répartie dans 14 arrondissements (INSAE, 2013). Cette population est essentiellement jeune et majoritairement agricole. Plusieurs migrations ont contribué au peuplement de la commune. La figure 2 présente l'évolution de la population de Savalou de 1979 à 2013.

Activités économiques

Les principales activités des populations sont l'agriculture, l'élevage. Il s'agit d'une agriculture de subsistance itinérante sur brûlis. La demande croissante des populations en bois de chauffe participe à la dégradation de l'environnement.

• Agriculture

L'agriculture est la base de l'économie de la commune de Savalou. Elle est pratiquée tant par les hommes que par les femmes. Le secteur agricole est caractérisé par un potentiel en superficie cultivable de 43 700 ha (Monographie Savalou, 2006). Les cultures

vivrières dominantes : l'igname (*Dioscorea alata*), le maïs (*Zea mays*), le manioc (*Manihot esculenta*), le niébé (*Vigna unguiculata*) et le riz (*Oriza sativa*) sont la base de l'alimentation des populations de la commune de Savalou. On y produit aussi le coton (*Gossypium hirsutum L.*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le voandzou (*Vigna subterranea*), le soja (*Glycine max*) et les produits maraîchers.

• Elevage

Les principales espèces animales élevées sont les volailles, les caprins, les ovins, les bovins et les porcins. Récemment, les populations ont commencé à s'intéresser à l'élevage non conventionnel notamment la cuniculture et l'aulacodiculture. L'élevage des bovins est animé prioritairement par les peuhls éleveurs qui portent une attention particulière à la santé de leurs bœufs dont environ 93% sont traités.

2.2. Matériel

Le matériel utilisé est composé de :

- GPS (Global Positioning System) pour la géo-localisation et le contrôle-terrain ;
- logiciels Idrisi Selva 17.0 pour le traitement numérique de ces images satellitaires Landsat et la simulation des changements d'occupation et d'utilisation des sols (LULCC) ;
- ArcGIS 10.1 pour les travaux de cartographie et analyses SIG ;
- le tableur Excel pour le traitement des données statistiques.

Les données utilisées au cours de cette étude sont les cartes d'occupation du sol des parcours naturels de la commune de Savalou en 1995 et en 2015 tirées respectivement des :

- Fonds topographiques, IGN au 1/200 000 ; Feuilles d'Abomey de 1992,
- Les images Landsat TM de 1995,
- Les images Landsat OLI/TIRS de 2015,

Ces données ont permis de réaliser les cartes d'occupation du sol du secteur d'étude de 1995 et de 2015.

2.2.1. Traitements des données planimétriques

- Traitement numérique des images satellitaires

*Composition colorée

La composition colorée permet de produire des images en couleur tenant compte de la signature

spectrale des objets. Elle sert avant tout à distinguer les différents objets présents dans les images et ainsi faciliter l'interprétation des images. Dans ce traitement, les bandes 4, 5, 3 de Landsat 7 ETM+ et 5, 4, 3 de Landsat 8 ont été respectivement utilisées.

-Choix des aires d'entraînement

Les aires d'entraînement sont des sites représentatifs des caractéristiques numériques des classes qui permettent de définir les signatures spectrales de chaque unité paysagère. Les aires d'entraînement ont été délimitées loin des zones de transition des pixels mixtes, c'est-à-dire des pixels qui pourraient être classées dans deux classes distinctes. Sur les images, les aires d'entraînement sont tracées au pixel près et, bien dispersées sur l'ensemble du secteur d'étude, représentatives de la diversité de chaque classe d'unité paysagère. Le nombre d'aires d'entraînement sera d'autant plus grand que la classe est homogène. La taille de l'aire d'entraînement doit être supérieure à l'erreur de localisation et inférieure à l'objet à détecter (Kioko et Okello, 2010). Elle peut être estimée de la façon suivante : $A = P(1+2L)$ (Arouna, 2012) ; avec A = la superficie de l'aire d'entraînement; P = dimension du pixel en mètre ; L = précision de la localisation en mètre.

- Classification supervisée par maximum de vraisemblance

Dans la classification supervisée, l'analyste d'image supervise le processus de catégorisation des pixels en spécifiant à l'algorithme informatique des descripteurs numériques de divers types d'occupation du sol présents dans la scène. Ainsi, des échantillons représentatifs des sites connus dans l'occupation du sol (parcelles d'entraînement) ont été utilisés pour établir une caractéristique numérique clé pouvant décrire au mieux les attributs spectraux pour chaque type de classes. Dans ce cas, l'algorithme paramétrique choisi est le maximum de vraisemblance. Au total, six classes communes d'occupation du sol ont été identifiées sur les deux images retenues (celle de 1995 et de 2015). Il s'agit de : Savanes Arborée et Arbustive (SAA), Forêt Claire et Savane Boisée (FCSB), Forêt Galerie (FG), Champs et Jachères (CJ), Forêt Dense (FD), Autres Unités (AU).

2.2.2. Analyse statistique des changements d'état de la végétation des parcours naturels

- Taux moyen annuel d'exploitation spatiale (T)

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol a été faite à partir du calcul du taux d'extension spatiale moyen annuel. 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. Ainsi pour S1 et S2 correspondant respectivement aux superficies d'une unité de l'occupation du sol en 1995 et 2015, le taux d'extension spatiale moyen annuel T, est évalué à partir de la formule ci-dessous et adoptée par Oloukoï et al. (2006) et Arouna et al. (2009) cité par Gobi Mohamed (2014).

$$T = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) \times 100} \quad (\text{Eq. 1})$$

S₁ et S₂ : Superficie d'une unité paysagère à la date t₁ et t₂ respectivement ; t₂ - t₁ : Nombre d'année d'évolution ; ln : Logarithme népérien ; e : Base du logarithme népérien (e = 2,71828).

- Matrice de transition

La matrice de transition permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères entre deux années (1995 et 2015). Elle est constituée de m lignes et de n colonnes. Le nombre m de lignes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères présentes en 1995 tandis que le nombre n de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères converties en 2015. Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées. Dans cette matrice, les transformations se font des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes d'unités paysagères sont calculées à partir du croisement des cartes de végétation de 1995 et de 2015 à l'aide de la fonction « Intersect » de l'interface « Arc Toolbox » du logiciel Arc GIS 10.1.

- Taux de conversion

Le taux de conversion d'une classe d'unité d'occupation du sol correspond au degré de transformation subie par cette classe en se convertissant vers d'autres classes (Arouna, 2012) ; C'est donc la quantité de changements observés au niveau d'une unité d'occupation du sol entre 1995 et 2015. Il permettra ainsi de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation du sol. Il s'obtiendra à partir de la matrice de transition suivant la formule :

$$T_c = \frac{S_{it} - S_{is}}{S_{it}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

S_{it} : Superficie de l'unité paysagère i à la date initiale t ;
S_{is} : Superficie de la même unité demeurée stable à la date t₁.

- Programme "Pontius"

Le programmes d'analyse "Pontius Matrix 22" et "Intensity Analysis 02.xlms" de Aldwaik et Pontius (2012) ont permis de mesurer les intensités des changements selon les intervalles de temps, les unités d'occupation du sol et les transitions entre les unités d'occupation du sol. Ce programme s'est basé sur les matrices de transition de 1995-2015 (tableau 2) pour générer deux graphiques montrant lesdites intensités au cours de cette période. Le premier graphique (figure 4) présente les intensités des changements survenus au niveau des catégories. Le deuxième graphique (figure 5) présente les intensités de pertes et de gains par catégorie. A ce niveau, l'état de rapidité des changements est déterminé grâce à la ligne verticale en tireté bleu, appelée ligne de zone uniforme. Si le graphique est à gauche de la ligne où les changements devraient s'arrêter. Si le graphe est à gauche de ligne le changement est dit lent ou dormant; par contre, si le graphe est à droite le changement est dit rapide ou actif.

2.3. Principe de la modélisation prédictive

Il existe plusieurs méthodes et outils de modélisation, parmi les plus utilisées et/ou diffusées : CA_MARKOV sur IDRISI (Eastman, 2009), CLUE-S (Verburg et al., 2002 ; Orekan, 2007 ; Verburg et Overmars, 2009), Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2002, 2006, 2009), Land Change Modeler utilisé sous Arc GIS (Arouna, 2012) et Land Change Modeler disponible sur IDRISI (Vigneau, 2013). Dans le cadre de la présente étude, c'est le Land Change Modeler (LCM) d'IDRISI Selva qui a été utilisé.

- Présentation et fonctionnement du modèle

Le modèle prédictif travaille avec deux cartes d'occupation du sol, une carte actuelle et une carte antérieure. Dans le cas de la présente étude, il s'agit des cartes d'occupation du sol de 1995 et de 2015. Une étude comparative de ces deux dates a permis de déterminer les transitions, quantifier les surfaces concernées par chaque type de transition et localiser ces changements. Les matrices de transition seront utilisées pour déterminer les changements potentiels futurs. Chaque type de transition peut être expliqué par des facteurs connus, quantifiables et cartographiables. Le modèle va ensuite combiner les différents facteurs en leur assignant des poids

plus ou moins forts afin d'expliquer les transitions entre les deux cartes d'occupation du sol fournies au début. Grâce à la mise en relation et la combinaison des facteurs explicatifs et des changements survenus entre les deux cartes d'occupation du sol d'origine, le modèle va réaliser via une méthode statistique des cartes de probabilité des changements. Ces cartes de probabilité correspondent aux transitions retenues. Le nombre de carte de probabilité est fonction du nombre de transition isolé. Ce sont alors les premières cartes fournies par le modèle. Ensuite, le modèle va produire une carte d'occupation du sol prospective pour une date t_n en se basant sur les cartes de probabilité précédemment réalisées. Cette étape réalisée grâce à un automate cellulaire, simule les changements précédemment identifiés et les allouent dans l'espace.

3. Résultats

3.1 Cartographie de la dynamique des parcours naturels

L'évolution des formations végétales des parcours naturels entre 1995 et 2015 a été ensuite évaluée à travers les taux globaux d'évolution, la matrice de transition, les taux de variation et les taux moyens annuels d'expansion spatiale.

3.1.1 Etat des formations végétales des parcours naturels et des mosaïques de champs et jachères en 1995 et en 2015

En 1995, la physionomie de la végétation des parcours naturels était dominée par les savanes arborées et arbustives et les forêts claires et savanes boisées, qui représentaient respectivement 65,02% et 18,34% de la superficie (figure 3, tableau 1). Les forêts galeries, y étaient également rencontrées (4,02%) et étaient présentes le long des cours d'eau importants notamment le zou et Agbado. Par ailleurs, les mosaïques de champs et jachères qui ne sont pas des parcours naturels mais qui sont des aires de pâturage en saison sèche occupaient 11,07% de la superficie.

En 2015, la végétation des parcours naturels du secteur d'étude était dominée par les savanes arborées et arbustives (52,68%). On retrouve également les autres formations végétales (forêt claire et savane boisée, forêt galerie) observés en 1995 (figure 3, tableau 1). De l'analyse du tableau 1, il ressort que les forêts galeries, la forêt dense, la forêt claire et savane boisée, la savane arborée et arbustive ont connu une évolution régressive tandis que les mosaïques de champs et jachères et autres unités ont connu une regression progressive.

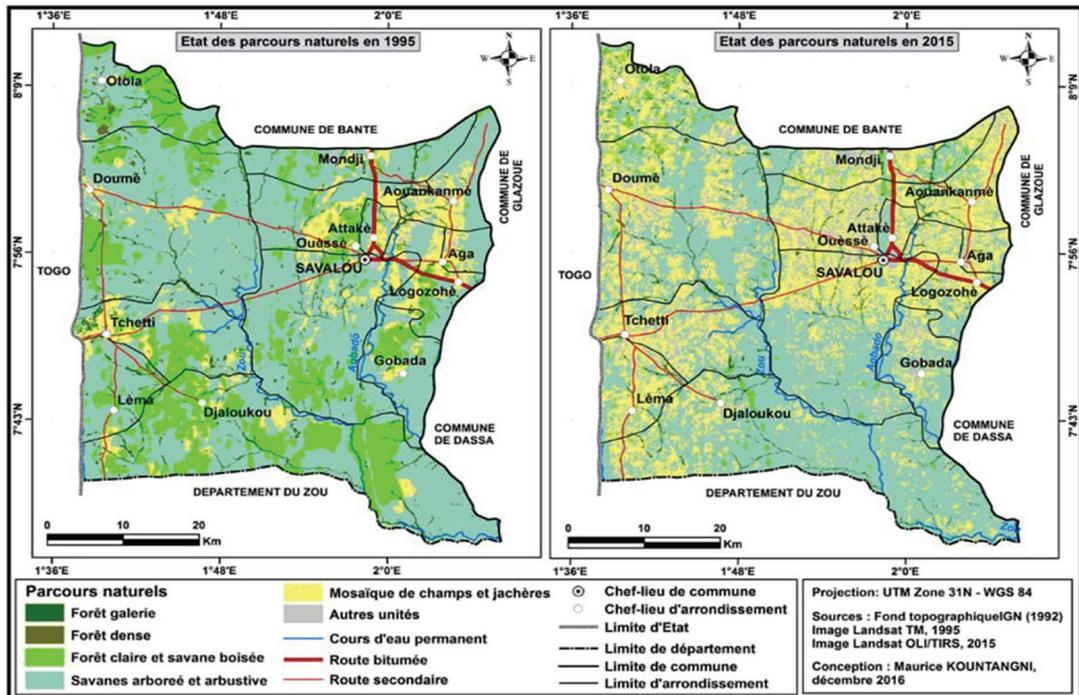


Figure 3 : Unités d'occupation du sol de 1995 et de 2015

Tableau 1: Superficies des unités d'occupation des terres en 1995 et 2015

Unités d'occupation des terres	1995		2015		Bilan (%)
	S (ha)	P (%)	S (ha)	P (%)	
Forêt galerie	10 877	4,05	6 686	2,49	-1,56
Forêt dense	607	0,23	268	0,10	-0,13
Forêt claire et savane boisée	49 233	18,34	5 695	2,12	-16,22
Savanes arborée et arbustive	174 585	65,02	141 454	52,68	-12,34
Mosaïque de champs et jachères	29 728	11,07	91 104	33,93	22,86
Autres unités	3 470	1,29	23 293	8,68	7,38
Total	268 500	100	268 500	100	

S (km²) : Superficies ; P : Proportion en pourcentage (Source : Images Landsat TM, 1995 et OLI/TIRS, 2015)

Tableau 2: Matrice de transition des unités d'occupation des terres entre 1995 et 2015

Unités de 1995	Unités de 2015						Sup. totale en 1995 (ha)
	FG	FD	FCSB	SAA	MCJ	AU	
FG	6 686	0	0	0	4191	0	10 877
FD	0	067	131	141	269	0	607
FCSB	0	105	2 489	28 269	13 471	4 898	49 233
SAA	0	0	3 171	103 735	59 301	8 378	174 585
MCJ	0	0	0	9 309	13 872	6 547	29 728
AU	0	0	0	0	0	3 470	3 470
Sup. totale en 2015 (ha)	6 686	268	5 695	141 454	91 104	23 293	2 685

Légende : FG : Forêt galerie ; FD : Forêt dense ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive ; MCJ : Mosaïque de champs et jachères ; AU : Autres unités

Sup. totale 1995 : Superficie des unités d'occupation du sol en 1995 ; Sup. totale 2015 : Superficie des autres unités d'occupation du sol en 2015 ; 66,86 : Superficie demeurée stable entre 1995 et 2015

3.1.2 Dynamique des formations végétales des parcours naturels et des mosaïques de champs et jachères entre 1995 et 2015

La dynamique des unités d'occupation du sol des parcours naturels et des mosaïques de champs et jachères de 1995 à 2015 est résumée par la matrice de transition (tableau 2). Dans les cellules des lignes et des colonnes se trouvent respectivement les unités d'occupation du sol de 1995 et de 2015. Les cellules de la diagonale correspondent aux superficies des unités qui sont demeurées stables de 1995 à 2015. Les unités qui sont en dehors de la diagonale représentent les changements des unités d'occupation du sol. L'examen de la matrice de transition (tableau 2) révèle que toutes les unités d'occupation du sol observées en 1995 sont également présentes en 2015. De façon générale, on remarque que les formations naturelles ont subi deux modes probables de conversion : la savanisation et/ou l'anthropisation. Les taux de conversion et les taux moyens annuels d'expansion spatiale (tableau 3) permettent une meilleure

Tableau 3: Taux de conversion Tc et taux moyens annuels d'expansion spatiale (T) des unités d'occupation des terres 1995 à 2015

Unités d'occupation des terres	T (%)	Tc (%)
Forêts galeries	-2,43	38,53
Forêt dense	-4,08	88,97
Forêt claire et savane boisée	-10,78	94,94
Savanes arborées et arbustives	-1,05	40,58
Mosaïque de champ et jachère	5,60	53,34
Autres unités	9,51	0

T : Taux moyen annuel d'expansion spatiale. Il exprime la proportion de chaque unité d'occupation du sol qui change annuellement ;

Tc : Taux de conversion. Il s'agit de la quantité de changements observés au niveau d'une unité d'occupation du sol entre 1995 et 2015.

compréhension des différentes transformations subies par la végétation de 1995 à 2015.

3.1.3. Intensité des changements par unité d'occupation du sol entre 1995 et 2015

La figure 4 présente l'intensité des changements

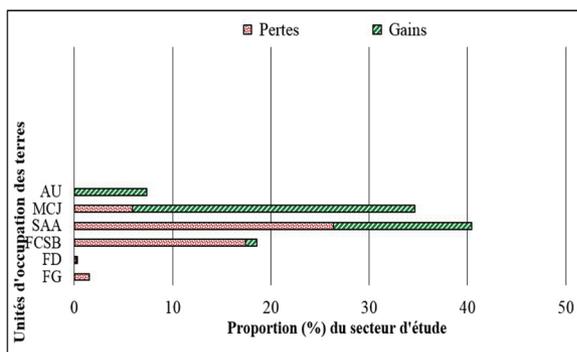


Figure 4 : Intensité des changements opérés par catégorie d'occupation du sol entre 1995 et 2015

intervenues par catégorie d'occupation du sol entre 1995 et 2015.

L'examen de la figure 4 montre que les changements entre les catégories d'occupation du sol se sont opérés dans la zone d'étude de façon différentielle sur le plan spatial. Dans chaque catégorie, des zones de perte, de stabilité et de gain ont été observées et occupent chacune des proportions différentes. Ainsi, les savanes arborées et arbustives sont les catégories d'occupation du sol au niveau desquelles les changements ont été les plus significatifs sur environ 79 % du secteur d'étude avec 26 % de pertes contre 14 % de gains et 39 % de stabilité. Elles sont suivies des mosaïques de champs et jachères sur 40 % du secteur d'étude avec 6 % de pertes contre 29 % de gain et 5 % de stabilité ; Les forêts galeries viennent ensuite avec 2% de perte et 20 % de stabilité ; Les forêts claires et savanes boisées avec 17 % de perte; 1 % de stabilité et 1 % de gain. Les autres unités avec 7 % de gain et 1 % de stabilité. Les forêts denses constituent les catégories d'occupation du sol ayant connu très peu de changement (figure 4).

3.1.4. Intensités et vitesses des changements à l'intérieur de chaque unité d'occupation des terres entre 1995 et 2015

La figure 5 présente les intensités et les vitesses des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation du sol entre 1995 et 2015 ; celle-ci montre que toutes les unités d'occupation du sol n'ont pas connu les mêmes changements en termes de perte et de gain. Il y a des unités qui ont connues uniquement de pertes et d'autres uniquement de gain.

La ligne verticale bleue en tirets est le seuil où les changements restent uniformes. Si le graphe est à gauche de la ligne, le changement est dit lent

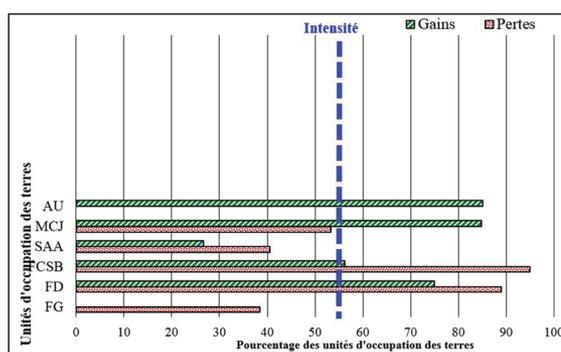


Figure 5 : Intensité et vitesses des changements par catégorie d'occupation du sol entre 1995 et 2015

ou dormant ; par contre, si le graphe est à droite le changement est dit rapide ou actif. Ainsi, les intensités des changements opérés au niveau des différentes unités d'occupation des parcours naturels du secteur d'étude sont en majorité actives ou rapides à l'exception des savanes arborées et arbustive et les forêts galeries qui connaissent un changement dormant.

Entre 1995 et 2015, les parcours naturels de la zone d'étude sont les unités composées des forêts claires et savanes boisées et des forêts denses, qui ont eu la plus grande vitesse de changement avec des pertes de 95 % et 89 % et des gains de 56 % et 75 % ; Viennent ensuite les mosaïques de champs et jachères et autres unités avec 85 % de gains. Par contre, les savanes arborées et arbustives ont connu 41 % de perte et 27 % de gains. Quant à la forêt galerie elle a connu 39% de perte.

3.1.5. Synthèse de la conversion des formations végétales des parcours naturels, des mosaïques de champs et jachères de 1995 à 2015

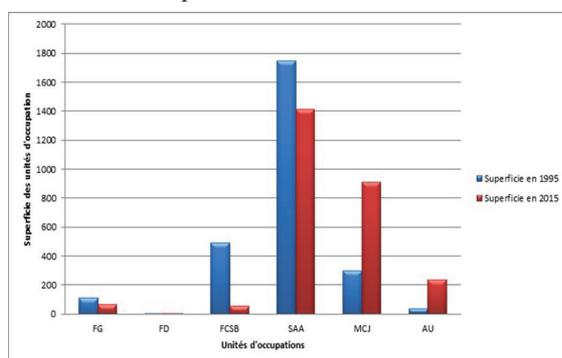
Les formations végétales (galeries forestières, forêts claires et savane boisée, savane arborée et arbustive, forêt dense) des parcours naturels ont connu une diminution de leurs superficies en dehors des mosaïques de champs et jachère ; autres unités qui ont connu une évolution progressive (tableau 1). Une partie des forêts galeries, des forêts claires et savanes boisées, forêt dense s'est transformée en savanes arborées et arbustives et en mosaïques de champs et jachères. Ainsi, les savanes arborées et arbustives sont devenues les formations végétales des parcours naturels ayant la plus grande superficie en 2015. On note néanmoins de façon générale, une diminution des superficies des formations végétales

des parcours naturels qui sont passées de 2 353,01 km² en 1995 à 1 541,03 km² en 2015 au profit des mosaïques de champs et jachères. Cette régression des superficies est surtout le résultat de la pression agropastorale et l'exploitation forestière exercée sur les ressources naturelles dans les Communes de Savalou.

On constate que les régressions ont concerné surtout les forêts galeries, la forêt dense, forêt claire et savane boisée, savane arborée et arbustive qui sont transformés en mosaïque de champs et jachère et autres unités qui ont connu une évolution progressive.

3.2 Modélisation prédictive de l'évolution des formations végétales des parcours naturels des troupeaux bovins dans la Commune de Savalou

La prédiction a été faite sur une période de 15 ans soit à l'horizon 2030 en considérant que les pratiques actuelles de l'exploitation des ressources naturelles



Légende : FG : Forêt Galerie ; FD : Forêt Dense ; FCSB : Forêt Claire et Savane Boisée ; SAA : Savanes Arborée et Arbustive ; MCJ : Mosaïque de Champs et Jachères ; AU : Autres Unités

Figure 6 : Evolution des formations végétales des parcours naturels, des mosaïques de champs et autres unités

Tableau 4 : Superficies des unités d'occupations des parcours naturels en 2030

Unités d'occupation des terres	Superficies (ha)	Proportion (%)
Forêt claire et savane boisée	394	0,14
Forêt dense	105	0,03
Forêt galerie	3 658	1,36
Savanes arborée et arbustive	130 280	48,52
Mosaïque de champs et jachères	109 558	40,80
Autres unités	24 500	9,12
Total	268 500	100

Source : Prédiction des formations végétales des parcours naturels à l'horizon 2030

seront toujours maintenues. Les probabilités de transition établies, déduites des cartes d'occupation du sol de 1995 et de 2015 constituent les bases de cette prédiction (les inputs du modèle). La carte d'occupation du sol de 2030 présente l'évolution probable des différentes unités d'occupation en tenant compte des facteurs de changement.

3.2.1 Tendances évolutives des formations végétales des parcours naturels à l'horizon 2030 dans la Commune de Savalou

Les probabilités de transition déduites à partir des cartes d'occupation du sol de 1995 et de 2015 ont permis d'obtenir l'état probable de l'occupation du sol à l'horizon 2030. L'examen de la figure 7, montre que de façon générale, la physionomie des parcours naturels de la Commune de Savalou, sera probablement dominée par les savanes arborées et arbustives. Plus spécifiquement, les savanes arborées et arbustives seront les unités les plus importantes des parcours naturels à Savalou.

Par ailleurs, les mosaïques de champs et de jachères qui constituent des aires de pâturage en saison sèche connaîtront une extension de leurs superficies au détriment de celles de parcours. Le tableau 4 présente les superficies probables des différentes formations végétales des parcours naturels en 2030. L'examen de la figure 7 et du tableau 4, montre que les formations végétales des parcours naturels à l'horizon 2030 seront probablement constituées par ordre d'importance de savanes arborées et arbustives, la forêt galerie, la forêt claire et savane boisée et la forêt dense. En effet, les savanes arborées et arbustives occuperont 48,52 % des parcours naturels de la Commune. Les galeries forestières couvriront environ 1,36 %. Les forêts claires et savanes boisées représenteront 0,14% de la superficie.

La modélisation prédictive des parcours naturels à l'horizon 2030 à partir des cartes de végétation des parcours naturels de 1995 et 2015 et des probabilités de transition présage d'une relative progression des savanes arborées et arbustives au détriment des formations telles que les forêts claires et savanes boisées et les galeries forestières si les pratiques actuelles d'exploitation des ressources naturelles sont maintenues. D'une manière générale, les formations végétales des parcours naturels dans la Commune de Savalou connaîtront une diminution de leurs superficies au profit des mosaïques de champs et jachères. En effet, les superficies des parcours naturels passeront

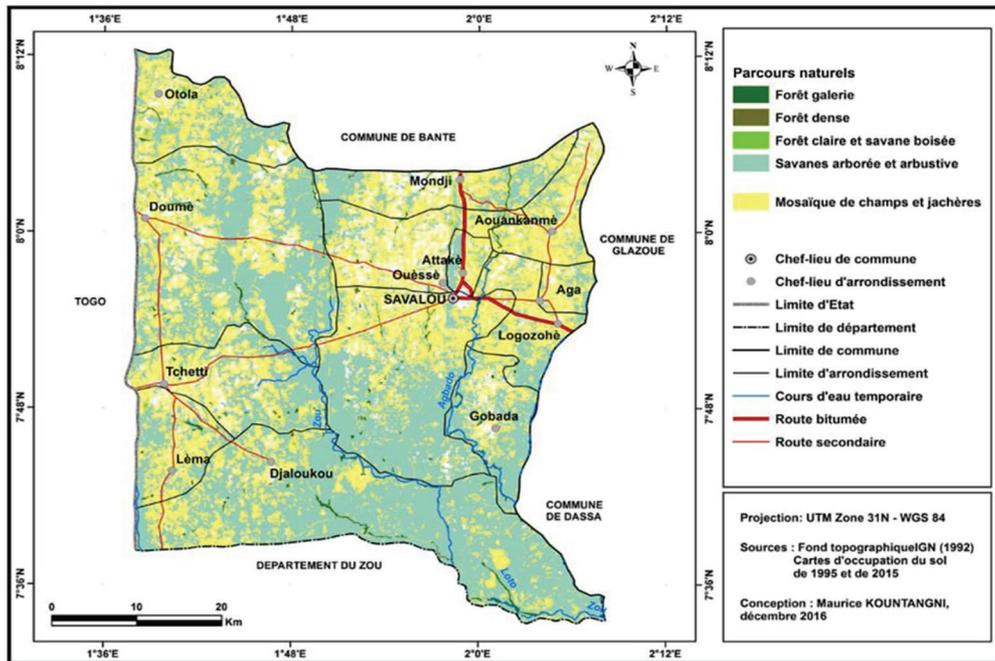


Figure 7: Prédiction de l'occupation des parcours naturels de la Commune de Savalou à l'horizon 2030

de 154 103 ha en 2015 à 134 437 ha en 2030 ; Avec cette tendance, les parcours naturels seront davantage dégradés. Le devenir des parcours naturels dans la Commune constitue une préoccupation majeure à laquelle il est important de trouver des solutions efficaces pour une meilleure gestion des ressources naturelles notamment les ressources pastorales.

4. Discussion

L'approche méthodologique utilisée au cours de cette recherche vient compléter la base de données méthodologique déjà utilisée par plusieurs auteurs sur cette thématique. Cette recherche a permis de réaliser une analyse statistique des dynamiques de changement d'occupation et d'utilisation des parcours naturels de 1995 à 2015 venant ainsi compléter le travail de plusieurs auteurs. Ces analyses visant à quantifier localiser et identifier les processus de transition entraînant un changement d'occupation du sol ont mis en évidence des dynamiques différenciées pour les parcours naturels de la Commune de Savalou. En effet, les résultats de la présente étude ont montré que les forêts galeries ; les forêts claires et savanes boisées ; les forêts denses et les savanes arborées et arbustives des parcours naturels ont connu une régression de leur Superficie qui est passée respectivement de 4,05 % ; 18,34 % ; 0,23% ;

65,02% en 1995 à 2,49% ; 2,12% ; 0,10% ; 52,68% en 2015. Alors que les mosaïques de champs et jachère et autres unités ont connu une évolution progressive de leur superficie qui sont passées respectivement de 11,07 % et 1,29% en 1995 à 33,93 % et 8,68% en 2015.

Plusieurs auteurs sont parvenus à la même conclusion notamment Hountondji (2008), qui a montré que dans les zones soudaniennes et soudano-guinéennes, le taux de diminution moyen annuel de la forêt dense sèche et des galeries forestières est estimé à 2,8 %. Cette tendance régressive élevée de cette classe s'explique principalement par la culture extensive du coton et les assauts saisonniers des éleveurs transhumants dans les forêts denses sèches et les galeries forestières à la recherche des ressources fourragères et de l'eau.

Toko (2014) est parvenu à la même conclusion dans les Communes de Banikoara et Karimama au Bénin, le taux de diminution des galeries forestières et forêts claires et savanes boisées est estimé à 5,98 %. Cette tendance est due à la pression des troupeaux bovins et la culture de coton ; De même, Orékan (2007) est parvenu à une projection future de la dynamique de l'occupation des terres sur la base des simulations par le modèle Dina-CLUE en développant le scénario socio-économique dans la zone de l'Ouémé Supérieur. Les résultats de notre étude confirment en

partie celui de Orékan (2007) car son scénario prévoit une extension des espaces agricoles au détriment des formations végétales naturelles à l'horizon 2025. L'hypothèse selon laquelle les parcours naturels des troupeaux bovins dans la Commune de Savalou connaissent une évolution régressive du fait des pressions agropastorales et des variabilités climatiques est alors vérifiée.

La modélisation prédictive des parcours naturels des troupeaux bovins dans la Commune de Savalou à l'horizon 2030 a révélé que la physionomie de ces parcours naturels, sera probablement dominée par les savanes arborées et arbustives. Les forêts galeries ; les forêts claires et savanes boisées et la forêt dense connaîtront une réduction sensible de leur superficie. Le Land Change Modeler d'IDRISI Selva utilisé dans le cadre de la présente étude a abouti à une projection future de la dynamique de parcours naturels sur la base des simulations par le modèle. Considérant que les pratiques actuelles de l'exploitation des ressources naturelles sont maintenues, la physionomie des parcours naturels dans la Commune de Savalou sera dominée en 2030 par les savanes arborées et arbustives qui occuperont 53,39 % des superficies de ces parcours. Les mêmes constats ont été faits par Lessé (2011) en procédant à une modélisation des parcours naturels à l'aide du modèle CLUE-S dans les terroirs villageois autour du Parc National W et Toko (2014) par le modèle LCM des parcours naturels des Communes de Banikoara et de Karimama. Des résultats similaires ont été obtenus par Arouna (2012), dans la Commune de Djidja au Bénin qui a procédé à une modélisation prédictive de la végétation à l'horizon 2020 à l'aide du modèle Land Change Modeler utilisé sous ArcGIS.

Ainsi, le choix d'un modèle est indispensable pour la prédiction prospective. En définitive, la modélisation prédictive des parcours naturels des troupeaux bovin dans la Commune de Savalou à l'horizon 2030 à partir des cartes de végétation de 1995 et 2015 et des probabilités de transition présage d'une relative progression des savanes arborées et des savanes arbustives au détriment des formations forêts claires et savanes boisées et des forêts galeries et la forêt dense si les pratiques actuelles d'exploitation des ressources naturelles sont toujours maintenues. Cependant, les mosaïques de champs et jachères qui ne font pas partie des parcours naturels mais qui servent d'aires de pâturage en saison sèche avec l'utilisation des résidus

de récolte et les autres unités d'occupations seront les formations anthropiques les plus importantes.

5. Conclusion

L'élevage des troupeaux bovins fait partie du système d'élevage de la zone d'étude et est très important dans les habitudes sociales de chaque acteur impliqué dans la gestion du troupeau bovin. La présente recherche a permis de cartographier les parcours naturels des troupeaux bovins dans la Commune de Savalou. Il s'agissait d'identifier dans un premier temps les changements intervenus dans ces parcours et de faire une projection à l'horizon 2030 en utilisant les cartes d'occupation de 1995 et de 2015. L'analyse cartographique et la modélisation des parcours naturels des troupeaux bovin ont révélé que les formations végétales de la Commune ont connu de profondes modifications physionomiques et floristiques. La cartographie de la dynamique des parcours naturels à partir des images satellitaires a montré que les forêts galeries, les forêts claires et les savanes boisées ont connu une diminution de leur superficie au profit des savanes arborées et arbustives et des mosaïques de champs et jachères.

Le devenir des parcours naturels a été projeté à partir de la modélisation prédictive basée sur des probabilités de transition en considérant que les pratiques actuelles de l'exploitation des ressources naturelles seront maintenues. Selon la base des probabilités de transition, la modélisation prédictive réalisée à l'horizon 2030 présage que les savanes arborées et arbustives occuperont 53,39 % de la superficie totale des parcours naturels de la Commune de Savalou. Par contre, les forêts denses, les forêts galeries, les forêts claires et savanes boisées couvriront respectivement 0,04 %, 1,5 % et 0,16 % des superficies de ces parcours en 2030. La gestion intégrée des territoires passera par la prise en compte simultanée des activités humaines, des processus physiques, biologiques et chimiques et des conflits d'intérêt entre les différents usagers concurrents des ressources naturelles en particulier les éleveurs et les agriculteurs. De nouvelles questions complexes se posent alors aux gestionnaires des territoires et aux décideurs. Des outils d'aide à la décision sont alors incontournables pour effectuer des choix éclairés en matière de gestion des territoires dans le but de simuler les évolutions futures de l'occupation des terres afin d'anticiper la dégradation du couvert végétal naturel.

Bibliographie

- Adam, S.K. et Boko, M. (1993).** Le Bénin, Cotonou, *le Flamboyant*, 93p.
- Afouda, F. (1990).** L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leur relation avec le milieu rural de la savane africaine. *Thèse de Doctorat Nouveau Régime*, Paris IV, Sorbonne, France, 428p.
- Agonyissa, D. et Sinsin, B. (1998).** Productivité et capacité de charge des pâturages naturels au Bénin. *Revue Ele .Méd.Vét.pays trop.* 51(3) : pp. 239-246
- Aldwaik, S.Z. et Pontius, J.R.G. (2012).** Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106 : pp 103-114.
- Arouna, O. (2012).** Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : Implication pour l'aménagement du territoire. *Thèse de doctorat en Géographie*, UAC, 246 p.
- Arouna, O., Djogbénu, C.P., Sinsin, B. (2009).** Dynamique et caractéristiques phytoécologiques des formations végétales résiduelles dans la Commune de Djidja au Bénin. *Actes du colloque de deuxième colloque des sciences, cultures et technologie de l'Université d' Abomey-Calavi*, pp : 406-421.
- Arouna, O., Toko I., Djogbénu, P.C., Sinsin, B. (2010).** Impact de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol sur la végétation en zone soudano-Guinéenne au Bénin. *Rev. sc. Env. Univ. Lomé (Togo)*, 6, pp. 161-186
- Bernier, B. (1992).** Introduction à la macroéconomie. *Dunod*. Paris, 217 p.
- Bio, Bête, S. (1988).** Gestion de l'espace pastoral dans le Borgou, *thèse de doctorat*, Dakar, 89p.
- Boko, M. (1988).** Climat et communautés rurales au Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement, *thèse de doctorat d'Etat, Dijon*, Université de Bourgogne, 605p.
- Bokonon-Ganta, E.B. (1987).** Les climats de la région du golfe du Bénin (Afrique occidentale), *thèse de doctorat du 3^e cycle, Paris IV, Sorbonne*, 248p+Annexes.
- CEDEAO (2009).** Note adoptée d'orientation pour le développement de l'élevage dans l'espace *CEDEAO*, 6p.
- Eastman, R. (2009).** Idrisi Taiga, Guide to GIS and Image Processing, *manual version 16.02*, Clark University.
- FAO (2010).** Guide d'application au niveau intermédiaire. *Programme d'analyse socio-économique selon le genre* pp 1-120.
- Gobi, Mohamed, A. (2014).** Dynamique de l'occupation du sol et capacité de charge des pâturages naturels autour de la retenue d'hydraulique pastorale de Sakabansi dans l'arrondissement de Nikki. *Mémoire de maîtrise FLASH/DGAT/UAC*, 136p.
- Houéhanou, T.D., Houinato, M., Adadedjan, C., Gbangboche, A.B., Sylvie, M., Hounzangbe, A. et Sinsin, B.A. (2008).** Gestion pastorale et structure des terroirs agricoles dans la périphérie de la Djona (Nord-Est Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2(4): 497-507
- Hountondji, Y.C.H. (2008).** Dynamique environnementale en zones sahéliennes et soudaniennes de l'Afrique de l'ouest. Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, *Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique*, 131 p.
- INSAE (2013).** Recensement General de la Population et de l'Habitation (RGPH 4). *Résultats provisoires*, 8 p.
- Kioko, J. et Okello, M.M. (2010).** Land use cover and environmental changes in a semiarid Rangeland, Southern Kenya. *Journal of Geography and Regional Planning*, 3 (11): pp 322-326.
- Léssé, P. (2011).** Analyse de la gestion pastorale et de l'adaptation des éleveurs transhumants face aux variabilités climatiques dans les communes riveraines de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W (Bénin), *Thèse, DEA FSA/UAC*, 102p.
- Monographie de la Commune de Savalou au Bénin (2006).** 82p.
- Orekan, V.O.A. (2007).** Implementation of the local land-use and land-cover change model CLUE-s for Central Benin by using socio-economic and remote sensing data. *Ph.D. Thesis, Bonn University*, 204 p.
- Oloukoi, J., Mama, V.J. et Agbo, F.B. (2006).** Modélisation de la dynamique de l'occupation des

terres dans le Département des Collines au Bénin. *Téledétection* 6 (4), pp 305-323.

Rivière, R. (1977). Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. *IMVT*. Rep. Français Min.de la Coop. 525 p.

RIPIECSA (2009). Transhumance et changement climatique: utilisation d'outil d'aide à la décision dans la gestion durable des écosystèmes agropastoraux sahéliens» 31p

Soares-Filho, B.S., Pennachin, C.L. et Cerqueira, G. (2002). DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier, *Ecological Modelling*, 154, (3), pp. 217-235.

Toko, I. (2008). Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la

structure de la végétation le long des topos séquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin. *Thèse de Doctorat en Géographie*. Université d'Abomey Calavi. Cotonou. 241 p.

Toko, N. (2014). Cartographie et modélisation de la dynamique des parcours naturels des troupeaux transhumants dans les Communes de BANIKOARA et de KARIMAMA. *Mémoire de DEA /FLASH / UAC*, 101p.

Vigneau, C. (2013). Cartographie et modélisation des changements d'occupation du sol dans le Haut-Videssos 1942-2008. *Mémoire de Master 2*, Université de Toulouse, 75 p.

Verburg, P.H. and Chen, Y.Q. (2000). «Multiscale characterization of land-use patterns in China.» *Ecosystems*, 3, 369-385.