Université d'Abomey-Calavi (UAC)

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)
Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) «Espace, Cultures et Développement»

Faculté des Sciences et Techniques (FAST)
Chaire UNESCO Science, Technologie et Environnement (CUSTE)

Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi

Spécialité : Géographie et Gestion de l'Environnement
Option: Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

UTILITE DE LA TELEDETECTION ET DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BÉNIN





Par

Joseph OLOUKOI

Sous la direction de

Christophe S. HOUSSOU, Maître de Conférences (FLASH/UAC)

Soutenue publiquement le vendredi 13 janvier 2012 devant le Jury composé de :

Président : **Michel BOKO**, Professeur titulaire, Université d'Abomey - Calavi, Bénin
Rapporteur : **Christophe S. HOUSSOU**, Maître de Conférences, Université d'Abomey - Calavi, Bénin
Examinateur : **Brice A. SINSIN**, Professeur titulaire, Université d'Abomey - Calavi, Bénin
Examinateur : **Thiou T. K. TCHAMIE**, Professeur titulaire, Université de Lomé, Togo
Examinateur : **Tanga Pierre ZOUNGRANA**, Professeur titulaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso
Examinateur : **Fulgence AFOUDA**, Maître de Conférences, Université d'Abomey – Calavi, Bénin

Mention : Très Honorable avec les Félicitations du Jury

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2
DEDICACE 4
SIGLES ET ABREVIATIONS 5
Avant propos et remerciements 6
Résumé 9
Abstract 10

INTRODUCTION GENERALE 11

Première Partie: CADRES THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN 15

CHAPITRE PREMIER: PROBLEMATIQUE, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET REVUE DE LA LITTERATURE 16

1.1 Problématique 16
1.2 Justification du choix de la zone d'étude 20
1.3 Hypothèses de travail 20
1.4 Objectifs de recherche 21
1.5 Clarification des concepts et revue de littérature 21

CHAPITRE DEUXIEME : DEMARCHE METHODOLOGIQUE 51

2.1. Données utilisées 51
2.2. Traitement et analyses des données 65

CHAPITRE TROISIEME : FONDEMENTS PHYSIQUE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN 102

3.1. Caractéristiques physiques du Centre Bénin 102
3.1. Profil socio- économique du Centre Bénin 132

CONCLUSION PARTIELLE 143

Deuxième Partie : DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES, FACTEURS ET IMPLICATIONS SOCIO- ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES AU CENTRE DU BENIN 144

CHAPITRE QUATRIEME: ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES: TENDANCES ACTUELLES ET SCENARIOS DE CHANGEMENT 145

4.1. Précision thématique des données de l'occupation des terres 145
4.2. Analyse de la dynamique de l'occupation des terres 150
4.3. Comparaison de la dynamique de l'occupation des terres entre les périodes 1986 - 2000 et 2000 - 2006 169
4.4. Tendance générale de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin 170

CHAPITRE CINQUIEME : OCCURRENCE SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX DE VEGETATION ET IMPACT SUR L'OCCUPATION DES TERRES 186

5.1. Tendance et occurrence spatio-temporelle des feux de végétation dans le 186

Centre du Bénin
5.2. Analyse des feux par unités d'occupation des terres et superficies brûlées 193
5.3. Analyse de l'intensification des feux sur la végétation 199
5.4. Risque de feu dû aux facteurs climatiques 208
5.5. Facteurs humains de départ et de propagation des feux au Centre du Bénin 213

CHAPITRE SIXIEME : FACTEURS, IMPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES TERRES 219
6.1. Modèle statistique et spatial des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres dans le Centre du Bénin 219
6.2. Implications environnementales et socio-économiques de la dynamique de l'occupation des terres 234

CONCLUSION PARTIELLE 247

LIMITES DE L'ETUDE ET DISCUSSION 249
1. Limites de l'étude 249
2. Discussion 251

CONCLUSION GENERALE 258

BIBLIOGRAPHIE 261
LISTE DES TABLEAUX 287
LISTE DES FIGURES 289
LISTE DES PHOTOS 291
ANNEXES 292
TABLE DES MATIERES 301

DEDICACE

A mon fils,

Faith Toluwalase Ayomipo Oladépo OLOUKOI.
Que ce travail soit pour toi un exemple à suivre.

A Ma Grand-mère,

Feue *Druscille Amonssou* ,
Pour ton sacrifice, tes soins et tes encouragements, facteurs ayant solidifié mes premiers pas à l'école.

SIGLES ET ABREVIATIONS

AOF :	Afrique Occidentale Française
AGRHYMET	Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
ASECNA :	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ASTER:	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
AVHRR :	Advanced Very High-Resolution Radiometer
CENATEL :	Centre National de Télédétection et de cartographie Environnementale
CLUE:	Conversion of Land Use and its Effects
COMITAS :	Commission Ministérielle de la Terminologie de la Télédétection Aérospatiale
CORINE:	Coordination de l'Information sur l'Environnement
DMC :	Disaster Management Constellation
EOCAP :	Earth Observation Commercial Application Programme
ESRI :	Environmental Systems Research Institute
ETM:	Enhanced Thematic Mapper
FAO:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FICCDC :	Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography
FOSA:	Forestry Outlook Studies for Africa
GLCN:	Global Land Cover Network
HRV:	High Resolution Visible
IGBP :	International Geosphere-Biosphere Programme
IHDP:	International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change
INSAE :	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IUFRO:	International Union of Forest Research Organization
LUCC :	Land-Use and Land-Cover Change
MECCAGPDPE :	Ministère d'Etat Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale, du Plan, du Développement et de la Promotion de l'Emploi
MEPN :	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MODIS:	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NARSDA	National Space Research and Development Agency
NASA :	National Aeronautics and Space Administration
NDVI :	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA :	National Oceanic and Atmospheric Administration
OBEMINES :	Office Béninois des Mines
ORSTOM :	Office de Recherche Scientifique et Technologique d'Outre-Mer
PNUE :	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
RADAR:	Radio Detection and Ranging
RECTAS:	Regional Centre for Training in Aerospace Surveys
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SIG:	Système d'Information Géographique
SPACELLE :	Système de Production d'Automate Cellulaire Environnemental
SRTM :	Shuttle Radar Topographic Mission
SUCOBE	Sucrerie Complant du Bénin
TM:	Thematic Mapper
TSAVI :	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
UNSO:	United Nations Sudano-Sahelian Office

Avant propos et remerciements

La présente thèse de doctorat relance les réflexions sur les questions centrales de la recherche scientifique relatives aux changements environnementaux globaux. La dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est un aspect significatif des modifications qui influencent, et qui sont affectées par, les changements climatiques, la perte de la biodiversité et la durabilité des interactions entre l'homme et l'environnement.

Depuis environ une dizaine d'années, nous nous sommes intéressé à l'étude de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux moyens des outils d'application spatiale comme la télédétection satellitale, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la cartographie. Notre mémoire retient que la première fois où cette question a été abordée, nous l'avions liée aux phénomènes de transhumance bovine dans le Centre du Bénin. Les analyses avaient révélé que la dynamique de l'espace structure et oriente les éleveurs transhumants dans leur parcours. En 2005, cette question est revenue dans nos centres d'intérêt, mais cette fois-ci en rapport avec l'exploitation des bas-fonds dans la région de Dassa-Zoumé dans les Collines au Bénin. Par nos investigations, nous avions conclu que les dégradations issues de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sur les interfluves, forcent les agriculteurs à déplacer le front des activités agricoles vers les zones hydromorphes comme les bas-fonds où les sols gardent toujours leur fertilité et où l'eau est disponible toute l'année pour la production agricole. La présente thèse de doctorat capitalise les acquis méthodologiques et scientifiques de ces travaux précédents en élargissant l'intérêt de l'étude à tout le Centre du Bénin, en aboutissant à un taux de changement de l'occupation des terres qui peut être utilisé dorénavant comme une référence et cette fois-ci, en explorant les liens avec les feux de végétation.

Pour parvenir à ce stade de notre parcours, nous avons rencontré sur nos chemins des personnes, qui ont apporté leur remarquable contribution dans l'accouchement de cette thèse. Qu'elles veuillent recevoir ici l'expression de notre profonde gratitude.

D'abord, nous voudrions remercier profondément notre Directeur de thèse, le Professeur Christophe S. HOUSSOU pour avoir accepté la supervision de ce travail. Merci pour tous les soutiens bénéficiés de votre part et surtout pour les remarques pertinentes et l'orientation scientifique de ce travail.

Notre reconnaissance va l'endroit des membres du jury de défense de cette thèse. Chers Professeurs, merci pour les observations pertinentes faites en vue de l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.

Que les autorités de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Cultures et Développement », particulièrement le Professeur Michel BOKO, veuillent recevoir l'expression de notre profonde gratitude, pour nous avoir accepté dans cette école. Merci pour les connaissances transmises.
Nos remerciements vont également à l'endroit du Professeur Thiou T.K. TCHAMIE, du Professeur Brice SINSIN, du Professeur Tanga P. ZOUNGRANA et du Professeur Fulgence AFOUDA pour leurs apports, suggestions et recommandations ayant fortement amélioré la qualité scientifique de cette thèse. Chers Professeurs, nous sommes reconnaissant pour votre intérêt pour le sujet et surtout pour l'orientation scientifique donnée.
Nous tenons à remercier le Professeur Benoît N'BESSA, pour son soutien remarquable depuis notre inscription à l'Ecole Doctorale.

Que l'ancien Directeur Exécutif du RECTAS, le Professeur Olajide KUFONIYI du Département de Géographie de l'Université Obafemi Awolowo, Ile-Ife, reçoive nos profonds sentiments de reconnaissance pour ses divers conseils et appuis.
Nous exprimons notre reconnaissance à la Direction du Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS) pour son soutien. Nous remercions en particulier, le Professeur Isi A. Ikhuoria, Directeur Exécutif, M. Mahamadou S. Keita le Directeur Exécutif Adjoint et le Professeur Fabiyi, O.O., Directeur des Etudes, pour leurs divers appuis.

Egalement, nous sommes reconnaissant au Professeur Patrice Langlois de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Rouen en France, pour ses promptes directives dans l'utilisation du modèle des automates cellulaires 'Spacelle'. Dans le même ordre d'idées, nous voudrions témoigner notre reconnaissance à l'Agence Nationale Spatiale pour la Recherche et le Developpement du Nigeria (NARSDA), qui a mis à notre disposition l'image du satellite NigeriaSat1.

Que les amis du Département de Géographie de l'Université de Maryland aux États-Unis, notamment Minnie Wong et Diane Davies, reçoivent nos remerciements pour leur disponibilité, ouverture et promptitude à mettre à notre disposition les données MODIS sur les points de feux de végétation.
Nous exprimons notre gratitude au Service des forêts des États-Unis et à l'USAID (United States Agency for International Development), pour le financement de notre participation à la 5ème Conférence Internationale sur les feux de brousse en Afrique du Sud, où une partie des travaux de cette thèse a été présentée.

Nous sommes très sensible au soutien régulier du Dr Vincent Joseph MAMA du Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF) à Dakar. Ses conseils, son appui et surtout sa contribution ont été très utiles dans la finalisation de cette thèse.

Que les amis, notamment, le Dr Euloge Ogouwalé, le Dr Ibouraïma Yabi, M. Emile Edéa, M. Ebénézer Ewédjè et M. Adéyèmi Chabi acceptent nos profonds remerciements pour leur soutien indéfectible exprimé sur tous les plans dans l'accomplissement de cette thèse. Nos remerciements vont aussi à l'endroit du Dr Vincent Orekan, pour ses conseils et observations. Que Arnaud Luc Ezimegnon, Daniel Bocossa et Ibrahima Ndiaye reçoivent nos remerciements pour leurs divers appuis.

Nous remercions notre cher frère et ami Tobias Gbaguidi pour son soutien et sa disponibilité chaque fois que nous descendions sur le terrain dans le cadre de nos travaux. Aux autres frères et sœurs en Christ, Camille Yabi, Eméric Kochoni, Salomon Okiri, Fatou Keita, Ando Zina, etc., nous exprimons notre profonde reconnaissance pour leur soutien.
Aux collègues, Dr R.O. Oyinloye, Dr A.A. Omitogun, M. Fulbert. Agbo, M. Toko Inoussa Mouhamadou, M. Johnson Dode Bendu, M. Adewale Akingbade, M. Soumah Momodou, Hubert Yadjemi, Ghislain Adimou, nous disons un sincère merci pour leurs divers appuis.

A nos parents, nous leur restons reconnaissant pour le chemin de la vie qu'ils nous ont tracé. Merci à notre frère Laurent Oloukoi pour son appui très remarquable dans les différentes analyses statistiques faites dans ce travail. A nos frères et sœurs, que ce pas leur serve d'exemple.

A notre chère épouse, Grace Olufunmike, merci pour tes appuis, ton soutien et ta contribution immense dans les analyses statistiques de nos données. Nous sommes sensible à la source de motivation que tu as été pour nous. Bénie soit notre union !

Nous ne pourrons jamais fermer cette liste. Tant sont-ils, tous ceux-là qui sont restés dans l'anti chambre pour nous tendre leur main de collaboration et d'appui. Que tous recoivent nos profonds et sincères remerciements.

Résumé

La dynamique environnementale se manifeste au Bénin par une évolution régressive des espaces forestiers, une extension non contrôlée des espaces agricoles. De même, la plupart des recherches sur les feux de végétation ont été faites sans établir réellement un lien avec l'occupation et l'utilisation des terres au Centre du Bénin**.** La présente thèse vise à examiner les tendances, facteurs et implications actuelles de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres au Centre du Bénin.

Les techniques de la télédétection satellitale par l'interprétation et la classification des images Landsat TM de 1986, ETM de 2000 et NigeriaSat1 de 2006, et les indices de paysage, ont permis d'évaluer quantitativement les changements spatio-temporels observés dans le paysage et leurs implications environnementales. Une investigation socio-économique combinée au modèle de régression multiple, a permis de déterminer les facteurs de la dynamique de l'occupation des terres. Des simulations faites sur la base des automates cellulaires en l'occurrence le modèle *Spacelle*, ont permis de faire des projections sur la dynamique du paysage aux moyens de deux scénarios: le scénario socio-économique ou tendance vers la catastrophe et le scénario écologique ou stabilité environnementale. Les données des points de feux acquises par le capteur de MODIS, ont permis d'analyser l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation et leur lien avec l'occupation des terres.

La dynamique de l'occupation des terres a été évaluée à un taux moyen annuel de -4,33 % exprimant une régression des formations végétales denses du milieu au profit des espaces agricoles, des agglomérations et des savanes à certains endroits, entre 1986 et 2006. Cette analyse faite au niveau de quatre unités paysagiques révèle que cette tendance sera maintenue aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario socio-économique où les populations vont dépendre extrêmement des ressources naturelles notamment du bois pour la production de l'énergie, de l'exploitation forestière et de l'agriculture itinérante. Un deuxième scénario a envisagé que les unités de l'occupation des terres pourraient connaître une évolution très peu sensible, voire se stabiliser aux horizons 2016, 2025 et 2034 si les conditions socio-économiques des populations s'améliorent.
Les implications environnementales sont la fragmentation des formations végétales suivie de l'isolement de certaines unités de l'occupation des terres.

Les feux de végétation détectés par le capteur MODIS sont distribués annuellement sur le Centre du Bénin avec une légère variation selon les années. Les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008 et 2009 ont enregistré un nombre de feux de végétation largement supérieur à la moyenne annuelle estimée à 4411 points de feux. Le test de stationnarité de Dickey Fuller Augmenté montre que la tendance à l'augmentation des pratiques de feux est douce et évolue de manière non significative (t=0,68 inférieur à 1). Les activités humaines telles que la chasse, l'agriculture, l'élevage transhumant constituent à près de 80%, les facteurs humains les plus importants par lesquels les feux prennent départ et se propagent. Les feux de végétation influencent aussi la dynamique de l'occupation des terres à cause de la corrélation négative entre le NDVI et le pouvoir radiatif des feux, mais leur effet est faible lorsqu'ils sont pris singulièrement. Par ailleurs, les unités de l'occupation des terres les plus affectées par ces feux sont les jachères et champs, les savanes arborées et arbustives, et les forêts claires et savanes boisées.

Cette étude pourra être approfondie par l'utilisation des images de haute résolution pour la cartographie de l'occupation et de l'utilisation des terres à une échelle plus grande.

Mots clés : Occupation et utilisation des terres, feux de végétation, Landsat, NigeriaSat, Centre Bénin.

Abstract

The environmental dynamic is manifested in Benin by a reduction of forest areas, an unconrolled extension of agricultural lands. Also, most of the research on vegetation fires have been carried out without any link with the land use and land cover in the Centre of Benin.The present study aims at examining the trends, factors and actual environmental implications of the spatio-temporal dynamic of the land cover in the centre of Benin

Satellite remote sensing techniques by the interpretation and classification of Landsat TM of 1986, ETM of 2000 and NigeriaSat1 of 2006 imageries, and the landscape indices have helped to assess quantitavely the spatio-temporal variability observed in landscape and their environmental implications. Socio-economic survey combined to multiple regression analysis was used to determine the land cover change drivers. Simulations based on a cellular automata application, *Spacelle* model, were used for the projections of the landscape dynamic considering two scenarios: the socio-economic scenario or *tendancy to catastrophe*, and the ecological scenario or *environmental stability*. Fire hotspots data acquired by MODIS helped to analyze the spatio-temporal occurrence of vegetation fires and their link with the land cover.

Land cover change has been assessed at an annual rate of change of -4.33 %, expressing a regression of dense vegetation formations in the aid of farmlands, settlements and savannahs between 1986 and 2006. This analysis made on four landscape units reveals that this trend will be maintained towards 2016, 2025 and 2034 according to the socio-economic scenario whereby people will extremely depend on natural resources notably the extraction of wood for the production of energy, forest exploitation and shifting agriculture. The ecological scenario has envisaged that land cover units may witness a slight evolution or stabilize towards 2016, 2025 and 2034 horizons. Environmental implications are the fragmentation of the vegetal formations followed by the isolation of some land cover units.

Vegetation fires detected by MODIS sensor are annually distributed in the Centre of Benin with a slight variation according to years. Years 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008 and 2009 have recorded a high number of vegetation fires above the annual average evaluated at 4411 *hotspots.* The Augmented Dickey Fuller test shows that the trend in the increase of the fires practices is soft and progresses insignificantly (t=0.68 less than 1). Human activities such as hunting, agriculture, bovine transhumance, are the main human factors in about 80% of the cases, by which fires are ignited and propagated. Vegetation Fires influence the land cover dynamic because of the negative correlation between the NDVI values and the fire radiative power, but their effect is low especially when fires are taken singularly. Moreover, the land cover units mostly affected by fires are farmlands and fallows, shrub and woody savannahs, and light forests.

In future, this study may be deepened by the use of high resolution images for the large scale mapping of land use land cover.

Keywords : Land use land cover, vegetation fires, Landsat, NigeriaSat, Benin Centre.

INTRODUCTION GENERALE

La dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres joue un rôle majeur dans les changements environnementaux globaux, en ce sens qu'elle conduit à d'énormes modifications dans les interactions entre la terre et l'atmosphère (Reynolds et *al*., 2007 ; Turner et *al.*, 2007; Groot et McLaughlin, 2002). Au Bénin, cette dynamique se traduit par une régression significative des formations naturelles au profit des formations anthropiques à l'échelle de tout le pays, avec une biodiversité en proie à de nombreuses menaces dont essentiellement: la déforestation, les feux de végétation, la pollution des eaux, le braconnage, l'introduction des espèces exotiques envahissantes et le surpâturage (MEPN – PNUD, 2009).

Pendant le millénium passé, l'homme a joué un rôle de premier plan dans la modification de l'environnement global. Avec un nombre croissant et impressionnant des technologies, l'homme a émergé en tant qu'acteur majeur de la modification de l'environnement. L'effectif sans cesse croissant des populations a entraîné une pression considérable sur les ressources à cause de la corrélation positive entre cet accroissement démographique et les demandes en emblavures agricoles, en sécurité alimentaire et en énergie combustible. Les influences anthropogéniques sur la structure et les diverses composantes de l'utilisation des terres constituent des éléments clés des changements environnementaux globaux actuels (Feranec et *al*., 2010 ; Foley et *al*., 2005). Afin de pouvoir comprendre l'impact de la dynamique de l'utilisation et de l'occupation des terres sur les écosystèmes terrestres, les facteurs explicatifs doivent être pleinement examinés. Ces facteurs dictent le fonctionnement et l'état de l'occupation et de l'utilisation des terres à l'échelle régionale et locale.

Prenant appui sur les principes d'approche de la télédétection et des SIG, la présente thèse s'inscrit dans la droite ligne des initiatives visant la cartographie et l'analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le monde. En effet, beaucoup de projets ont été initiés à l'échelle régionale. Il s'agit entre autres du programme européen *CORINE Land Cover* de la Coordination Européenne de l'Information sur l'Environnement, du projet Africover mis en place par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) pour renforcer les capacités nationales et sous régionales des pays africains dans la mise en place

d’une cartographie de l’occupation du sol pour la gestion des ressources naturelles (FAO, 1997), du programme *Global Land Cover Network* (GLCN) pour l’Afrique de l’Ouest, visant la disponibilité de l’information sur l’occupation des terres et sa dynamique, et la cartographie et la gestion de l’occupation des terres aux niveaux national, régional et global (EIS, 2006), du projet IMPETUS qui propose une approche intégrée de gestion efficiente des ressources en eau, sur une base coopérative et interdisciplinaire et dont l’espace d’investigation est le bassin de l’Ouémé Supérieur au Bénin et le Wadi Drâa au Sud-Est du Maroc (http://www.impetus.uni-koeln.de, consulté le 12/02/2011).

Par ailleurs, bien que les technologies de détection des changements ne soient pas encore totalement adoptées, certaines agences à l’échelle locale, régionale et internationale, reconnaissent l’importance des informations de télédétection dans la formulation et la réalisation des politiques prospectives de gestion des ressources naturelles (Jensen et Cowen, 1999). Des informations issues de la télédétection en rapport avec les technologies du GPS et des SIG constituent des bases de l’information sur laquelle des décisions de planification peuvent être prises (Franklin et *al*., 2000).

En dehors de la caducité des outils de gestion de l’information géographique liée à l’occupation des terres, il est important de rappeler un phénomène courant et précurseur à la dynamique de l’occupation des terres. Il s’agit des feux de végétation. Les feux de végétation constituent un élément clé de la dynamique des paysages de savane. Ils peuvent être considérés selon les zones écologiques concernées, soit comme un fléau contre lequel il convient de lutter, soit comme un véritable outil de gestion, dont l’utilisation raisonnée permet de maintenir ou d’entretenir certains types de paysages (Grégoire *et al.,* 2003).

Le feu est une pratique répandue dans les savanes africaines. Certains géographes et écologistes pensent que les feux de végétation sont à la base des formations ouvertes que l'on retrouve dans les savanes et les pâturages, et sont nécessaires pour les maintenir (Aubreville, 1949 ; Monnier, 1968; Fournier, 1991; Cesar, 1990). Selon PNUD – UNSO (1990), les taux élevés d'ozone et la fréquence des pluies acides sur les forêts de l'Afrique tropicale sont dus à l'émission de gaz par les feux de végétation. La même source indique qu'un tiers du gaz carbonique émis dans

l'atmosphère chaque année provient des feux de végétation et de forêt, deux tiers des industries et des transports et que la moitié du gaz carbonique provenant des feux vient d'Afrique. L'estimation de la quantité de la biomasse brûlée globalement chaque année est environ 9.200 millions de tonnes (Andrea, 2004). De cette quantité, 5.130 millions sont consumés par les feux sauvages (*wildfire*), dont environ 42 % provient de l'Afrique (FAO, 2006; Grégoire et *al.,* 2002). Ce brûlage libère environ 3.431 millions de tonnes du dioxyde de carbone et d'autres gaz dans l'atmosphère (FAO, 2007). Ainsi, le brûlage de la biomasse en Afrique constituerait une source majeure des émissions dans l'atmosphère globale.

Au Bénin, particulièrement dans la partie nord du pays, le feu de végétation fait partie des traditions, et il est difficile de s'en débarrasser (Tandjiékpon, 2001*).* Utilisés comme un outil de travail par les populations rurales, les feux servent à défricher pour des raisons agricoles, la gestion des pâturages et pour la chasse. Cette pratique est commune en Afrique de l'Ouest notamment dans les régions couvertes de forêt sèche ou dans les savanes ouest africaines (Dolidon, 2007). En ce qui concerne le Bénin, il a été noté qu'environ 95 % des feux de forêts sont causés par des hommes. La période habituelle des feux de végétation s'étend de novembre à mai. Les dommages sont observés à partir de janvier à cause des fortes températures (30 à 35°C) enregistrées au cours de cette période et à cause de l'influence de l'harmattan, un vent chaud et sec qui évolue du nord au sud entre décembre et mars. Cependant, l'importance des feux de végétation varie d'une région à une autre.

La présente thèse portant sur le thème : ***Utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au Centre du Bénin,*** vise à examiner les tendances, facteurs et implications actuelles de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres au Centre du Bénin.

Cette thèse structurée en deux grandes parties comportant six chapitres, est une contribution aux débats actuels sur les changements environnementaux globaux, notamment dans le Centre du Bénin.

La première partie intitulée: **Cadres théorique, géographique et démarche méthodologique de l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin**, comprend trois (3) chapitres. Le premier chapitre présente la problématique, les objectifs et hypothèses, la clarification des concepts, et examine

la littérature relative au sujet de cette thèse. Le deuxième chapitre expose, de façon détaillée, la démarche méthodologique. Le troisième chapitre analyse les fondements physiques et socio-économiques, principaux déterminants de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin.

La deuxième partie libellée: **Dynamique de l'occupation des terres, facteurs et implications socio-économiques et environnementales au Centre du Bénin**, comporte trois (3) chapitres. L'analyse spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation des terres est abordée dans le quatrième chapitre. Le cinquième chapitre analyse l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation et le lien avec l'occupation des terres au Centre du Bénin. Enfin, après avoir identifié les facteurs, le septième chapitre expose les implications socio-économiques et environnementales de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Bénin.

Première Partie

CADRES THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN

CHAPITRE PREMIER

PROBLEMATIQUE, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET REVUE DE LITTERATURE

Le présent chapitre expose dans un premier temps la problématique et la justification de l'étude. Dans un deuxième temps, les hypothèses et les objectifs fondamentaux fixant l'ossature de l'étude sont définis. Enfin les concepts clés qui fondent l'étude de la dynamique de l'occupation des terres et l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation au Centre du Bénin, sont clarifiés suivis d'un point de connaissance sur la littérature relative au sujet.

1.1- Problématique

En Afrique en général, et au Bénin en particulier, la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres reste une réalité de l'heure dans les processus de la dynamique environnementale sous l'effet de l'extension des espaces agricoles. Selon Agbahungba et Depommier (1989), 3% de la superficie totale du Bénin est utilisée chaque année à des fins agricoles. Dans le même ordre d'idées, selon Mama et Houndagba (1991) repris par MECCAGPDPE-PNUD (2000) et Orekan (2007a), environ 100 000 ha de l'espace couvert par la végétation sont détruits au profit des emblavures agricoles chaque année. De même, il a été estimé par la FAO qu'une perte d'environ 70 000 ha serait enregistrée dans la période allant de 1990 à 2000 soit une perte annuelle de 2,3% de la couverture forestière du Bénin (FAO, 2000). Un autre rapport de la FAO avait révélé que de 1990 à 1995, le Bénin a perdu 298.000 ha de sa couverture forestière (0,53 % de la superficie totale du pays) ce qui correspond à une disparition moyenne d'environ 60.000 ha de forêt par an (FAO, 1999). Ces différentes statistiques convergent sur le fait qu'il y a une régression inquiétante des surfaces forestières au Bénin. Si cette tendance est partagée par la plupart des chercheurs ayant étudié la question à l'échelle nationale, il importe de retenir sur le plan scientifique que la plupart des études ont avancé des statistiques indicatives ou générales, sans insister sur les spécificités de chaque partie du pays.

Dans la partie centrale du pays, les perturbations enregistrées dans l'occupation et l'utilisation des terres, s'inscrivent dans un contexte national caractérisé de façon générale par une évolution régressive des espaces forestiers, une pression de plus

en plus forte sur les ressources marquée ça et là par des mouvements de populations en quête de terres fertiles favorables au développement agricole. Entre 1991 et 2000, 8 % des forêts ont été dévastées; 20 % de savane boisée et 5 % de savane arbustive ont été converties respectivement en savane arbustive et en champs dans le bassin de l'Ouémé supérieur (Orekan, 2007a).

Des études ont montré que la partie centrale du pays constitue une des zones d'accueil de ces populations avec pour conséquences, des perturbations sur l'équilibre écologique du milieu (Adjinda & Hounton, 1997 ; Mama, 2002).

Des investigations faites sur la dynamique de l'occupation du sol dans le Département des Collines au Bénin et son impact sur l'utilisation des bas-fonds, ont révélé que la dynamique actuelle observée sur les plateaux, amène les paysans à déplacer le front des activités agricoles vers les zones hydromorphes en l'occurrence les bas-fonds qui sont exploités pour la riziculture et d'autres cultures maraîchères (Houndagba et Akoègninou, 1999 ; Oloukoi et Mama, 2009). Plusieurs raisons expliquent la mise en culture de ces bas-fonds. Il y a d'abord le fait que ces zones situées en position basse dans la toposéquence portent les sols argilo-sableux et argileux qui sont régulièrement enrichis par les apports d'alluvions et de colluvions, ce qui les rend du coup propices aux cultures. En dehors des opportunités à la fois écologiques et socio-économiques que présentent ces écosystèmes favorables à l'agriculture, il faudrait noter des menaces qui pèsent sur leur durabilité surtout à cause de leur fragilité combinée à la pression paysanne qui devient de plus en plus intense (Oloukoi, 2005). Ainsi, une question fondamentale reste toujours posée: que feront les paysans lorsque les bas-fonds seront saturés ou présenteront des signes de lassitude par rapport au rendement de la production?.

Si les dynamiques du paysage constituent une réalité indéniable, la capacité de gestion de leurs corollaires reste une question fondamentale. En effet, des outils de gestion adéquate font toujours défaut ou du moins ne sont pas suffisamment adaptés pour gérer efficacement les phénomènes observés. A titre d'illustration, il importe de rappeler que la cartographie topographique de base du Bénin est toujours au 1/200000 depuis les années 1960 pour tout le territoire et partiellement au 1/50000 pour quelques zones du sud du pays. Une telle échelle ne permet pas de gérer efficacement des ressources, car il y a toujours des détails qui échappent aux gestionnaires et planificateurs. Autrement dit, les informations que portent ces cartes

sont dépassées, et ne permettent pas une cartographie pertinente des ressources naturelles. De même, dans le cadre du projet Bois de Feu, phase II, récemment exécuté, la cartographie forestière a été faite dans le volet Inventaire Forestier National (Sepulchre et *al*., 2007) dudit projet. Mais les cartes d'occupation du sol produites correspondent exactement aux dix-huit feuilles topographiques classiques au 1/200000 couvrant le pays. Ainsi la question d'échelle reste toujours posée. Cela impose certaines réalités dont les plus évidentes en matière de gestion des ressources sont : la généralisation de l'information géographique relative à l'occupation et l'utilisation des terres, la non disponibilité de l'information spatiale d'une précision qui soit à l'échelle locale en cette période de décentralisation. En d'autres termes, la cartographie locale est à une étape embryonnaire. Or, eu égard à son importance pour les scientifiques, les décideurs et les populations confrontés aux complexités des changements globaux (Vitousek, 1994), la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, ainsi que les facteurs explicatifs sont légèrement analysés lorsqu'il n'y a pas une cartographie précise et détaillée de l'occupation et de l'utilisation des terres (Bannari *et al*.,1995 ; Purevdorj *et al*., 1998 ; Congalton, 1991 ; Pickup et marks, 2000 ; Major et a*l*., 1990).

En dehors des questions liées à l'outil de gestion de l'exploitation des ressources de la terre, il importe de rappeler que la dégradation des ressources est liée aux activités humaines, dont l'agriculture itinérante où très souvent, les feux de végétation constituent le point de départ des pratiques de mise en valeur de la terre (Nepstad et *al.*, 1999). Selon Linsoussi (2011), au Bénin, environ 13 à 23 % du territoire national sont brûlés et les variations sont observées en relation avec le régime pluviométrique. Le phénomène est crucial au Nord du pays où par exemple, toute la zone du Parc National de la Pendjari brûle chaque année (Linsoussi, 2011; Grégoire *et al.,* 2003). Les feux précoces sont souvent observés dans le Parc W et celui de la Pendjari, afin de protéger ces parcs contre les feux dévastateurs allumés en pleine saison sèche.

Les feux de végétation causent de sérieux problèmes notamment la diminution de la qualité de l'air, le brûlage parfois de la biomasse qui n'est donc pas totalement intégrée au sol, limitant ainsi la quantité d'humus. Aussi, les éléments nutritifs de la cendre provenant de la végétation brûlée sont-ils emportés par le vent ou l'eau. Il arrive des fois que ces feux échappent à tout contrôle et détruisent des champs et

des plantations (Thamm, 2008). Les types de feux ayant un impact négatif sur le milieu biophysique et socio-économique sont les feux de défrichement, les feux de chasse, les feux de gestion des aires protégées, les feux criminels et les feux accidentels observés dans la zone d'étude.

La zone située au-dessus de la latitude 8°15' N au Bénin est plus exposée aux feux, principalement à cause des cultures de coton et d'igname qui requièrent plus d'espace et demandent des sols fertiles. Ceci amène les paysans de cette région à emblaver de nouveaux espaces qui autrefois étaient occupés par la végétation et surtout à détruire les grands arbres au moyen des feux de végétation.

Bien que la législation nationale ait pris des dispositions contre l'usage des feux tardifs (après le 15 décembre), il importe de constater que ces lois et règlements nationaux peinent à être respectés surtout dans les régions isolées du Bénin. C'est pourquoi il existe une demande d'informations solides au sujet des caractéristiques spatio-temporelles des feux de végétation au Bénin en général et dans la région centrale en particulier.

Sur le plan scientifique, nonobstant les travaux sur la question des feux de végétation (Thamm, 2008 ; Judex et *al.*, 2008), il importe de souligner que la plupart des recherches ont été faites sans établir réellement un lien avec l'occupation et l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin. La résolution de ce paradoxe revient à étudier la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres en explorant aussi les liens avec les feux de végétation qui font partie aussi des techniques d'utilisation et de gestion des ressources de l'espace.

La présente recherche se fonde sur les considérations développées plus haut, et dont l'investigation est faite en se basant sur les interrogations spécifiques suivantes :

- Quelles sont l'ampleur et la tendance de la variabilité spatiale et temporelle de l'occupation des terres?
- Quelle est l'occurrence des feux de végétation et quelles sont les unités d'occupation des terres affectées?
- Quelles sont les facteurs et les implications de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin? L'extension des espaces agricoles contribue-t-elle à la fragmentation des formations végétales ?

1.2- Justification du choix de la zone d'étude

Les facteurs justificatifs de cette étude sont multiples et consécutifs aux dynamiques environnementales actuelles que subit le Centre du Bénin de façon générale:

- le Centre du Bénin est une région d'affluence pour les migrants agricoles qui viennent du nord et de certaines parties du sud du pays, en quête de terres fertiles à l'agriculture (Mama, 2002 ; Yabi, 2001). En effet, la disponibilité des terres et les conditions écologiques du milieu favorables à l'agriculture, rendent cette zone attractive aux populations paysannes (Essouman, 1991; Yabi, 2007). De ce fait, la pression sur les ressources naturelles s'accentue et évolue, avec pour conséquence une destruction progressive des écosystèmes naturels;
- le Centre du Bénin est d'une diversité socio-culturelle et d'une démographie qui induisent un changement rapide dans l'occupation et l'utilisation des terres;
- la partie centrale du Bénin est aujourd'hui couverte par des données planimétriques récentes de base telles que les images satellitales capables de fournir des informations requises pour la gestion et le contrôle de la dynamique environnementale.

1.3- Hypothèses de travail

Dans le cadre de cette thèse, la conduite des recherches s'est fondée sur une hypothèse principale formulée comme suit:

- la dynamique spatiale de l'occupation des terres évolue à un rythme galopant au Centre du Bénin, sous l'influence de plusieurs facteurs.

Cette hypothèse principale est décomposée en des hypothèses spécifiques suivantes:

- l'occupation des terres dans le Centre du Bénin change à un taux annuel supérieur à la moyenne nationale estimée à plus de 2 % entre 1990 et 2000 (FAO, 2000);
- l'occurrence des feux de végétation suit une périodicité irrégulière et affecte beaucoup plus les unités de l'occupation des terres comme les savanes arborées et arbustives et les forêts claires et savanes boisées.
- l'extension des espaces agricoles constitue la première cause de la fragmentation et de la dégradation des formations végétales;

1.4- Objectifs de recherche

Le but de cette recherche est d'étudier l'ampleur, les tendances actuelles, les facteurs et implications de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin.

Les objectifs suivants sont visés:

- analyser la variabilité spatiale et temporelle de l'occupation des terres en utilisant des images satellitales multi temporelles et multi spectrales ;
- analyser l'occurrence spatiale et temporelle des feux et leur relation avec la dynamique de la végétation;
- identifier les facteurs et les implications socio-économiques et environnementales de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres;

Pour atteindre les objectifs ci-dessus énumérés, une démarche méthodologique a été adoptée et suivie. Mais bien avant cela, une clarification des concepts utilisés et une revue critique de la littérature ont été faites.

1.5- Clarification des concepts et revue de la littérature

1.5.1. Clarification des concepts

Un certain nombre de concepts utilisés dans cette thèse méritent d'être clarifiés. Ces concepts sont notamment : l'occupation et l'utilisation des terres, la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, l'aménagement du territoire, l'occurrence des feux de végétation, la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

1.5.1.1. Occupation et utilisation des terres

L'occupation et l'utilisation des terres ou bien l'occupation et l'utilisation du sol, constituent un des éléments clés et centraux du système d'information foncière. L'occupation du sol est considérée comme étant l'état biophysique de la surface terrestre et sub-terrestre. Selon Foody (2002), l'occupation du sol se réfère à la couverture physique observée de la surface terrestre, y compris la végétation (naturelle ou plantée) et des constructions humaines couvrant la surface terrestre (Fresco,1994). Logiquement, les éléments naturels ou artificiels tels que l'eau, les

sols nus, les surfaces non couvertes de végétation, sont inclus dans la catégorie de l'occupation des terres. A partir de cette definition, l'on déduit que l'occupation des terres est la couverture physique du sol en un temps donné (Young, 1994). Elle inclut les eaux (eaux de surface et eaux souterraines), les déserts, les glaciers, la topographie, les sols et les infrastructures humaines créées, telles que les expositions minières et les agglomérations, villages ou hameaux (IGBP/IHDP-LUCC and IGBP-DIS, 1997; Di Gregorio, 2005).

La FAO (1997) a considéré l'occupation du sol comme la couverture physique observable au sol par des techniques de levés de terrain ou par la télédétection. Elle comprend la végétation (naturelle/cultivée) et l'aménagement du territoire / l'habitat (bâtiments, routes) qui occupent la surface de la terre ainsi que l'hydrographie.

Selon Fresco (1994), la couverture du sol inclut la végétation naturelle, les cultures et les infrastructures humaines.

Dans le cadre de la présente étude, la compréhension de l'occupation du sol reposera sur le point de vue consensuel de Fresco (1994) et de la FAO (1997). Elle inclura aussi bien les formations naturelles qu'anthropiques visibles à la surface du sol et qui peuvent être restituées par l'interprétation des photographies aériennes ou des images satellitales.

L'utilisation du sol est la fonction et le but pour lesquels la terre est exploitée (Qihao, 2002). Selon Van Gils et *al*.(1991), l'utilisation des terres est considérée comme *des activités émanant de l'homme sur la terre, lesquelles sont directement liées à la terre*. Dans le but de mettre un accent plus aigu sur l'aspect ''gestion de la terre'', Bolstad et *al.* (1991) ont conceptualisé l'utilisation des terres comme étant *l'expression de la gestion humaine des écosystèmes en vue de satisfaire un certain nombre de besoins*. Une étude de l'IUFRO (1992) a révélé que l'utilisation des terres est la mise en valeur d'un espace donné. Ainsi existe-il des espaces agricoles, forestiers, les bas-fonds ou zones humides, les espaces urbains, le transport et les corridors utilitaires. Campbell, cité par Omojola (1997) a postulé que l'utilisation des terres est une abstraction qui n'est toujours pas observable directement sur un document planimétrique comme les photographies aériennes ou images satellitales mais seulement à travers un artefact de l'utilisation des terres.

En résumé, dans cette thèse, la définition de l'utilisation des terres reposera sur les conceptions qui convergent sur le fait que l'utilisation des terres est la transformation de la terre due aux activités humaines.

1.5.1.2. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

Selon Brunet et a*l.* (1992), la dynamique est un changement résultant d'un jeu de forces. Dans le cadre de cette thèse, la dynamique est considérée comme un changement de l'occupation et de l'utilisation des terres entre deux dates sous l'impulsion d'un ou de plusieurs facteurs. Elle correspond à l'évolution dans le temps et dans l'espace des unités d'occupation et de l'utilisation des terres, soit vers un stade d'extrême dégradation, soit vers un état d'équilibre plus ou moins stable (Adjinda et *al*. 1997 ; Pham et *al.,* 2007).

A travers la littérature, la dynamique de l'occupation des terres est présentée sous deux aspects : la conversion et la modification (Lambin et *al*., 2003; Turner *et al*., 1995). La conversion est le changement observé d'un type d'occupation du sol à un autre. La modification implique l'altération de la structure ou de la fonction sans qu'il y ait changement d'un type d'occupation du sol à un autre, mais cela peut impliquer des changements de la productivité, biomasse ou phénologie (Skole et *al.*, 1994 ; Stéphenne et *al.,* 2001). D'une manière similaire, la dynamique de l'utilisation du sol peut aussi impliquer des conversions d'un état d'utilisation du sol à un autre (variation au niveau du mode ou l'arrangement spatial des objets) ou bien des modifications d'un certain type d'utilisation du sol.

En somme, il importe de retenir dans cette thèse que la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est l'ensemble des variations ou changements, des évolutions ou dégradations spatio-temporelles qui peuvent intervenir dans l'occupation et de l'utilisation des terres.

1.5.1.3. Aménagement du territoire

Considéré comme une discipline scientifique et technique d'administration publique qui vise l'organisation volontaire des territoires au bénéfice des sociétés qui les occupent, l'aménagement du territoire joue un rôle spécifique important en réponse à la demande sociale et politique de gestion du paysage (Dubois, 2009). Selon la Charte Européenne de l'aménagement du territoire élaborée par le Conseil de l'Europe (1983), l'aménagement du territoire est l'expression spatiale des politiques économique, sociale, culturelle et écologique de toute société. Il est à la fois une discipline scientifique, une technique administrative et une politique conçue comme une approche interdisciplinaire et globale tendant à un développement équilibré des régions et à l'organisation physique de l'espace selon une conception directrice.

Selon Rumley (2002), l'aménagement du territoire recherche un équilibre entre le développement économique, la protection de l'environnement et l'équilibre entre territoires. Il recherche un compromis entre la complémentarité et la compétition entre territoires.

Dans le cadre de cette thèse, la dimension prospective de l'aménagement du territoire en matière de la protection de l'environnement suite aux dynamiques de l'occupation et de l'utilisation des terres, sera prise en compte.

1.5.1.4. Occurrence des feux de végétation

Selon le dictionnaire anglais Merriam Webster, une occurrence est assimilée à un événement, un incident, un épisode, une circonstance. Le concept d'occurrence signifie quelque chose qui se passe sans une intention ou un plan préalable . Il s'agit généralement d'un événement plus ou moins inattendu qui se présente fortuitement.

En littérature, l'occurrence d'un mot est égale au nombre de fois où ce mot apparaît dans un texte. Cette notion est utilisée pour mesurer la densité d'un mot dans un texte. C'est aussi l'apparition d'une unité linguistique dans un énoncé.

Dans le cadre de cette thèse, le concept d'occurrence est appliqué aux feux de végétation. L'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation est relative au nombre de fois qu'on enregistre un feu de végétation dans un espace donné et dans le temps. Nous parlerons également de l'événement feu, du nombre de points de feux détectés par un satellite d'observation de la terre et visibles sur une image satellitale (Langner et Siegert, 2009).

1.5.1.5. Télédétection et Système d'Information Geographique (SIG)

Bonn et Rochon (2000) ont considéré la télédétection comme une discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et d'images obtenues à l'aide de plateformes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Elle est une technique qui, par l'acquisition d'images (images satellitales, photos aériennes), permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information (Bonn, 1979 ; COMITAS, 1988).

Le Système d'Information Géographique ou encore Système d'Information à Référence Spatiale est un système qui informe sur la géographie d'un espace donné. ESRI (1996) considère le SIG comme un outil informatique qui permet de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. En 1989, la Société française de Photogrammétrie et de télédétection a défini le SIG comme étant *un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement (géoréférencées).* Dans le cadre de cette thèse, le SIG sera considéré comme un système d'information basé sur l'ordinateur, utilisé pour acquérir, gérer, analyser et manipuler les informations géographiquement liées dans une base de données. De fait, l'information est normalement affichée comme une partie d'une carte numérique, ce qui permet de la visualiser dans le contexte de son emplacement géographique. L'information géographique désigne toute information sur des objets ou des phénomènes (appelés entités géographiques) localisables à la surface de la terre. Du point de vue application du SIG, il sera question de la mise en place d'un Système d'Information Géographique pour la gestion de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Bénin Central, sur la base des images satellitales.

Ainsi dans cette étude de façon générale, la télédétection et les SIG sont utilisés comme des outils majeurs d'analyse de la dynamique spatiale de l'occupation et de l'utilisation des terres, et de l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation.

1.5.2. Revue de littérature

Les approches d'étude et les signes évidents de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, les feux de vegetation et leur occurrence, les facteurs de l'évolution du paysage tels que les migrations, la mise en valeur des terres et la transhumance, ont constitué l'essentiel de cette synthèse bibliographique. Cette revue par thématique a été adoptée afin d'attirer l'attention sur l'intérêt scientifique que revêtent ces éléments dans la compréhension de la dynamique du paysage.

1.5.2.1. Approches d'étude de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol

Les approches d'étude de la dynamique de l'occupation du sol varient selon les disciplines scientifiques et selon les échelles spatiales d'analyse (Verburg, 2000). Les

chercheurs des sciences sociales utilisent des approches beaucoup plus descriptives. De Sherbinin (2002) a remarqué que l'occupation et l'utilisation du sol peuvent être bien étudiées et comprises grâce à une approche empirique basée sur l'histoire. Cette approche historique servira de base pour la compréhension des tendances et évolutions futures. Mais il faudrait souligner que cette approche relève des fois de la pure description du paysage, ce qui ne facilite pas les analyses quantitatives et précises nécessaires à la compréhension de la dynamique de l'environnement.

A des niveaux d'échelles spatiales plus élevés, les géographes et les écologistes étudient les changements intervenus dans l'occupation du sol à partir des observations directes en se servant des techniques de la Télédétection et du Système d'Information Géographique (Lambin et *al*.,1999). Ces spécialistes évaluent la dynamique de l'occupation du sol par analyse diachronique qui est une étude rétrospective du couvert végétal (CENATEL,1995). Si selon Haynes-Young (2000), l'analyse diachronique des paysages est l'une des méthodes les plus importantes pour l'étude des changements environnementaux, il ressort de la littérature que cette méthode à elle seule, est insuffisante, vu la complexité de l'environnement. Ainsi, la plupart des études sur le plan général ont utilisé cette approche d'évaluation de la dynamique de l'occupation du sol basée sur une enquête socio-économique sur les facteurs explicatifs des changements observés (Geoghegan et *al.*, 1998 ; Walsh et *al*., 1999) . Ainsi, la thématique de l'occupation et de l'utilisation des terres peut être analysée avec plusieurs techniques et méthodes dont la télédétection. Dans le cadre de la présente étude, la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sera étudiée par la cartographie basée sur la Télédétection et le Système d'Information Géographique (SIG).

1.5.2.2. Télédétection et approches de détection des changements de l'occupation et de l'utilisation des terres

Les technologies actuelles de télédétection offrent des possibilités d'acquisition et d'analyse des données terrestres, atmosphériques et, en relation avec les données GPS (Global Position System), les couches de données SIG et leurs fonctions, et les possibilités de modélisation (Franklin, 2001).

Il importe de retenir que le domaine de la télédétection va connaître des changements dans le futur, surtout avec le nombre sans cesse croissant de satellites mis sur orbite de nos jours (Glackin, 1998). Par exemple, il a été estimé pour la période de 10 ans allant de 1996 à 2006, qu'environ une centaine de satellites serait mise sur orbite (Fritz, 1996). Ainsi, les dix dernières années ont connu une prolifération de plateformes satellitales avec des résolutions spatiales plus améliorées (Quickbird , Ikonos, Spot 5, etc.).

Les satellites à basse résolution ont été utilisés pendant des années pour l'acquisition des informations de base sur l'occupation et l'utilisation des terres sur de vastes espaces. Il a été remarqué que la résolution spatiale constitue l'un des facteurs limitants pour les études surtout en milieu urbain ou périurbain. Par exemple, Chen (2002) a utilisé les données AVHRR1 du satellite NOAA pour cartographier l'occupation et l'utilisation des terres. L'auteur a remarqué qu'il y avait une confusion entre les espaces ayant connu de modification et les zones stables. Récemment, Zhan et *al.* (2002) ont décrit les données mensuelles de couverture végétale, générées par le capteur MODIS *(Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer)* de 250 m de résolution spatiale. Mais si cette étude a eu le mérite de donner des indications sur la couverture végétale dans sa globalité, les résultats ne peuvent pas être utilisés à des échelles locales, du fait de la basse résolution de la donnée qui est seulement utile à la mise en place d'un système d'alerte globale. Les données sont limitées pour des besoins de planification locale, mais utiles à des fins d'évaluation globale de l'occupation des terres.

En dehors des données satellitales de très haute ou très faible résolution, il existe les moyennes résolutions comme la gamme des satellites Landsat dont le programme de lancement a commencé depuis 1972. En effet, la continuité du programme Landsat depuis 1972 a été reconnue comme un acquis dans l'évolution de la télédétection (Franklin, 2001). Pendant environ 12 ans, le capteur MSS (Multispectral Scanner) de Landsat a fourni des images avec une résolution spatiale de 80 m dans quatre bandes spectrales. Bien que les données issues de ce capteur aient présenté quelques ‘'bruits'' (Schowengerdt, 1997), elles ont été une opportunité pour les chercheurs d'appliquer les données de télédétection à une échelle régionale. Ces données, améliorées avec l'avènement des capteurs TM, et ETM de Landsat, sont aujourd'hui utilisées pour les études de détection des changements historiques de l'occupation des terres et constituent une composante importante des données

fondamentales dans la caractérisation des terres (Yuan et Elvidge, 1998). Aussi les images provenant de ces capteurs comme la plupart des capteurs montés à bord des satellites de surveillance environnementale, constituent-elles des documents de base pour les Systèmes d'Information Géographique sur l'occupation et l'utilisation des terres.

Toutes ces opportunités offertes par la télédétection sont utilisées dans la détection des changements qui interviennent dans l'occupation et l'utilisation des terres.

Ainsi, compte tenu des avantages des images satellitales, tels que la répétition des données, leur vue synoptique et leur format numérique apte au traitement par ordinateur, celles-ci constituent une source d'information pertinente pour le suivi diachronique des changements de l'occupation et de l'utilisation du sol.

Plusieurs méthodes ont été développées pour la détection des changements de l'occupation et de l'utilisation des terres (Singh, 1989 ; Lunetta et Elvidge, 1998 ; Mas, 2000 ; Jensen, 2004 ; et Lu et *al.*,2004). Ces méthodes ont évolué rapidement et sont développées pour répondre au besoin réel des changements rapides et complexes de la surface terrestre.

Lu et *al.* (2004) ont subdivisé les méthodes de détection des changements en six grands ensembles à savoir les méthodes algébriques, les méthodes de transformation, de classification, les méthodes avancées, l'approche SIG, l'analyse visuelle et les autres techniques (tableau I).

Tableau I: Inventaire et classification des méthodes de détection des changements de l'occupation des terres.

Grands groupes	Méthodes techniques	Avantages	Inconvénients	Condition d'utilisation
Méthodes algébriques	Différence d'images Régression d'images Différence d'indices de végétation Division d'images Soustraction (différence) d'images de base Analyse par vecteur de changement	- Elles utilisent des algorithmes algébriques et un seuil pour identifier les zones de changement - Ces méthodes sont simples; elles permettent la réduction de certains effets atmosphériques et radiométriques	Elles ne donnent aucune information sur la nature des changements (sauf la méthode de vecteur de changement) ; elles exigent un seuillage	Elles exigent l'identification de seuils et le choix de bandes spécifiques pour la détection
Méthodes de transformation	Analyse en composantes principales (ACP) Transformation Tasseled Cap Gramm-Schmidt Khi-carré	-Ces méthodes sont plus complexes que les méthodes algébriques; - Elles réduisent les informations redondantes entre les bandes ; possibilité d'utiliser plusieurs bandes à la fois pour la détection de changements	Il est difficile d'identifier les changements détectés	L'analyste doit posséder une bonne connaissance pour le choix des composantes et des seuils
Méthodes de classification	Comparaison de post-classification Analyse spectrale temporelle Détection du maximum de probabilité Détection de changements non dirigée Détection de changements hybride Réseaux de neurones	Ces méthodes réduisent les impacts de l'environnement ; elles fournissent des informations concernant la nature des changements (sauf les méthodes d'analyse spectrale temporelle de détection non dirigée) ; elles produisent une bonne détection ou méthode de détection du maximum de probabilité	Elles exigent une vérité terrain, l'identification de seuils, une grande exactitude de la classification et un nombre et une qualité d'échantillons d'entraînement suffisants - Elles exigent beaucoup de temps ; il est difficile d'identifier les changements	Elles nécessitent une réalité terrain, l'identification de seuils, une exactitude de la classification et un nombre et une qualité d'échantillons d'entraînement suffisants
Méthodes avancées	Modèle de réflectance de Li-Strahler Modèles de mixage spectral Méthode de paramètres biophysiques	-Elles sont appliquées pour la détection de changement des paramètres biophysiques, en particulier la végétation - Elles fournissent de l'information précise et détaillée sur la nature des changements ;	Elles sont complexes et non disponibles dans les logiciels ; exigent des mesures in situ	Développement de modèles de cime d'arbre -- estimation des paramètres biophysiques ainsi que l'identification de composantes spectrales homogènes (*endmembers*) et de seuils adéquats
Approche SIG	Méthode d'intégration de SIG et de données de télédétection	Elles utilisent les données de différentes sources, telles que les cartes topographiques et thématiques. Elles permettent d'insérer des données auxiliaires pour l'analyse et l'interprétation des résultats; elles permettent la mise à jour directe dans un SIG	Elles diminuent potentiellement l'exactitude des résultats finaux de la détection de changements ; en effet, quand des données viennent de différentes sources, si un des documents est cartographiquement	Elles exigent une bonne précision géométrique des cartes utilisées

			moins précis ou s'ils sont à différentes échelles, l'exactitude globale de la détection des changements diminue	
Analyse visuelle	Interprétation visuelle d'image	Elles permettent d'incorporer la connaissance de l'analyste ; elles permettent d'analyser deux ou trois images à la fois	Elles ne fournissent pas d'informations détaillées sur les changements ; elles dépendent du savoir-faire et du savoir de l'analyste et exigent beaucoup de temps ; elles ne permettent pas une mise à jour facile	Elles exigent un bon savoir-faire de l'analyste et une familiarisation avec la zone d'étude

Source : Tableau simplifié à partir de Lu et al. (2004) et de Pham et al. (2007)

Si ces auteurs ont eu le mérite de fournir un catalogue de méthodes disponibles, leurs avantages et leurs inconvénients, il importe toutefois de retenir que les études n'ont pas tenu compte des spécificités de chaque région du monde. Elles ont manqué d'indiquer les méthodes adaptées à chaque type de paysage, et ont donné plus de priorité aux considérations techniques.

Pham et *al.* (2007) ont adopté une démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcelé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale dans une région littorale du Viet-nam. L'objectif de cette étude a été d'exploiter les données dérivées des images TM et ETM+ de Landsat combinées à celles des cartes topographiques de la zone d'intérêt pour établir une méthodologie appropriée de détection des changements d'occupation des terres. Les auteurs (*Op. cit.*) ont combiné trois méthodes principales que sont la comparaison de ''post classification'', la méthode hybride et la transformation ''Tasseled Cap''. La première méthode a été choisie à cause de sa simplicité et de sa capacité à fournir des informations sur la nature des changements. La deuxième méthode contribue à la réduction des erreurs d'omission en faisant un seuillage du changement sur l'image obtenue après la transformation et ensuite en créant un masque de changements pour extraire les zones ayant changé et celles qui n'ont pas changé. Le masque de changements focalise l'attention de l'opérateur sur les zones qui ont été changées (Jensen, 2004) et permet d'augmenter l'exactitude de la classification (Petit et *al.*, 2001 ; Lu et *al.*, 2004). La troisième méthode de Transformation ''Tasseled Cap''

offre la possibilité de disposer de trois bandes d'indices à savoir la brillance, la verdure et l'humidité, et a l'avantage de favoriser l'extraction des thématiques comme les sols nus, la végétation et l'eau. Par ailleurs, il faudrait observer que les résultats auxquels cette étude est parvenue, posent quelques problèmes de validation, malgré l'originalité des approches de détection appliquées. D'abord concernant la classification des images, il est constaté qu'aucune référence n'est faite à une nomenclature des unités de l'occupation et de l'utilisation actuelle du sol. De même, l'utilisation des images Landsat pour extraire certaines unités d'utilisation des terres comme par exemple les bassins aquacoles, les arbustes submergés, les souches etc., paraît inappropriée lorsqu'on se réfère à la résolution de ces images qui ne permet pas d'obtenir certains détails spatiaux. Cette faiblesse a été contournée par les auteurs avec l'utilisation des cartes topographiques au 1/50000ème dont les informations représentées sont aussi le résultat d'un niveau de généralisation. Toutefois, la résolution de 30 m des images de TM est trop grossière pour pouvoir séparer les bassins aquacoles des sols humides, des arbustes submergés ou des mangroves.

En évaluant l'apport de la télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin Nord de l'Oued Tlata au Maroc, El Garouani et *al.* (2007) ont cartographié l'évolution de l'occupation du sol à partir des données de l'imagerie Landsat et Spot entre 1987 et 2002 d'une part, et la modélisation des processus d'érosion d'autre part. Trois méthodes ont été combinées à savoir l'interprétation visuelle, les méthodes de classification et les traitements post-classification. Selon les auteurs, les résultats de cette étude ont été significatifs et l'analyse des images satellitales a permis d'identifier six principaux types d'occupation des terres tels que les terrains fortement dégradés, les céréalicultures, le mélange de céréalicultures et d'arboricultures, les oliveraies, le reboisement et la forêt claire. L'analyse diachronique de l'occupation des terres a révélé une modification de l'espace naturel avec un accroissement des zones de cultures. Si les auteurs ont pu montrer l'apport de la télédétection dans le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion, il importe toutefois de signaler que les résultats ont occulté les facteurs de l'érosion tels que certains paramètres du climat comme la pluviométrie, le vent, et aussi la pédologie du milieu qui devraient

entrer en combinaison avec la dégradation du couvert végétal pour augmenter le risque d'érosion.

Mihai et *al.* (2006) ont appliqué la détection des changements à l'étude de la dynamique de la végétation des monts de Bucegi en Roumanie en utilisant l'imagerie Landsat. Les auteurs ont adopté pleinement la méthode des classifications avec le traitement des images intégrant l'étalonnage, les corrections géométriques et atmosphériques, et la différence des classifications pour le changement des détections. Les résultats de cette étude ont été validés sur le terrain par un contrôle terrain et des levés topographiques. Les effets de relief ont été atténués en utilisant un Modèle Numérique d'Altitude (MNA) comme la donnée Radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) de la zone avec une résolution spatiale de 90 m. En dehors des résultats probants sur la dynamique du paysage que les images et surtout l'approche de détection des changements utilisées ont permis d'avoir, il faudrait noter que l'atténuation des effets du relief par le SRTM peut ignorer certains détails de la variation du terrain à cause de sa résolution bien que l'on soit dans un relief de montagne. L'idéal aurait été d'extraire l'altimétrie à partir d'une carte topographique à une échelle moyenne ou de recourir à un MNA fourni par Aster 3D qui a une résolution moyenne de 30 m, très proche de celle des images Landsat utilisées pour cartographier l'occupation des terres.

La bibliographie récente est riche en recherches sur l'application de la méthode de détection des changements de la couverture végétale et de l'occupation des terres avec des images des capteurs de Landsat (par exemple Millette *et al*., 1995 ; Toutoubalina *et al.,* 1999 ; Rigina *et al*., 1999 ; Lopez *et al.*, 2001; Rees *et al*., 2003 ; Tommervik *et al*., 2003). En Europe de l'Est, Feranec *et al.* (2000) ont intégré des données des capteurs de Landsat avec le système de classification CORINE Land Cover pour faire des cartes généralisées de l'évaluation de la dynamique de l'occupation des terres entre 1976-1991. La qualité spectrale de ces images, particulièrement la bande du proche infrarouge (PIR) permet la différenciation facile des groupements végétaux et de l'étagement de la végétation (Lillesland et *al.*, 2003).

Ouattara et *al.*(2006) dans la recherche d'une méthode de cartographie plus appropriée de l'occupation des terres, ont considéré que la précision et l'exactitude des cartes d'occupation des terres sont des préoccupations importantes en planification régionale, en évaluation environnementale et donc pour la communauté

scientifique. Ainsi, ils ont utilisé une approche de cartographie de l'occupation des terres combinant des images d'ETM+ de Landsat-7, de SPOT-4, de RADARSAT et de l'indice de végétation TSAVI (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*). Une méthodologie fondée sur la combinaison d'une classification dirigée et du taux de couvert végétal provenant de l'indice TSAVI a été exploitée. Les résultats, avec des précisions variant entre 80 % et 90 %, mettent en évidence le potentiel qu'offrent les combinaisons d'images multi sources. En outre, la méthode est efficace pour la mise en exergue des nuances entre les zones de cultures, les sols nus et la végétation sénescente, d'où l'obtention d'une carte d'occupation des terres plus exacte. Cependant, malgré l'efficacité de l'approche utilisée, le travail présente une faiblesse majeure relative à la validation des résultats de la classification. En effet, le taux de couvert végétal a été validé par une verité terrain faite en 1998, soit un an avant la prise des images satellitales d'ETM+, et on peut se demander si les conditions exceptionnellement sèches de 1998 permettent de refléter la réalité de la végétation en 1999.

Dans la même optique de l'évaluation de la précision thématique des cartes d'occupation et d'utilisation du sol, Chalifoux et *al.* (2006) ont utilisé les méthodes conventionnelles d'évaluation telles que la matrice de confusion et l'indice Kappa (Congalton, 1991). La matrice de confusion donne une évaluation de la précision globale de la cartographie et des résultats de classification pour chacune des classes thématiques. Quant à l'indice Kappa, il permet d'évaluer dans la matrice de confusion, l'accord entre les résultats obtenus (carte) et la vérité sur le terrain. Mais à l'indice Kappa, les auteurs auraient dû ajouter les indices de pureté des classes d'occupation des terres et l'indice de validation cartographique, car l'indice de Kappa ne donne qu'une indication de précision générale qui ignore des fois les spécificités de chaque classe d'occupation et d'utilisation des terres.

N'da et *al*. (2008) ont étudié l'apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué en Côte d'Ivoire. Ces travaux se sont basés sur les techniques de traitement d'images satellitaires (imagerie Landsat TM et ETM), les techniques d'observations et de collectes des données sur le terrain. Le traitement des images a commencé d'abord par la correction géométrique par laquelle l'image TM géométriquement rectifiée a servi de base à la correction de l'image Landsat7 ETM. Ensuite le rééchantillonnage est fait par la méthode du plus proche voisin qui conserve les valeurs radiométriques originales des pixels (Caloz et *al*., 1993). Dans

le but d'avoir des informations sur les caractéristiques physiques et biologiques de la végétation, les auteurs ont ajouté à la méthodologie adoptée, le calcul des indices tels que le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou l'indice de végétation normalisé), l'indice de brillance (*Brightness Index),* et l'indice d'humidité (*Wetness Index*) par la méthode de Transformation ''Tasseled Cap''. Il importe de retenir que ces indices combinés aux approches conventionnelles de traitement et d'analyse des images, permettent de caractériser les différents types de végétation par rapport à l'intensité de leur activité photosynthétique, leur recouvrement au sol et leur humidité pendant la saison sèche.

1.5.2.3. Des évidences de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le monde et au Bénin

Les dix dernières années ont connu des avancées probantes dans l'habileté de la communauté scientifique à simuler les interactions importantes entre les composantes du système terrestre. Un important facteur dans la compréhension des changements globaux et le rôle des déterminants humains et de l'interaction humaine du système naturel est démontré par les changements dans l'occupation et l'utilisation des terres (Hibbarda et *al.*, 2010). En effet, des différents défis écologiques auxquels fait face la planète terre, la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est probablement la plus significative. Ce processus anthropogénique a affecté plusieurs parties du système terrestre, de la biodiversité globale et de la durabilité des terres (Mustard et *al*, 2004, Lambin, Geist, 2002). Considérant ce fait, et compte tenu du rôle de la terre dans la provision des biens et services environnementaux, le degré d'attention sur la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres s'accroit de plus en plus. Plusieurs rapports d'étude sur des analyses intégrées, ont incorporé le climat global, la télédétection et des observations (Lawrence et *al*., 2010; Kvalevag *et al*., 2009, IPCC, 2007), alors que d'autres ont focalisé l'attention sur des observations et analyses purement statistiques, pour évaluer les impacts régionaux de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres avec des processus climatiques ou biophysiques, et hydrologiques (Sertel *et al*., 2009; Costa et *al*., 2009; Mishra *et al*., 2010; Takahashi *et al*., 2010; Xiao *et al*., 2009).

A l'échelle du monde entier, deux bases de données majeures ont été mises en place y compris le *Global Croplands Datasets* (Ramankutty and Foley, 1999), et la

base de données historiques de l'Environnement Global (Goldewijk, 2001). Concernant les projections, Fisher et *al.* (2001) ont examiné l'extension future des terres agricoles dans une évaluation agro-écologique globale et ont souligné que le taux le plus élevé de l'extension spatiale des espaces agricoles proviendrait de l'Afrique et de l'Amérique latine. Ils ont aussi projeté qu'une partie substantielle additionnelle de l'Europe et de l'Amérique du Nord sera emblavée pour le developpement agricole, afin de pouvoir faire face aux prochains défis des sollicitations alimentaires.

En analysant les fluctuations climatiques et la dynamique de l'occupation de l'espace dans la commune de Ain El Hadjar en Algérie, Labani et *al*. (2006) ont révélé que l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol contribue à la compréhension de l'orientation des systèmes de production et à la maîtrise des causes pour une meilleure utilisation de l'espace et de l'environnement.

D'importants travaux sur la dynamique de l'occupation du sol ont été réalisés au Bénin. Codjia et Gnagna (1993) ont étudié 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 à l'issue de leur étude que les superficies des formations denses diminuent au profit des jachères et des espaces cultivés. Non loin de cette forêt, Borgui et Leffi (1992) avaient déjà analysé les différentes causes et les processus de dégradation de l'environnement sur le versant ouest du cours de l'Okpara et ils avaient abouti aussi à l'évidence de la dégradation des formations végétales au profit des espaces agricoles.

Tente (2000), dans une approche qui intègre l'analyse diachronique et l'analyse de la diversité floristique, a étudié la dynamique de l'occupation du sol dans le massif de l'Atacora. Il a abouti à une description des formations végétales dans leur état actuel, tout en évoquant la dégradation des formations ligneuses. Selon cet auteur, si la dégradation de ces formations augmente à la même vitesse, elle pourra être irréversible et une grande partie des espèces disparaîtra.

Dans sa thèse sur la variabilité pluviométrique et la dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest), Amoussou (2010) a examiné l'impact des états de surface sur la sédimentation. En abordant la dynamique de l'occupation du sol de 1956 à 2000, Il a noté une évolution régressive des formations végétales naturelles au profit des formations anthropiques, du fait des pratiques agricoles. L'auteur a conclu que la

dégradation de ces formations végétales denses pourrait entrainer une augmentation de l'écoulement et de l'évaporation au détriment de l'infiltration, accélérant le déficit des réservoirs souterrains ainsi que l'érosion et donc la sédimentation.

Si la plupart des recherches sur la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres ont pu conclure à une régression des formations végétales au profit des formations anthropiques, notamment les espaces agricoles, il importe toutefois de retenir que très peu de travaux ont orienté les analyses vers les processus de fragmentation de ces formations végétales au Centre du Bénin.

1.5.2.4. Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres

La modélisation est une représentation ou une abstraction de la réalité sous forme de modèle. Un modèle est une représentation abstraite, conceptuelle des connaissances ou processus d'un système. La modélisation est un mode d'approche analytique privilégié en géographie, depuis la fin du 19ème siècle avec les travaux de Weber et Von Thünen. Cette démarche s'inscrit dans l'émergence d'un paradigme géographique qui se développe à partir des années 1930. Il s'agit de l'analyse spatiale. Selon Chamussy et *al.* (1998), l'analyse spatiale est l'étude formalisée de la configuration et des propriétés de l'espace produit et vécu par les sociétés humaines; elle se consacre à la localisation et à l'étude d'un phénomène dans l'espace à des fins de description, d'explication ou de modélisation.

Dans les études portant sur la modélisation de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, deux niveaux d'analyse sont généralement utilisés (Corgne, 2004):

- le niveau « micro-échelle» : les comportements individuels sont étudiés et mis en relation avec les changements d'occupation du sol. Ce niveau privilégie les approches socio-économiques et psychologiques. Les espaces d'analyse sont de taille relativement réduite et font appel à des techniques d'analyse de type quantitatif et qualitatif.
- le niveau «macro-échelle» : les changements d'occupation du sol sont examinés d'un point de vue géographique afin d'identifier les dynamiques spatiales qui motivent ces changements. Dans ce cas, les espaces d'étude sont beaucoup plus vastes, et peuvent atteindre l'échelle continentale avec l'aide des outils de la télédétection.

La modélisation est un outil important dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol à cause de sa capacité à intégrer les évaluations statistiques et les éléments explicatifs des changements qui s'opèrent (Lambin et *al*., 1999). Lambin (1997) signale que les modèles dans les études sur la couverture et l'utilisation du sol peuvent aider les scientifiques à générer des hypothèses ou dans d'autres cas à répondre à trois interrogations fondamentales:

- quelles sont les variables biophysiques et socio-économiques qui expliquent les changements intervenant dans l'occupation du sol ?
- quels sont les sites affectés par les changements constatés ?
- à quels taux évoluent les changements qui interviennent dans l'occupation du sol ?

Les modèles de simulation de l'occupation et de l'utilisation des terres font partie de la famille des modèles dynamiques. Ils constituent des outils d'analyse spatiale qui permettent d'étudier les causes et les conséquences de l'évolution de l'occupation du sol dans le but d'une meilleure compréhension de cette dernière. Ce type de modèle prend en compte un ensemble complexe de paramètres socio-économiques et biophysiques qui influencent le rythme et la nature des changements de l'occupation des terres afin de pouvoir simuler spatialement ces changements et leurs implications sur le paysage.

Plusieurs approches de modélisation de la dynamique de l'occupation du sol ont été développées ces dernières années. Selon Verburg (2000), les modèles sur la dynamique de l'occupation du sol, nécessitent des informations sur la relation entre l'occupation du sol, les facteurs socio-économiques et biophysiques. Les techniques de modélisation diffèrent, en fonction des objectifs de l'étude et du cadre. Certains modèles sont développés pour simuler et explorer l'utilisation actuelle du sol alors que d'autres s'intéressent aux changements possibles dans le futur (Lambin, 1994). Pour le dernier cas, le modèle CLUE (*Conversion of land use and its effects*) qui est un modèle de la dynamique de l'occupation du sol utilisé au Costa Rica pour simuler les changements intervenus dans l'occupation du sol est une référence (Veldkamp et Fresco, 1996).

Au Bénin, la modélisation de la dynamique de l'occupation du sol reste un aspect très peu abordé dans la plupart des études, particulièrement dans le département des Collines. Très peu de chercheurs ont étudié cet aspect dans la dynamique de l'occupation du sol. De nouveaux travaux l'abordent timidement. C'est

le cas de Mama et *al.* (2002) qui dans une approche intégrée de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans certains secteurs du Nord du Département des Collines, ont utilisé les modèles de régression multiple et la chaîne de Markov pour faire des projections et simulations sur l'occupation du sol.

Orekan (2007a) a implémenté un modèle de la dynamique de l'utilisation du sol a l'échelle locale, le modèle CLUE-s (*Conversion of Land use and its effects*), en utilisant les données socio-économiques combinées aux données de télédétection, dans le bassin de l'Ouémé supérieur. Les potentialités de ce modèle à prédire les dynamiques spatiales à l'échelle locale ont été mises en exergue. L'auteur a par ailleurs spécifié que les résultats issus de la validation de ce modèle peuvent être valorisés dans la mise en place d'un système d'aide à la décision en vue d'une gestion durable des plans d'aménagement.

Au total, il importe de retenir que la dynamique de l'occupation des terres est une réalité mondiale qui mobilise l'attention des chercheurs tant à l'échelle globale que régionale et locale. Une commission interdisciplinaire du centre des données EROS *(Earth Resources Observation and Science)* de *United State Geological Surveys* (USGS) en collaboration avec les chercheurs du centre régional AGRHYMET, a identifié la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol comme un domaine de recherche qui posera des défis dans les trente prochaines années en Afrique de l'Ouest (Tappan et *al*., 2002, Oyinloye 2007).

1.5.2.5. Analyse des facteurs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

Beaucoup de recherches entreprises ces dernières décennies ont aidé à la compréhension des facteurs explicatifs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. Plusieurs aspects ont été étudiés dans le cadre du projet ''*Land-Use and Land-Cover Change (LUCC)*'' du Programme International Biosphère-Géosphère (IGBP) et du Programme International de la Dimension Humaine sur les changements environnementaux globaux (IHDP) (Lambin et *al.*, 2003; IGBP/ IHDP-LUCC and IGBP-DIS, 1997). Laoloujosi plupart de ces travaux ont mis l'accent sur la modélisation et les aspects prédictifs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres.

Tchibozo (1981) a montré que la dynamique du milieu est beaucoup plus liée à l'interaction des facteurs climatiques tels que la température, l'humidité relative et le

vent. Si cette conception des facteurs explicatifs de la dynamique du milieu est admise par nombre de chercheurs de la géographie physique notamment 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, d'autres chercheurs réservent une part considérable aux activités humaines. Ainsi, Defourny (1994) fera remarquer la part des actions anthropiques dans les évolutions régressives du couvert arboré dans le secteur de Ouagadougou et de Bobo-dioulasso. Mais certains chercheurs ont été plus conciliants. Ainsi Mainguet (2003) considère par exemple que la dynamique des écosystèmes est en relation directe avec les perturbations climatiques et les causes anthropiques. Dans le même ordre d'idées, N'da et *al*. (2008) dans leur étude sur le suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué, ont évoqué la pression anthropique comme facteur majeur de la dynamique du milieu. Ainsi, ils ont constaté que les zones de croissance démographique très prononcée enregistrent les plus importantes surfaces de déforestation. La corrélation calculée entre l'accroissement démographique et la dégradation forestière serait à plus de 98% dans la sous-préfecture de Bonon, une sous-préfecture riveraine dudit parc.

Généralement les causes anthropiques sont liées aux activités agro-pastorales telles que l'extension des zones de culture, la réduction de la pratique de jachères, le surpâturage et le piétinement des animaux qui du coup participent à la dégradation des sols, détruisant la couverture ligneuse et exposant ainsi les sols aux effets de l'érosion (Sawadogo et *al.,* 2008).

Donyuo (1999), dans les applications de la télédétection à la cartographie de l'occupation du sol au Ghana, a abouti à la conclusion selon laquelle les activités humaines en particulier l'agriculture, sont à la base de la plupart des modifications observées au niveau de l'environnement. Il fera remarquer que toutes les zones agro-écologiques du pays, de la zone forestière à la zone de savane guinéenne sont dominées par des espaces agricoles dont les cultures garantissent la sécurité alimentaire aux populations.

La dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est causée par des facteurs directs et indirects.

Les facteurs directs sont constitués des activités humaines ou actions immédiates relatives à l'utilisation des ressources et qui affectent directement l'occupation des terres (Ojima et *al.*, 1994). Les facteurs indirects sont des forces fondamentales qui

opèrent à distance en influençant une ou plusieurs causes directes. Ils sont formés par un complexe de variables sociales, politiques, économiques, démographiques, technologiques, culturelles, et biophysiques, qui constituent des conditions initiales des relations entre l'homme et l'environnement (Matthews, 2001; Contreras-Hermosilla, 2000; Leidec, 1985). Les facteurs directs opèrent généralement à l'échelle locale (exploitation agricole individuelle, ménages ou communautés). Par contre les facteurs indirects peuvent provenir des échelles régionale (commune, département ou pays) ou globale. Ces facteurs sont souvent exogènes aux communautés locales gérant les terres et des fois sont incontrôlables par ces dernières. Ce sont par exemple: la régulation directe de l'accès aux ressources de la terre, les ajustements de marchés, des régulations sociales informelles (valeurs et normes engendrant des pratiques partagées de gestion des terres). Des analyses systématiques comparatives sur des cas de dynamique de l'occupation des terres ont aidé à la compréhension des causes des changements de l'occupation des terres (Serra et *al.*, 2008 ; Reynolds et *al.*, 2007 ; Geist et *al.*, 2002 ; Kasperson et *al.*, 1995 ; Wiggins**,**1995).

En milieu tropical, les facteurs directs et indirects retenus dans la plupart des études varient en fonction des réalités du milieu. Serneels et a*l*. (2001), dans leur étude sur les facteurs directs ou de proximité de la dynamique de l'utilisation du sol dans le district de Narok au Kenya, avait utilisé comme facteurs: la distance par rapport aux villages, la distance par rapport aux voies, la distance aux sources d'approvisionnement en eau, l'altitude, les zones agro-écologiques, l'aptitude culturale des sols, le système de gestion foncière, la densité de population. Orekan (2007a) a retenu comme facteurs directs de la dynamique de l'utilisation des terres dans la zone de l'Ouémé Supérieur au Bénin, l'accessibilité, les revenus, la production du charbon de bois, les superficies des cultures. Quant à l'âge du ménage, l'effectif de la population active, le niveau d'éducation, le statut du ménage, ils ont été considérés comme des facteurs indirects influençant l'utilisation des terres.

L'identification des causes ou facteurs des changements de l'occupation des terres, nécessite une meilleure compréhension de la manière dont les populations prennent des décisions quant à l'exploitation des terres, et aussi de la manière dont les facteurs variés interagissent pour influencer les décisions prises sur l'utilisation des terres (Lambin et *al.*, 2003).

1.5.2.6. Migrations de populations et dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

Selon Domenach et *al*. (2002), l'influence des facteurs environnementaux peut être interprétée comme des déterminants des migrations, et réciproquement les conséquences des déplacements des populations sur l'environnement tant pour les zones sources que pour les zones d'accueil. En effet, les déplacements de populations sont suivis de bouleversements socio-économiques et environnementaux, qui peuvent entraîner de graves déséquilibres écologiques. La migration est un déplacement de populations d'un lieu à un autre. La migration rurale est un phénomène spatial caractérisé par le déplacement des populations d'une région agricole vers une autre. Aussi convient-il de la distinguer par rapport à la colonisation agricole. La colonisation agricole est une des formes de la migration rurale. Elle implique un déplacement, une migration, c'est-à-dire un départ, une arrivée et une installation. Ce phénomène renvoie à plusieurs faits et actions qui peuvent être classés en plusieurs étapes fondamentales. Il s'agit d'une situation initiale, dans laquelle un élément, généralement extérieur au monde du paysan, joue le rôle de catalyseur, ensuite trois étapes actives : le départ, l'arrivée dans la région de colonisation et, enfin, la mise en valeur agricole d'une parcelle de terrain (Déry, 1999). Les départs et les arrivées temporaires ou permanents des populations remettent en cause les fonctionnements des sociétés et affectent les modes d'utilisation de l'espace et de gestion des ressources. Compris sous cet angle, la dégradation des milieux est souvent un phénomène dont les causes sont à rechercher dans le fonctionnement et l'organisation des sociétés, dont les migrations en sont la traduction première. Selon Domenach et *al*. (1995), la migration n'est pas à considérer seulement comme un facteur de régulation des surplus démographiques, mais aussi comme un facteur provoquant des transformations dans les systèmes de production et d'usage des ressources naturelles agissant sur les écosystèmes.

Au Bénin, d'importants mouvements migratoires avaient été notés depuis les années 1970, particulièrement au Centre du Bénin. Selon Gbesseleman (1988) depuis plus d'une décennie, le Sud-Bénin est confronté à une crise agraire due à la pression démographique caractérisée par un morcellement des exploitations agricoles, leur dispersion dans l'espace, la dégradation des sols et le déboisement. Cette pression démographique renforcée par les densités rurales très élevées observées dans les

départements de l'Atlantique, avait eu pour conséquence le manque d'espace et l'épuisement des terres.

Dans le but de trouver des solutions à ces problèmes d'occupation et d'utilisation de l'espace, certains paysans du Sud-Bénin s'étaient déplacés vers le Centre du Bénin où les terres fertiles sont encore disponibles. Ces populations seront renforcées par d'autres migrants ruraux venus des Départements de l'Atacora et de la Donga en quête des terres fertiles pour l'agriculture (Adjinda et *al*., 1997 ; Mama, 2002).

Considérés comme une colonisation agricole (Igué, 1994 ; Chabi, 1997), ces mouvements migratoires s'accompagnent de l'introduction dans le milieu de nouvelles pratiques culturales qui diffèrent d'une manière ou d'une autre, des habitudes de mise en valeur des terres du milieu dont par exemple les types d'associations et de rotations de cultures (tableau II).

Tableau II: Rotation et association des cultures au Centre du Bénin

Groupes socio-Culturels	**Pratiques culturales des migrants agricoles**			
	1ére année	2ème année	3ème année	4ème année
Yoa - Lokpa	I-N-G-R-Mn-P	M-S-Se-C	S-N-A-C	C-A
Bètamaribè	I-N-G-R-Mn	M-N-S-C	I-G-P	Mn-A
Adja	M-I-N-A	M-N-A-Mn	M-Mn	Mn
Fon	I-M-N-A	C-M-N-Mn	M-Mn	
Pila-pila	I-N-R-G	C-S-M	S	
Berba	I-N-S-Mn	C-S-M-Mn	S-Mn	
	Pratiques culturales des autochtones			
Mahi	I-V-M-Pt-C	V-P-C-Mn	M-Mn-N-A	M-A-Mn
Nagot et	I-P-Pt-H-G	M-S-Pt-Se	I-G-P-Mn-A	M-Se-Mn
Bariba	Mn-M			

Source : Yabi (2001) et enquete terrain Octobre – Novembre 2009

I= igname ; N =niébé; G =gombo ; R = riz; Mn = manioc; P = piment; M = maïs; S = sorgho; Se = sésame ; C = coton ; A = arachide, Pt = plantation ,V= voandzou.

Selon Mama (2002), une des caractéristiques de ces systèmes de cultures est que les migrants ou colons agricoles ne sont pas autorisés à planter des arbres et spécialement l'*Anacardium occidentale* dont la plantation est considérée comme une source de revenu pour les autochtones et aussi comme un moyen de marquage de la terre (Yabi, 2007).

Ces dernières années, ces importants mouvements migratoires ont engendré des conséquences dont une pression prononcée sur les ressources naturelles du milieu avec l'agriculture itinérante sur brûlis, les feux de végétation et l'exploitation forestière comme facteurs essentiels de dégradation du milieu (Tchegnon, 1995).

En dehors des mouvements des migrants agricoles observés dans le milieu, il y a l'arrivée des éleveurs transhumants dont les animaux exploitent les ressources végétales et hydriques du milieu.

1.5.2.7. Transhumance et dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

La transhumance est un déplacement entre deux zones de pâturage complémentaires. Selon Chabi et *al.* (1991), la transhumance est l'ensemble des mouvements saisonniers de rythme pendulaire et de caractère cyclique intéressant la totalité de la masse pastorale, qui s'effectue à l'intérieur des pâturages coutumiers. Tout comme le nomadisme, elle est une forme d'élevage extensif la plus ancienne (Tchamié, 2003). Ces mouvements sont souvent orientés du Nord au Sud et s'effectuent sur de longue distance (Agonyissa, 1996). Au Bénin, la transhumance a été évoquée pour la première fois en 1905 à l'occasion du rapport sur l'épidémie de la péripneumonie que les animaux en transhumance dans la région de Ségbana ont contractée auprès des animaux venus de Boussa au Nigeria (Chabi et *al*., *Op cit*).

Tous les chercheurs à tous les niveaux s'accordent pour reconnaître que les causes fondamentales des mouvements de transhumance sont l'eau et les pâturages (Banoin et *al.*, 2000). Selon Atchadé (1995), pendant la saison des pluies, les mares, les rivières et les fleuves sont gorgés d'eau, facilitant en cette période l'abreuvement du bétail. Mais au fur et à mesure que la saison sèche avance, la plupart des points d'eau tarissent, occasionnant une pénurie d'eau cruciale qui oblige les animaux à se déplacer vers les points d'eau permanents. Atchadé (1995) et Onibon (1998) ont évoqué d'autres facteurs qui sont d'ordre culturel et socio-économique. En effet, le pasteur peulh se déplace quelques fois sans motivation, simplement par goût ou par habitude.

Selon Tchamié (2003), la plupart des Etats côtiers ne connaissaient pas au début du siècle passé des flux transhumants, car la permanence des foyers d'onchocercose et de la trypanosomiase entre les parallèles 8° et 11° Nord ont été défavorables pendant longtemps à l'extension du domaine de la transhumance à ces zones. Mais, à la suite d'une série de facteurs survenus au Sahel, les pasteurs peuls ont été obligés d'étendre leur zone de nomadisme pastoral vers les pays côtiers à la recherche de l'herbe et de l'eau. Ainsi, depuis les grandes sécheresses observées au

Sahel dans les années 1970 et 1980, les mouvements de transhumance ont pris une allure inquiétante en Afrique de l'Ouest.

Selon Adandédjan et Onibon (1990), en plus des éleveurs peulh du nord Bénin, beaucoup de transhumants étrangers venus notamment du Niger, du Nigéria, du Burkina Faso, ont pénétré sur le territoire béninois. Certains se sont installés dans le pays avec leurs familles et cette installation a été progressive dans le temps et dans l'espace. Ainsi, de 1971 à 1975, la région de Tchaourou a été fortement occupée; de 1975 à 1979, Savè et Ouèssè ont enregistré un flux important de ces éleveurs et puis de 1979 à 1990, tout le Département des Collines et du Zou fut occupé. Les grandes zones d'accueil de ces transhumants sur le territoire national sont : le Parc W, le Sud du Département du Borgou, précisément la Commune de Tchaourou, le Département du Zou et des Collines, notamment à Ouèssè à la confluence des cours d'eau *Toumi* et *Beffa*, et dans la région de Djègbé, dans la Commune de Savè, notamment à Akongbéré, Alafia, Sandéhou, Okounfo et à la confluence de *l'Ouémé* et de *l'Okpara*, dans la Commune de Savalou, précisément à Konkondji, Tchetti, Doumè, et dans la Commune de Covè, à la confluence du Zou et de l'Ouémé (Oloukoi et *al.*, 2004 ; Djenontin et *al*., 2009).

Les effets de la transhumance sont observés dans l'usage des feux de végétation, la déforestation, les phénomènes de surpâturage et de piétinement, facteurs qui contribuent à la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres.

Au Centre du Bénin, Oloukoi (2001) avait relevé que l'éleveur transhumant, à la recherche de l'eau et du pâturage, parcourt de grandes distances et sur tout l'espace traversé, il emploie chaque année les mêmes méthodes qui aboutissent aux mêmes résultats. Si au début de la période sèche, les formations herbeuses sont normalement pâturées, il arrive un moment où elles deviennent peu tendres, coriaces pour les animaux. Les éleveurs pour garder leurs troupeaux en bon état, se livrent à deux opérations très néfastes aux formations végétales et aux sols. Ces opérations sont l'émondage des arbres et arbustes, puis les feux de végétation. Plus de 50% des ménages interrogés à Tchaourou ont reconnu l'existence de ces pratiques au Centre du Bénin.

La première opération consiste à couper les rameaux, les branches des arbres et arbustes qui tombent au sol pour être broutés par les animaux. Le renouvellement de cette pratique tous les ans épuise les arbres et entraîne un dessèchement partiel de leurs branches. Après que les animaux aient fini de brouter les feuilles de ces

branches, elles sont laissées nues. Quelques temps après, si l'espace est incendié, ces branches coupées, brûlent longtemps au pied de l'arbre qui est aussi atteint et par conséquent meurt. L'objectif poursuivi par l'éleveur à travers l'usage des feux de végétation est de détruire la masse herbeuse lignifiée, devenue inconsommable afin de permettre aux animaux de brouter les repousses riches en éléments minéraux quelques temps après. Les jeunes graminées et autres plantes herbacées non résistantes à l'incinération répétée disparaissent de la flore. Quant aux plantes herbacées résistantes aux feux, de même que les arbres et arbustes ayant des racines profondes, ils repoussent. Mais les mutilations périodiques et saisonnières dont ils sont victimes entraînent leur dépérissement.

En general, l'analyse de la littérature existante indique que l'emploi du feu lors de la transhumance, pour la régénération des pâturages est une question très discutée. Certains auteurs préconisent le feu et estiment qu'il est indispensable. D'autres au contraire, pensent qu'il est toujours nuisible.

1.5.2.8. Occurrence des feux de végétation

Les feux de végétation sont des incendies qui parcourent chaque année les savanes africaines. Ils sont considérés comme un phénomène répandu dans les savanes et les pâturages africains. Ce sont des phénomènes très anciens dont l'apparition remonterait au Néolithique (Ramade,1981).

Dolidon (2007) et Pomel et *al.*, (1994) ont étudié les feux de végétation en Afrique de l'ouest, adoptant une approche qui intègre largement les échelles spatio-temporelles de l'analyse des feux. Il a constaté que dans cette région d'Afrique, les feux de végétation constituent un phénomène particulièrement complexe. Ils sont souvent considérés par les naturalistes comme un facteur naturel dans les milieux de savanes parce qu'ils ont un rôle écologique (Fournier, 1991; Jeffreys, 1951). Par ailleurs, les spécialistes des sciences sociales et les agropastoralistes postulent que le feu est un facteur anthropique parce qu'il est déclenché par les populations (Bruzon, 1994; Dugast, 1999 ; Kluser et *al.*, 2004). Aussi il peut être localisé et étudié dans un espace, en relation avec les autres éléments de la nature. Les arguments qui soutiennent ces positions sont doubles (Dolidon, 2007). D'abord, le feu est un phénomène mixte qui résulte de l'interaction des propriétés du milieu physique et des particularités socioculturelles. En effet, le feu se propage spatialement, tant sous

l'influence de la combinaison d'un certain nombre de facteurs du milieu notamment les paramètres climatiques et les activités humaines, que sous l'effet des pratiques agropastorales du milieu. A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, la distribution des feux forme un espace délimité plus ou moins continu. Les limites de l'espace des feux correspondent en partie aux limites des milieux ouverts de savane, ou des forêts claires, sous l'influence conjuguée du climat et des sociétés (Dolidon, 2005).

Selon Carrega et *al.* (2007) et Carrega (2008), le risque des feux peut être décomposé en trois étapes. Il s'agit de l'éclosion qui peut être provoquée par l'homme ou la foudre, la susceptibilité du milieu notamment la pente et le combustible fourni par la biomasse et le vent qui commandent la propagation des flammes. L'éclosion pourra embraser la végétation si les conditions climatiques et météorologiques l'autorisent. Autrement dit, en Afrique par exemple, où le feu de végétation a une dimension sociale, culturelle et économique (Adouabou et *al.*, 2004 ; Yameogo, 1999), il est avant tout aussi un phénomène qui dépend du climat en ce sens que l'activité des feux se développe pendant la saison sèche où les facteurs climatiques favorisent l'inflammabilité de la végétation. Les impacts des feux de végétation sont surtout écologiques (Dommergues, 1954). Au cours de la dernière décennie, l'occurrence grandissante des feux de végétation a contribué à la dévastation et à la réduction des zones forestières, la disparition de certaines espèces sensibles, l'exposition des sols aux vents et à l'érosion hydrique et à la destruction des habitats fauniques (Tandjiékpon, 2001). Afouda (1990) a estimé que les feux sont les plus grands destructeurs de la biomasse végétale et de la faune et malgré cette observation, leurs effets sont encore mal connus ou mal appréciés.

Au Bénin, à cause de la proportion très élevée des forêts sèches et surtout des savanes à cause de leur tapis graminéen, environ 75000 Km^2 de superficie de ces forêts sont exposées aux phénomènes de feux chaque année (Tandjiékpon, 2001 ; Bossou, 1999). Entre 1991 et 1998, il a été constaté une augmentation des terres agricoles et une réduction des forêts et des savanes boisées. Dans le même temps, la production des bois de feux et du charbon de bois a connu une augmentation de plus de 30% (FAO, 2000). Ces situations sont surtout favorisées par les feux de végétation utilisés comme un moyen de défrichage et d'agriculture itinérante. Ces feux se concentrent dans les Départements du Borgou et de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga, du Zou et des Collines, et sont généralement suivis des méfaits et

dégâts socio-économiques. Utilisés pour la préparation des champs, la chasse et lors de la transhumance bovine, ces feux sont considérés comme l'un des facteurs qui exposent directement le sol à la dégradation (Capo-Chichi, 2000). La Direction de l'Aménagement du Territoire, dans le Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification, a constaté que le passage répété de ces feux entraîne un effet négatif sur la végétation dont la croissance est fortement affectée. Ainsi d'année en année, la composition floristique s'appauvrit privilégiant les essences résistantes au feu. Tout ceci conduit à un dénuement de grands espaces autrefois boisés.

Si selon Monnier (1981), le feu supprime le tapis végétal en fin de cycle annuel et intervient dans la levée de l'inhibition des facteurs de dormance, il est surtout néfaste aux ligneux, en particulier aux jeunes tiges. Selon Daougbe (1988), au nord du Bénin, toutes les tiges de diamètre compris entre 0 et 1 cm sont tuées par les feux de 14 heures à 19 heures quelle que soit l'essence. Certaines tiges de 1 à 2 cm, de 2 à 3 cm meurent aussi parfois. Ces résultats révèlent que les feux allumés par exemple dans l'intention d'améliorer la qualité des fourrages pour les animaux transhumants, sont aussi dangereux pour les jeunes plants qui doivent en principe assurer la protection du sol.

Pendant longtemps, les feux de végétation ont été considérés comme un facteur majeur pour la stabilité environnementale au Bénin (Tandjiékpon, 2001). Depuis la période coloniale, des lois ont été votées pour réglementer l'utilisation des feux par les populations. Le premier décret sur les feux au Bénin date du 4 juillet 1935 sous l'administration coloniale. Il sera suivi de plusieurs autres dont celui du 30 décembre 1982. Les plus récents actes sont la loi N° 93-009 du 2 juillet 1993 (article 56 et 57) et le décret N° 96-271 du 2 juillet 1996 (Articles N° 76 à 79) qui stipulent que la pratique des feux de végétation est interdite sur tout le territoire national, à l'exception des feux de végétation précoces utilisés comme un moyen préventif. Les modalités pour les feux précoces, surtout la période, sont à déterminer de façon conjointe chaque année par les autorités ministérielles. Le problème rencontré dans l'application de cette législation sur les feux concerne beaucoup plus les populations dont une large frange est illettrée et pauvre. La seconde difficulté résulte du manque de moyens et de ressources humaines capables d'informer ces populations de façon adéquate sur les différents textes législatifs et réglementaires de les former sur les méthodes prescrites de gestion des feux de végétation.

Jusqu'à un passé récent, il existe très peu d'informations précises sur la fréquence et l'étendue des feux de végétation en Afrique; mais de nos jours, les gouvernements et les chercheurs se penchent de plus en plus sur le problème compte tenu des dommages qu'ils causent chaque année à la biodiversité et aux conditions atmosphériques. Il importe cependant de remarquer que les efforts fournis dans ce sens pour la protection de la biodiversité ont pris de l'ampleur avec l'avènement des satellites de basse résolution munis des capteurs sensibles qui sont capables d'enregistrer des points actifs de feux de végétation sur la terre. Ces capteurs sont :

- NOAA-AVHRR, fourni dans le cadre du Projet *'Integrated Forest Fire Management' (IFFM) ;*
- ERS-2 ATSR utilisé dans le cadre des études de validation de l'Atlas des feux par l'Institut Européen de Recherche Spatiale/ Agence Européenne de l'Espace ;
- MODIS dont les données sont fournies par la NASA et l'Université de Maryland.

Ces trois systèmes sont équipés d'un détecteur d'éléments thermiques qui permet de mesurer la température de radiance sur la surface de la terre. Compte tenu du fait que chaque capteur peut produire parfois des données erronées, des algorithmes plus élaborés ont été développés pour augmenter la précision de la détection des points de feux (Kaufman et Justice, 1998; Dwyer et *al.*, 2000; Mota et *al*., 2006). Chacun des satellites présente des avantages et des inconvénients en fonction des études envisagées.

Au Bénin, Thamm (2008) avait étudié la fréquence des feux de végétation dans le cadre du projet IMPETUS. En effet, IMPETUS a mis en place un système de gestion des feux de végétation basé sur les images satellitaires MODIS quotidiennes pour la saison sèche 2006 - 2007. Ce système favorise l'analyse de la fréquence des feux de végétation à une grande résolution temporelle et donne une base d'informations saines aux décideurs. Des analyses, il ressort que la fréquence des feux augmente avec l'accroissement de la population, et ceci pourrait avoir d'importants impacts sur l'écosystème et conduire à la dégradation des sols et la perte de la biodiversité. Aussi, la gestion des feux de végétation a fait l'objet d'un projet conjoint entre IMPETUS et la GTZ / ProCGRN dans la Commune de Boukoumbé (Atacora) où l'analyse des fréquences de feux a été dérivée des images satellitales Landsat.

Dans une étude sur la gestion des feux au Bénin, Linsoussi (2011) quant à lui, a mis en place un système spatial d'aide à la décision pour la surveillance des feux de végétation appelé FIMAT (*Fire Management Tool*). Ce système, entièrement basé sur la programmation informatique au moyen du langage Java, utilise les données MODIS sur les feux et fournit une interface interactive de consultation et d'affichage de la fréquence des feux. En appliquant le système dans l'aire protégée de la Pendjari, l'auteur (*op. cit.)* a remarqué que la distribution spatio-temporelle des feux est en relation avec des unités d'occupation des terres et la distribution temporelle des pluies. Néanmoins, bien que des appréciations aient été faites sur la relation entre la fréquence des feux et l'occupation des terres, il importe de retenir que l'étude ne donne pas des informations sur l'analyse de la corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et la dégradation de la végétation. Autrement dit, pourrait-on déduire que les feux de végétation sont les facteurs principaux de la dégradation de la végétation dans le Parc de la Pendjari ?

Dans le cadre de la présente thèse, les données du capteur MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) ont été utilisées. Selon Valea (2005), l'utilisation des données MODIS présente des avantages certains. Ces données sont pour la plupart à moindre coût ou parfois gratuites pour des utilisations de recherche. Elles sont traduites sous forme de couches cartographiques accessibles sur le site de la NASA. La fréquence de passage (deux fois par jour) permet de capter un grand nombre de points de feux. Aussi, la résolution des données utilisées (entre 250 et 500m) est favorable par rapport à d'autres capteurs de basse résolution comme NOAA AVHRR qui a une résolution de plus de 1km. Mais il importe de signaler que les feux détectés ne sont qu'un échantillon des feux actifs car beaucoup de cas de feux sont perdus quand ils se retrouvent sous les nuages ou quand ils sont allumés en dehors des heures de passage du satellite. Néanmoins, ces données sur les feux permettent de circonscrire les zones sensibles.

D'importants travaux ont été réalisés sur l'occupation et l'utilisation des terres dans le monde entier et en Afrique en général et au Bénin en particulier. Dans le Centre du Bénin, bien qu'il existe quelques travaux sur la dynamique du paysage, il importe de souligner que très peu d'études ont focalisé leurs intérêts sur la fragmentation des unités d'occupation et d'utilisation des terres, la modélisation de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres et la relation entre l'occupation des terres et les feux de végétation.

Par ailleurs, la présente étude apportera de nouvelles dimensions à l'étude de la dynamique du milieu, à la méthodologie adoptée, en insistant beaucoup plus sur les projections futures, les implications environnementales et socio-économiques mais en intégrant la part des feux de végétation dans la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres.

CHAPITRE DEUXIEME

DEMARCHE METHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique adoptée dans le présent travail de recherche repose sur l'acquisition des données, le traitement et l'analyse de ces données sur la base des principes de la télédétection satellitale et des Systèmes d'Information Géographique, combinés aux investigations socio-économiques. La télédétection et les SIG sont des outils adéquats pour détecter et analyser les changements dans l'environnement biophysique en particulier au niveau de l'occupation des terres (Nonguierma, 2000 ; Gueye et Ozer, 2000). Ils contribuent à affronter les priorités actuelles que sont l'évaluation, le suivi et une meilleure connaissance de l'état présent et des évolutions des écosystèmes (Hiernaux et Turner, 2002; Hountondji *et al.*, 2003 ; Bock et Lacroix, 2004). La demarche méthodologique repose sur une approche intégrée qui combine l'analyse cartographique des mutations de l'occupation des terres et de l'occurrence des feux de végétation. Un modèle statistique qui intègre les facteurs et les implications de la dynamique du paysage est développé.

2.1. Données utilisées

Les données acquises dans le cadre de ce travail sont de trois ordres. Il s'agit des données de source documentaire, des données spatiales et des données socio-économiques collectées sur le terrain.

2.1.1. Recherche documentaire

La recherche documentaire a permis l'assemblage des documents et la collette de certaines données secondaires existantes ayant rapport avec le sujet de cette thèse. Ces données sont relatives à la géographie de la zone d'étude, la démographie et l'évolution de la population, l'environnement global du milieu et les activités socio-économiques. La recherche documentaire a été faite dans les structures intervenant dans le développement rural au Bénin. Ces structures sont le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), le Ministère du Commerce, le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, et les Organisations

Non Gouvernementales intervenant dans la gestion de l'Environnement. Aussi des centres de documentation ont-ils été visités. Il s'agit de la bibliothèque centrale de l'Université d'Abomey-Calavi, la bibliothèque de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), le centre de documentation de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), le centre de documentation du Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), les centres de documentation de l'INSAE, le Laboratoire Pierre Pagney, Climat, Eau, Écosystèmes et Developpement (LACEEDE), le Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE). Des sites Web ont également été consultés dans le cadre de la documentation.

2.1.2. Acquisition des données spatiales

Dans le but d'avoir des informations fiables et à jour pour l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres, il a été utilisé des images satellitales de résolution variant entre 28,5 et 32 m, capables de fournir une idée plus ou moins précise des unités d'occupation et d'utilisation des terres. Ces données acquises à des dates différentes s'étendent sur trois périodes (1986, 2000 et 2006) et permettent par conséquent, de faire une analyse diachronique.

2.1.2.1. Données satellitales utilisées

Des images satellitales sur une période de trois années sont acquises pour l'étude de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. Il s'agit des données de Landsat TM (Thematic Mapper) de 1986, des données de Landsat ETM+ (Enhance Thematic Mapper) de 2000 et enfin de NigeriaSat1, de novembre 2006. Les données Landsat ont été obtenues par téléchargement à partir du site web de l'Université de Maryland concernant le projet *Global Land Cover Facility (GLCF)*. L'image de NigeriaSat provient du capteur Standard DMC (Disaster Management Constellation) et a été mise à notre disposition par la NASRDA (*National Space Research & Development Agency*) qui est l'Agence Nationale Spatiale pour la Recherche et le Developpement du Nigeria.

Les images TM et ETM du satellite Landsat, ont une résolution spatiale de 28,5m. Quant au satellite NigeriaSat1 mis sur orbite en 2003, son capteur génère des images à une résolution spatiale de 32 m. Les différentes scènes Landsat ETM et TM

utilisées sont les scènes P192R054, P192R055 et P191R055, chaque scène ayant une dimension de 170 km x 180 km. Quant à Nigeriasat1, la scène de colonne 16151 et de ligne 9902 a été utilisée (tableau III) et couvre 500 km x 600 km. La couverture spatiale des scènes de Landsat TM et ETM sur la zone d'étude est présentée dans la figure 1.

Tableau III: Caractéristiques des images satellitales utilisées

Satellite	Capteur	Résolution	Scènes utilisées	Date d'acquisition
Landsat 5	TM (Thematic Mapper)	28,5 m	P192R54 P192R55 P191R55	13/01/1986
Landsat 7	ETM (Enhance Thematic Mapper	28,5 m	P192R54 P192R55 P191R55	13/12/2000
NigeriaSat1	NigeriaSat-1 (Standard DMC sensor)	32m	Colonne : 16151 Row : 9902	15/11/2006

Les trois scènes des images Landsat TM et ETM ont été d'abord mises ensemble sous forme de mosaïque et la partie concernant spécifiquement la zone d'étude a ensuite été extraite.

Pour l'image de NigeriaSat1, la scène disponible pour la région centrale du Bénin couvre une bonne partie de la zone d'étude. Mais l'extrême ouest n'est pas couverte et a été complétée par les données des cartes d'occupation des terres réalisées dans le cadre du projet Bois de Feu (figure 2). Ces cartes d'occupation des terres du projet Bois de Feu, notamment les feuilles de SOKODE et d'ABOMEY au 1/200000, ont été réalisées avec les scènes Landsat ETM P192R055 du 04/01/2003 et P192R054 du 04/02/2005 (Orekan, 2007b).

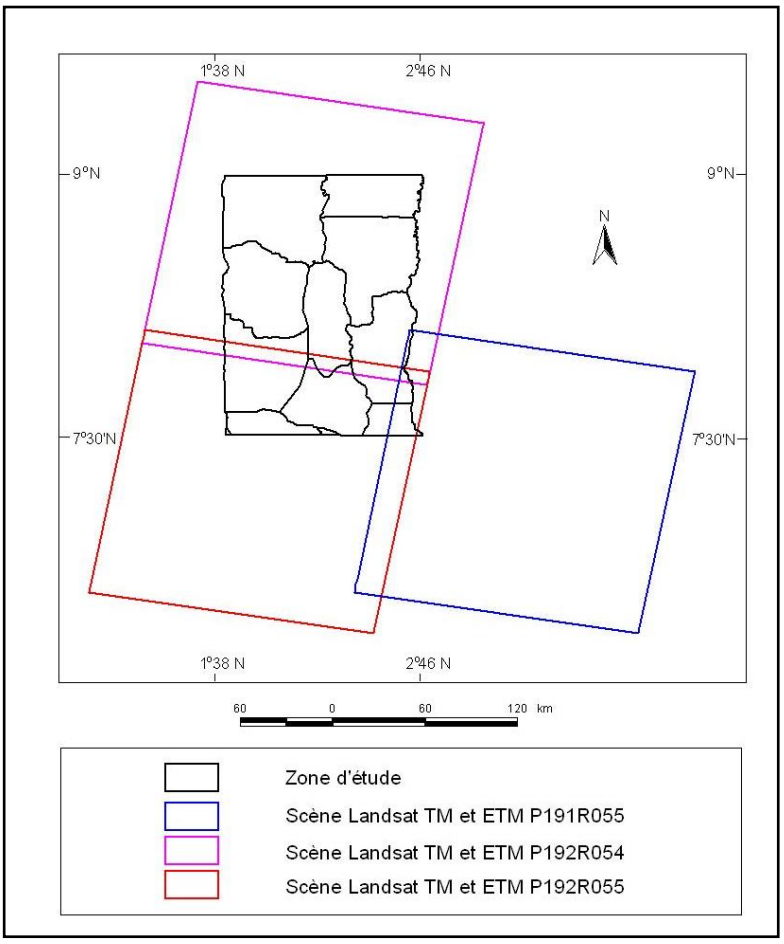


Figure 1: Couverture de la zone d'étude par les scènes de Landsat TM et ETM+

Au lieu de choisir cette option qui combine l'image NigeriaSat1 et les données de l'occupation des terres du Projet Bois de Feu, on pouvait travailler directement avec Landsat ETM de 2006, 2007, 2008 ou 2009. Mais ces scènes récentes de Landsat ne sont pas de bonne qualité car depuis juillet 2003, le capteur du satellite Landsat a des problèmes. En effet sur une scène Landsat dont celle couvrant la zone d'intérêt de cette thèse, environ 22% des informations sont perdus (http://landsat.usgs.gov, consulté le 10/01/2009).

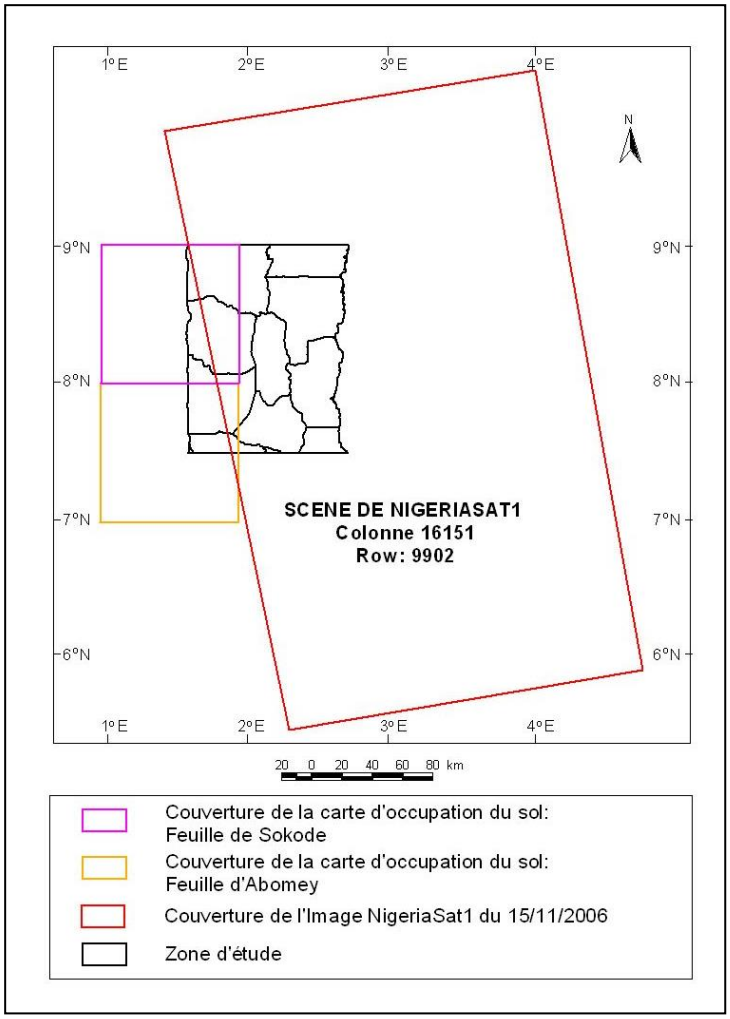


Figure 2: Couverture de la zone d'étude par la scène de NigeriaSat1 et par les feuilles d'Abomey et de Sokodé du Projet bois de Feu

Toutes les images utilisées présentent une bonne aptitude quant à l'étude de l'occupation du sol. L'image NigeriaSat1 de novembre 2006 a été utilisée pour la mise à jour de l'occupation et de l'utilisation des terres alors que les autres séries ont servi dans l'approche diachronique de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol.

En dehors des images satellitales optiques, nous avons utilisé des données de points de feu acquises de novembre 2000 à décembre 2010, mis à notre disposition par le département de Géographie de l'Université de Maryland des Etats Unis. Elles proviennent du capteur MODIS monté à bord des satellites Terra et Aqua. Ce capteur est équipé d'un système de détection thermique qui permet de mesurer les températures sur la surface terrestre. Si la température au dessus d'un lieu dépasse

un certain seuil, ce lieu précis est considéré par MODIS comme un point actif de feu qui constitue un ‘’événement feu’’ (Langner et Siegert, 2008; Csiszar et *al.,*2006). La figure 3 montre la probabilité pour des feux d’être détectés par le capteur MODIS en tenant compte de la relation entre la température pendant le jour et la nuit et la taille des feux dans chaque biome.

Le type de biome, la période (jour ou nuit), la température variant généralement entre 500 et 1200 degré Kelvin et la superficie embrasée, constituent des paramètres de détection des feux actifs sur la surface terrestre par le capteur de MODIS. Par exemple dans la zone d’étude dominée par la savane tropicale, un feu est détectable par le capteur de MODIS lorsqu’il embrase une superficie minimum de 100 m^2 avec une température minimum de 1100 degrés Kelvin, de jour comme de nuit. Lorsque la superficie embrasée est comprise entre 1000 et 10000 m^2 et que la température est de 500 degrés Kelvin soit environ 226,86 degrés Celsius, le feu peut être détecté (figure 3).

Il importe de noter qu’aucun des capteurs de détection des feux comme par exemple MODIS, NOAA etc, n’est capable de distinguer un ou plusieurs feux dans un pixel. Chaque point de feu actif représente le centre d’un pixel d’environ 1 km de taille qui contient au moins un point de feu dans l’espace représenté par le pixel. Si dans un pixel, il existe plus de deux centres de feux, le satellite considère le centre de ce pixel comme un point chaud. Par conséquent, le concept ‘’d’événement feu’’ ou ‘’d’occurrence feu’’ a été utilisé comme synonyme d’un pixel chaud.

En somme, un feu réel sur la surface terrestre peut être un ensemble de points de feux contenus dans un pixel de 1 km x 1 km (figure 4). Le pixel est la plus petite surperficie homogène constitutive d’une image enregistrée, correspondant au plus petit élément pictorial sur une image (Bonn, 2000).

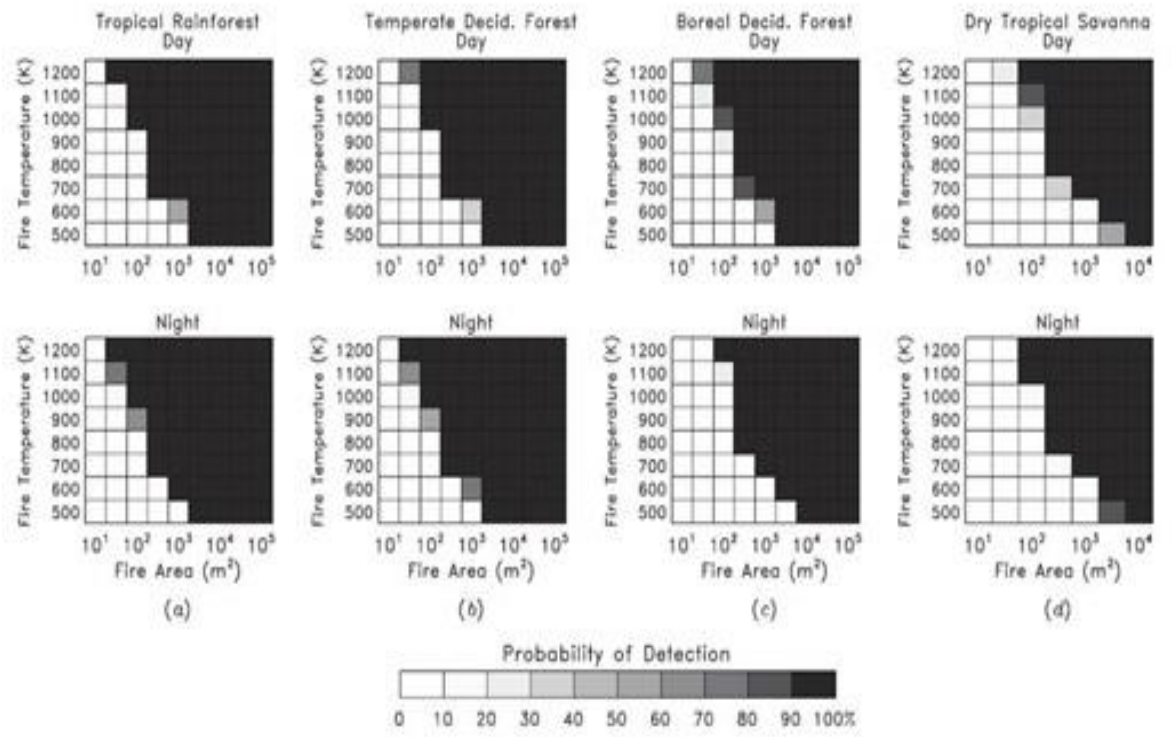


Figure 3: Seuil des températures en degré Kelvin, des feux détectables par MODIS en fonction de leur taille
Source : Giglio et al. (2003)

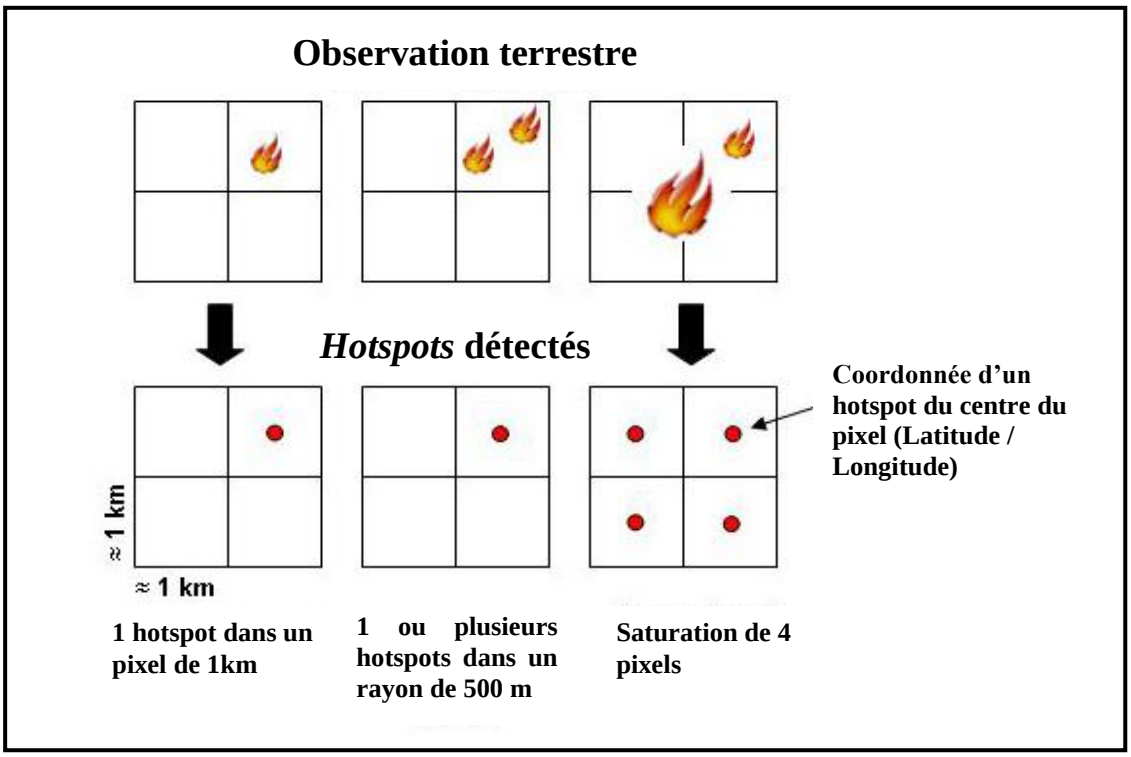


Figure 4: Pixels chauds et leurs correspondants sur le terrain
Source: University of Maryland, FIRMS (http://maps.geog.umd.edu/firms/faq.htm, consulté le 25/07/2009)

Les attributs de ces points de feu sont (Giglio, 2010 ; Davies et *al.*, 2009):

- la latitude et la longitude : elles indiquent la localisation géographique du point central d'un pixel de 1 km x 1 km, qui contient un ou plusieurs feux (la taille du feu peut ne pas être 1km^2 ; elle est variable) ;
- la brillance : cet attribut indique la température de brillance mesurée en degré Kelvin, en utilisant les canaux 21/22 et 31 de MODIS. Cette température est en réalité la mesure des photons à une longueur d'onde donnée reçue par le capteur, mais présentée en unité de température ;
- le *scan* et le *track* : ce sont les paramètres de la résolution spatiale du pixel scanné. Il importe de noter que la taille du pixel n'est pas toujours de 1 km^2. La taille des pixels à l'extrémité est et ouest, est généralement plus grande que 1 km^2. Cette taille est juste de 1 km^2 au nadir. Les valeurs du scan représentent la résolution suivant la direction est-ouest, tandis que celles du track représentent la résolution suivant la direction nord;
- la confiance de la détection: c'est un indice qui indique le degré de précision ou de qualité de chaque pixel de feu actif détecté ;
- le pouvoir radiatif du feu: il s'agit du pouvoir radiatif du feu intégré dans un pixel, exprimé en Mégawatts (MW) qui indique l'intensité du feu. Il fournit des informations sur la quantité de chaleur radiante mesurée sur des feux détectés. La quantité de l'énergie calorifique radiante libérée par unité de temps est supposée être en relation avec le taux de consumation du combustible (Wooster *et al.*, 2005).

En dehors de ces attributs, le fichier de forme (shapefile) des points de feux contient des informations sur la date et le temps d'acquisition des points de feu.

2.1.2.2. Cartes existantes

Les feuilles des cartes topographiques au 1/200000 de l'AOF (Afrique Occidentale Française), couvrant la partie centrale et méridionale du Bénin ont été utilisées. Il s'agit des feuilles de Savè, Abomey, Sokodé et de Zagnanado, au 1/200.000. Ces cartes produites par l'Institut Géographique National de France (IGN), appartiennent à la grande famille des cartes de l'Afrique de l'Ouest réalisée en Afrique noire. Bien que produites pour le compte de quinze (15) États, et selon des formules sensiblement différentes, elles présentent une certaine unité de conception, caractérisée par l'établissement de la carte de base à l'échelle de 1/200000 (tableau

IV). Ces cartes datent des années 1950 pour certaines et 1960 pour d'autres. Elles constituent des cartes topographiques de référence dans la zone d'étude, en dépit des grandes évolutions observées dans le milieu pendant plus de trente ans.

Tableau IV: Cartes topographiques utilisées et leurs caractéristiques

Feuilles topographiques	Famille	Echelle	Date	Auteur	Références
Savè	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1955, réimpression Juillet 1969	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Dahomey, Feuille NC-31- III
Abomey	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1960	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Togo République du Dahomey Feuille NB-31-XX
Sokodé	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1955 ; Réimpression Septembre 1969	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Togo République du Dahomey Feuille NC-31-II
Zagnanado	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: Décembre 1960	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Dahomey, Feuille NB-31- XXI

En dehors de ces cartes topographiques, la carte générale du Bénin à l'échelle de 1/600000 a été utilisée. Cette carte a été réalisée sur la base des travaux de terrain effectués en 1982 par l'Institut Géographique National de France, en collaboration avec l'Institut Géographique National du Bénin. Révisée partiellement en 1992, la carte générale du Bénin constitue une base de données essentielle pour des études de cartographie et fournit assez d'information sur la toponymie à l'échelle de tout le pays.

2.1.3. Collecte des données socio-économiques

Les données socio-économiques ont été collectées en deux grandes étapes complémentaires. La première étape est celle de la collecte des données

secondaires. Quant à la deuxième étape, elle a été consacrée à la collecte des données primaires à partir des questionnaires structurés.

Les données secondaires collectées au cours de la première étape, ont servi à la confection des guides d'entretiens semi-structurés et des questionnaires de terrain. Ces données secondaires proviennent de certaines institutions nationales telles que l'INSAE, le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche. Il s'agit des données d'effectifs et de densité de la population, les nombres et noms de villages par commune, et ensuite les statistiques agricoles du Centre-Bénin entre 1998 et 2010. La deuxième étape a été consacrée à la collecte des données primaires sur le terrain. Ces données sont obtenues à partir d'une enquête par questionnaires structurés conduite dans dix (10) Communes dont une dans le Départements du Borgou (Sud de la Commune de Tchaourou), six dans le Département des Collines (Savè, Ouèssè, Savalou, Bantè, Glazoué, Dassa-Zoumè), une dans la Donga (Sud de la Commune de Bassila), une dans le Plateau (Nord de la Commune de Kétou) et une dans le Zou (Nord de la Commune de Djidja). Dans ces communes, environ 2 à 10 villages, hameaux ou campements ont été enquêtés, soit environ 68 sur 337 villages de la zone d'étude (figure 5).

Les principaux critères sont essentiellement la taille du village ou du hameau ou campement, la disponibilité des producteurs et d'autres acteurs visés. Les communes dont les villages ont été retenus pour les investigations sont en effet reconnues d'une part comme de grandes zones de production agricole au Bénin et d'autre part comme des lieux de forte pression sur les ressources forestières (Ogouwale, 2006 ; Yabi, 2007 ; Mama, 2002, Adjinda et *al*., 1997). Un questionnaire est administré à chaque acteur (producteurs, éleveurs, chasseurs, exploitants forestiers etc.), et des entretiens informels (avec des personnes âgées, autorités communales, exploitants forestiers, autorités traditionnelles ou *Baalè,* forestiers) ont été également réalisés.

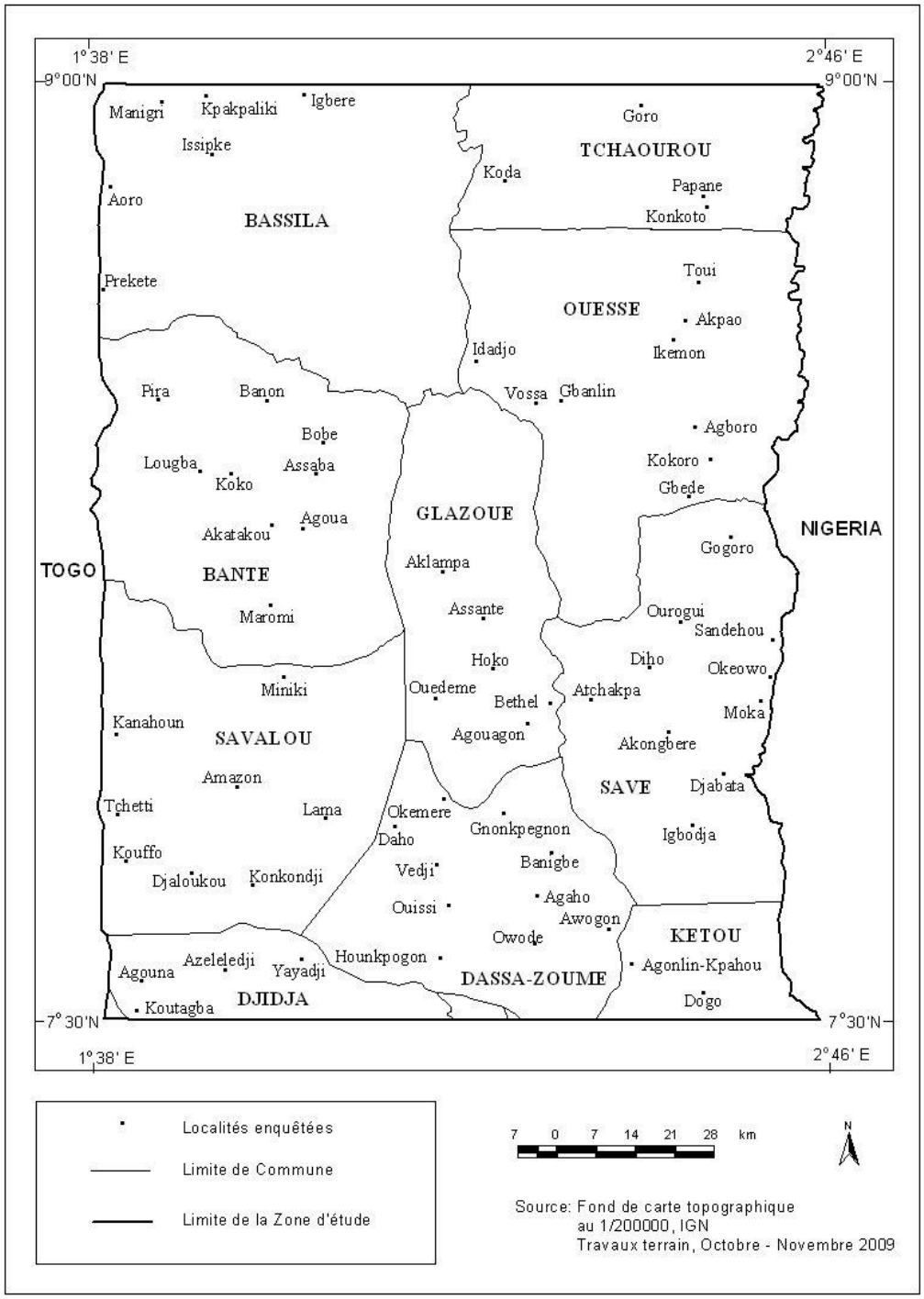


Figure 5: Répartition géographique des localités enquêtées

L'unité de base de cette enquête socio-économique est le ménage. Le concept de "ménage" est fondé sur les dispositions prises par les personnes individuellement ou d'une façon collective afin de pourvoir à leurs besoins vitaux. Deux types de ménages ont été distingués: le ménage ordinaire et le ménage collectif. Le ménage ordinaire est un ensemble de personnes apparentées ou non, reconnaissant l'autorité

d'un même individu appelé "Chef de Ménage" et dont les ressources et les dépenses sont également communes. Elles habitent le plus souvent sous un même toit, dans la même cour ou la même concession. Le ménage collectif est défini comme un groupe de personnes qui n'ont généralement pas de lien de parenté mais qui vivent en commun dans un établissement pour des raisons de discipline, de voyage, de santé, d'études ou de travail (INSAE, 2003b).

2.1.3.1. Technique d'échantillonnage

La technique d'échantillonnage adoptée dans cette étude est basée sur un sondage au niveau des ménages agricoles produisant aussi du charbon de bois ou exploitant la forêt au Centre du Bénin. Il s'agit ici d'un échantillonnage stratifié compte tenu de l'hétérogénéité spatiale, administrative et socioculturelle de la zone d'étude. Le secteur d'étude a été subdivisé en des strates qui sont ici les différentes Communes. Pour chaque Commune, un sous-échantillon n_i a été choisi de façon aléatoire au niveau des villages retenus et les individus sont choisis selon le principe du tirage exhaustif sans remise.

La formule utilisée pour la constitution de l'échantillon est basée sur le principe du tirage exhaustif (do-ANGO, 2008) qui se présente comme suit:

$$n = \frac{Nt^2P(p-1)}{e^2(N-1)+t^2P(P-1)}$$

Avec N la taille de la population-mère (Nombre de ménages agricoles qui produisent du charbon ou sont exploitants forestiers), n la taille de l'échantillon, e la marge d'erreur, t le coefficient de marge (T de *Student*) déduit du taux de confiance, p la proportion des éléments de la population-mère qui présentent une propriété donnée.
Il n'existe pas de façon formelle une base de données indiquant le nombre de ménages agricoles qui, en plus de l'agriculture, font du charbon ou de l'exploitation forestière. Mais d'après les discussions que nous avons eues avec certaines autorités locales et traditionnelles lors des investigations préliminaires, il nous a été indiqué qu'au moins 1/3 des ménages agricoles supportent leurs activités agricoles par la production du charbon de bois ou par l'exploitation de la forêt. Ainsi N qui est la base de sondage de cette étude a été estimée à 8 596 ménages agricoles car le nombre de ménages dans l'ensemble des villages et hameaux retenus pour cette enquête de terrain est d'environ 25 537 (INSAE, 2005a,b,c,d,e).

La marge d'erreur est fixée à 5 % qui est une norme partagée (Durand, 2002), indiquant que le choix de l'échantillon est acceptable dans un intervalle de confiance de 95 %. Le coefficient de marge (T de student) déduit du taux de confiance varie entre 0,62 et 1,15 dans les dix strates, ce qui n'est pas loin de 1 et permet de fixer le seuil de significativité à 10 %. Le taux de sondage ou d'échantillonnage étant fixé à 5%, la taille de l'échantillon considéré pour cette investigation est estimée à 430 ménages (tableau V).

Tableau V: Synthèse des paramètres de la technique d'échantillonnage utilisée

Département	**Commune**	**Ménages (villages retenus)**	**Effectif Ménages agricoles (N)**	**P (en %)**	**e**	**t**	**tirage exhaustif**
Collines	Bantè	4620	860	0.19	0,05	0.85	43
	Dassa	1631	980	0.60	0,05	0.73	49
	Glazoué	4505	860	0.19	0,05	0.84	43
	Ouèssè	5061	1160	0.23	0,05	0.91	58
	Savalou	2018	1060	0.53	0,05	0.74	53
	Savè	3579	1300	0.36	0,05	0.85	65
Donga	Bassila	2174	620	0.29	0,05	0.62	31
Plateau	Kétou	434	416	0.96	0,05	1.15	20
Borgou	Tchaourou	1267	900	0.71	0,05	0.75	45
Zou	Djidja	440	440	1.00	0,05	1	23
Total		**25729**	**8596**				**430**

Seul le chef de ménage fait l'objet d'investigations. Toutefois, par son autorisation, un ou plusieurs membres de sa famille prennent part aux entretiens.

2.1.3.2. Types de données collectées

Le but de cette enquête de terrain ayant produit les données primaires, est de comprendre les caractéristiques de l'utilisation des terres et les perspectives agricoles selon les points de vue des producteurs, en utilisant des questionnaires structurés. Ainsi, les types de données collectées et les discussions ont porté sur les thèmes variés tels que présentés dans le tableau VI.

Tableau VI: Nature des données collectées par catégorie d'acteurs lors de l'enquête socio-économique

Nature des donnees	Type de données	Categorie d'acteurs
Caractérisation des lieux d'enquête	Caractéristiques administratives, agro-écologiques, état de la voie d'accès au village ou hameau, disponibilité de la terre.	Tous les acteurs
Caractéristiques socio-économiques des enquêtés	Identification de l'enquêté, activités principales, activités secondaires, nombre de personnes à charge, niveau d'instruction, années d'expérience dans l'agriculture, le rang de l'agriculture, du commerce et de l'élevage dans les sources de revenus, appartenance à une coopérative, nombre de personnes actives, accès au crédit, immigration	Tous les acteurs
Utilisation du sol et système de culture	Types de cultures, superficie et durée de chaque culture, durée de la jachère, abattage des arbres, espèces coupées, espèces conservées, but de l'abattage des arbres.	Agriculteurs
Variation pluviométrique	Durée de la saison des pluies, perceptions locales sur la variation de durée de la saison des pluies, impact sur le calendrier agricole, stratégie locale d'adaptation.	Agriculteurs
Feux de végétation	Période de feux, raisons des feux, auteurs de ces feux, dommages créés, avantages des feux, organisation traditionnelle des activités de feux, stratégies locales de gestion des feux.	Agriculteurs, Chasseurs, Baalè, autorités communales
Abattage des arbres, evaluation du Coût de la dégradation des formations végétales	Nombre approximatif d'arbres par ha, quantité du bois tiré par kg, montant à recevoir pour ne plus couper un arbre (Consentement à recevoir), montant à payer pour continuer à couper (Consentement à payer).	Exploitants forestiers, Agriculteurs Forestiers, Baalè, autorités communales
Marché et organisation de la production	Marchés de vente des produits agricoles, distance du marché le plus proche, types de produits vendus au marché, paiement des taxes.	Agriculteurs Exploitants forestiers, Baalè
Perspectives agricoles	Projets agricoles, contraintes majeures, amélioration	Agriculteurs

Les différents entretiens ont permis d'avoir une idée approfondie sur l'utilisation et la gestion locale des ressources naturelles du milieu.

2.1.4. Données climatiques

L'analyse de l'évolution des paramètres climatiques a été faite sur la série trentenaire allant de 1976 à 2005 à partir des données de la station synoptique de Savè. En dehors de la station synoptique de Savè, les données des stations proches de la zone d'étude, comme celles de Parakou et Bohicon au Bénin, Atakpamé, Sokodé et Kara au Togo, Ilorin et Ibadan au Nigéria, ont été utilisées (tableau VII). Ces stations ont servi dans l'interpolation spatiale des données allant de novembre à février, période au cours de laquelle les activités de feux de végétation sont intenses. Les données de ces stations, dont la moyenne mensuelle sur la série trentenaire de 1976

a 2005, ont été téléchargées à partir de la base de données de *Historical Weather Records for Africa* localisée sur le site *http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm.* Les données climatiques collectées sont : les hauteurs pluviométriques, la température, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent.

Tableau VII: Caractéristiques des stations retenues

Stations	Type	Latitude	Longitude	Altitude	Mesures
Savè	Synoptique	08°01'48''N	02°27'36''E	199 m	Précip, temp, HR, Ins, ETP, Vv
Parakou	Synoptique	09°21'N	02°36'36''E	392 m	temp, HR, Ins, Vv
Bohicon	Synoptique	07°09'36''N	02°03'36''E	166 m	temp, HR, Ins, Vv
Kara (Togo)	Synoptique	09°33'N	01°09'36''E	341 m	temp, HR, Ins, Vv
Sokodé (Togo)	Synoptique	08°58'48''N	01°09'00''E	386 m	temp, HR, Ins, Vv
Atakpamé (Togo)	Synoptique	07°34'48''N	01°06'36''E	400 m	temp, HR, Ins, Vv
Ibadan (Nigeria)	Synoptique	07°21'36''N	03°58'48''E	234 m	temp, HR, Ins, Vv
Ilorin (Nigeria)	Synoptique	08°28'48''N	04°34'48''E	308 m	temp, HR, Ins, Vv

Source: *Historical Weather Records- Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm*
Précip = précipitation ; temp = température ; HR = Humidité relative ; Ins = Insolation, Vv= Vitesse du vent

En dehors de ces stations synoptiques, les données des stations pluviométriques de Savalou, Aklampa, Toui, Dassa-Zoumé, Bantè, Ouèssè, Tchaourou sur une période de trente ans (1976 – 2005) ont servi dans l'analyse de la tendance pluviométrique de la zone d'étude.

2.2. Traitement et analyses des données

2.2.1. Traitement des images satellitales

Le processus de traitement des images satellitales comporte les étapes suivantes :

- corrections géométriques et radiométriques des images ;
- amélioration du contraste et la composition colorée ou combinaison des bandes ;
- interprétation visuelle ;
- classification supervisée ;
- traitement post-classification et évaluation des résultats de la classification ;
- analyse des résultats de la classification ;

2.2.1.1. Corrections géométriques et radiométriques des images

Les images de télédétection présentent souvent des déformations ou distorsions spatiales provenant de plusieurs sources telles que l'environnement observé (courbure de la terre, variation d'altitude du sol, réfraction atmosphérique etc.), les distorsions dues aux erreurs du système de mesure et les distorsions provenant du mouvement de la plateforme (Bonn et Rochon, 2000). Ces distorsions sont généralement plus fortes pour des capteurs aéroportés que pour des capteurs satellitaires, à cause des turbulences atmosphériques. Après avoir téléchargé et affiché les images dans l'environnement du logiciel Erdas Imagine 9.2, les corrections géométriques faites depuis la source ont été acceptées. La précision de ces corrections géométriques a été vérifiée en superposant les images aux cartes topographiques existantes sur le milieu afin de confirmer la correspondance des éléments planimétriques tels que les cours d'eau et certaines voies. Les images ont été géo-référencées et rectifiées suivant la projection UTM (Universal Transverse Mercator), l'ellipsoïde et le datum *World Geodetic System (WGS 84)*. Le géo-référencement établit un lien entre les coordonnées de l'image (ligne et colonne) et les coordonnées cartographiques (latitude et longitude) en utilisant des points de contrôles terrestres. Aussi, les images ont-elles été déjà ré-échantillonnées. Le ré-échantillonnage permet de redresser géométriquement l'image et d'orienter les pixels suivant la direction Nord.

2.2.1.2. Amélioration du contraste des images utilisées et composition colorée

La qualité des images utilisées a été améliorée par le rehaussement du contraste en utilisant la technique de transformation linéaire. Ce rehaussement a permis une nette identification des signatures spectrales.

L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation et de l'utilisation du sol a été une étape importante pour le choix des canaux ETM+ et TM des scènes Landsat et des canaux 1, 2 et 3 de la scène de NigeriaSat1. A cette étape, nous avons préféré travailler sur la combinaison des bandes afin de mieux identifier les différentes unités paysagères représentées soit en pseudo couleur naturelle, soit en fausse couleur.

La composition colorée en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle a été faite afin d'identifier et de distinguer les différentes unités de l'occupation et de l'utilisation des terres, selon Haack et Jampoler (1995). Il s'agit de combiner trois bandes en les

mettant respectivement dans trois canaux du spectre électromagnétique que sont le rouge, le vert et le bleu. La composition colorée ou combinaison qualitative des bandes repose sur le principe de l'analyse combinatoire. Dans le cas de la présente étude, où par exemple l'image Landsat ETM comporte sept bandes, cette combinaison s'est révélée beaucoup plus fastidieuse parce que les résultats de l'analyse combinatoire ont donné trente cinq possibilités de choix de trois bandes sur les sept. Sur la base des connaissances antérieures, le choix du canal est opéré dans les bandes 2, 3 et 4 pour la composition colorée en fausse couleur. Ainsi les possibilités de combinaisons ont-elles été réduites à six.

Après le choix de ces trois canaux, des arrangements ont été faits afin de déterminer la meilleure combinaison. Si l'on considère que lors de la réalisation de la composition colorée, aucune bande ne sera choisie deux fois successivement pour une même épreuve, le tableau VIII indique les possibilités qui sont obtenues par la composition colorée avec Landsat ETM et TM.

Tableau VIII: Choix de la composition colorée en fausse couleur des images Landsat TM et ETM

Bandes	**Compositions colorées (canaux)**					
	Composition N º 1	Composition N º 2	Composition Nº 3	Composition **Nº 4**	Composition N º 5	Composition N º 6
R ED (Rouge)	2	2	4	**4**	3	3
GREEN (Vert)	4	3	2	**3**	4	2
BLUE (Bleu)	3	4	3	**2**	2	4

La composition choisie a été la composition nº 4. La bande 4 (TM4) est mise dans le rouge, la bande 3 (TM3) dans le vert et la bande 2 (TM2) dans le bleu, et cette composition est indiquée pour la cartographie de la végétation, des champs et jachères, de l'eau et des agglomérations (Pham et *al.*, 2007; Oyinloye, 2007). Le canal 4 opère dans le proche infrarouge et trouve son application dans l'étude de la végétation, le contenu en biomasse et les sols humides. Le canal 2 trouve son application dans le vert et est bien indiqué pour une meilleure discrimination et évaluation de la biomasse. Le canal 3 concerne la bande rouge du visible et est

indiqué pour des études sur l'assimilation chlorophyllienne et le contenu de la biomasse. En plus de cette composition, la composition en vraie couleur combinant les bandes 3 (TM3) dans le rouge, 2 (TM2) dans le vert et la bande 1 (TM1) dans le bleu, a été utilisée car cette composition colorée présente approximativement les éléments du paysage tels qu'ils sont dans la réalité. Cette composition a été utile pour l'extraction des terres brulées.

La combinaison des bandes 5 (TM5) dans le rouge, 4 (TM4) dans le vert et 3 (TM3) dans le bleu a été utilisée aussi en tant que pseudo couleur naturelle, et a permis d'identifier de façon plus nette l'eau, la végétation et les feux de végétation (figure 6).

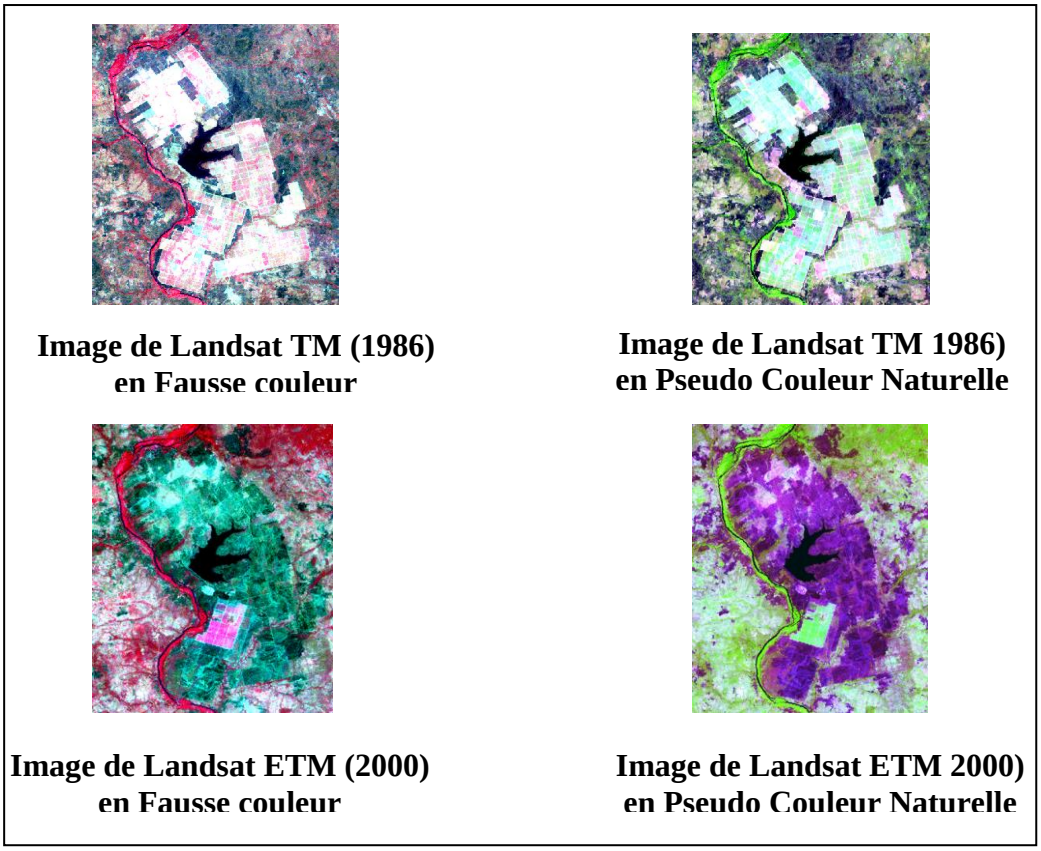


Figure 6: Echantillons des compositions colorées en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle de Landsat TM et ETM, montrant la plantation et le barrage de la SUCOBE (Sucrerie Complant du Bénin, ex Société Sucrière de Savè).

Quant à NigeriaSat1, le capteur utilise trois bandes à savoir la bande 1 qui opère dans le proche infrarouge, la bande 2 qui opère dans le canal du rouge et la bande 3 qui opère dans le canal du vert. La bande 1 se retrouve dans la même largeur de bande que la bande 2 de Landsat TM et ETM, la bande 2 correspond à la même

largeur de bande que la bande 3 de TM et ETM et la bande 3 se retrouve aussi dans la même largeur de bande que la bande 2 de TM et de ETM (tableau IX).

Tableau IX: Largeur de bande de NigeriaSat1 en comparaison avec celles des images Landsat TM et ETM

Bandes	**TM**	**ETM+**	**NigeraSat1**
1	0,45-0,52 µm bleu	0,45-0,52 µm bleu	
2	0,52-0,6 µm vert	0,53-0,61 µm Vert	0,52-0,62 µm vert
3	0,63-0,69 µm rouge	0,63-0,69 µm rouge	0,63-0,69 µm rouge
4	0,76-0,9 µm (Near Infrared)	0,75-0,9 µm PIR (Near Infrared)	0,76 – 0,9 µm (Near Infrared)
5	1,55-1,75 µm SWIR Short-wavelength infrared	1,55-1,75 µm SWIR Short-wavelength infrared	
6	10,4-12,5 µm Thermal Infrared	10,4-12,5 µm Thermal Infrared	
7	2,08-2,35 µm Short-wavelength infrared	2,1-2,35 µm Short-wavelength infrared	

Six possibilités de composition colorée s'offraient aussi avec l'image de NigeriaSat1. Ainsi dans le but d'avoir les mêmes propriétés spectrales et les mêmes combinaisons en fausse couleur des images Landsat ETM et TM, la composition nº 4 (tableau X) a été choisie. Selon cette composition, la bande 1 de NigeriaSat1 est mise dans le canal du rouge, la bande 2 dans le vert et la bande 3 dans le bleu.

Tableau X: Choix de la composition colorée en fausse couleur de l'Image de NigeriaSat1

Bandes	**Compositions colorées (canaux)**					
	Composition N º 1	Composition N º 2	Composition Nº 3	Composition **N º4**	Composition N º 5	Composition N º 6
R ED (Rouge)	3	3	1	**1**	2	2
GREEN (Vert)	1	2	3	**2**	1	3
BLUE (Bleu)	2	1	2	**3**	3	1

L'image de NigeriaSat1 a été aussi visualisée en pseudo couleur naturelle en utilisant la combinaison des bandes 2 dans le rouge, 1 dans le vert et 3 dans le bleu (figure7).

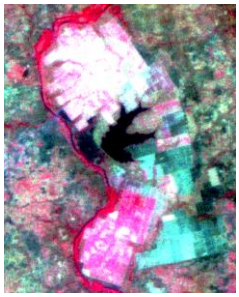


Image de NigeriaSat1 (2006) en Fausse Couleur



Image de NigeriaSat1(2006) en Pseudo Couleur Naturelle

Figure 7: Echantillons des compositions colorées en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle de NigeriaSat1 montrant la plantation et le barrage de la SUCOBE (Sucrerie Complant du Bénin, ex Société Sucrière de Savè).

Cette composition colorée a permis d'avoir une apparence plus ou moins naturelle des éléments du paysage notamment les différentes formations végétales, les espaces agricoles et les agglomérations.

2.2.1.3. Interprétation visuelle des images

En prélude à l'extraction des thèmes de l'occupation et de l'utilisation des terres, il a été procédé à une interprétation visuelle des images. Cette opération a consisté à afficher l'image sur l'écran et à identifier les objets, et juger de leur signification et de leur importance. Elle a considéré non seulement les valeurs de réflectance de chacun des pixels de l'image, mais aussi les informations spatiales et spectrales des images (forme, taille, structure, texture et couleur), les informations auxiliaires recueillies sur le terrain et sur les cartes topographiques, et ensuite le contexte.

Quelques détails ont été identifiés sur la base d'une clé d'interprétation (forme, motif, couleur, texture, voisinage, ombre) et surtout la valeur radiométrique des pixels de l'image. Cette clé d'interprétation (tableau XI) a permis de dégager les grandes unités de l'occupation des terres telles que :

- Les forêts,
- Les savanes,
- Les champs et jachères,
- Les agglomérations,
- Les sols nus et roches exposées,
- Les plans d'eau,

- Les zones brulées.

Tableau XI: Clé d'interprétation et de reconnaissance visuelle des ensembles d'occupations des sols

Unités d'occupation des terres	**Fausse couleur (Bandes 4,3,2 pour TM et ETM 1,2,3 pour NigSat1)**	**Pseudo couleur naturelle (Bandes 5,4,3 pour TM et ETM, 2,1,3 pour NigSat1)**
Forêts	Rouge foncé au rouge clair	Vert foncé au vert clair
Savanes		
Champs et jachères		
Agglomérations	Variation de cyan	Variation de magenta
Sols nus et roches exposées		
Eau	Gris sombre	Gris sombre
Zones brulées	Gris sombre	Gris sombre

2.2.1.4. Classification supervisée des images

La classification supervisée a été utilisée pour transformer les données multi spectrales en cartes thématiques de l'occupation et de l'utilisation des terres. La classification supervisée est une méthode dans laquelle l'analyste définit de petites surperficies appelées parcelles d'entraînement sur l'image qui représentent chaque catégorie d'occupation et d'utilisation des terres. La figure 8 présente la démarche méthodologique suivie pour cette classification supervisée des images. La définition des parcelles d'entraînement représentatives d'un type particulier de la couverture du sol est plus effective lorsque l'analyste a une connaissance de la géographie de la région et l'expérience avec les propriétés spectrales des classes d'occupation du sol. L'analyste applique alors des algorithmes qui reconnaissent les valeurs ou signatures spectrales associées aux parcelles d'entrainement. Après que les signatures spectrales pour chaque type de l'occupation du sol aient été identifiées, le logiciel utilise ces signatures pour classifier les autres pixels.

Dans le cadre de la présente étude, la classification supervisée est faite moyennant l'algorithme *Maximum Likelihood*, ie le Maximum de vraisemblance avec le logiciel ENVI. Cette méthode de classification suppose que les statistiques pour chaque classe de l'occupation et d'utilisation des terres dans chaque bande sont normalement distribuées (Shalaby et *al.*, 2007; Wu et *al*., 2006; Yuan et *al*., 2005). Cet algorithme calcule la probabilité pour qu'un pixel donné appartienne à une classe

spécifique. Chaque pixel est classé dans une catégorie donnée d'occupation du sol dont la probabilité est plus élevée.

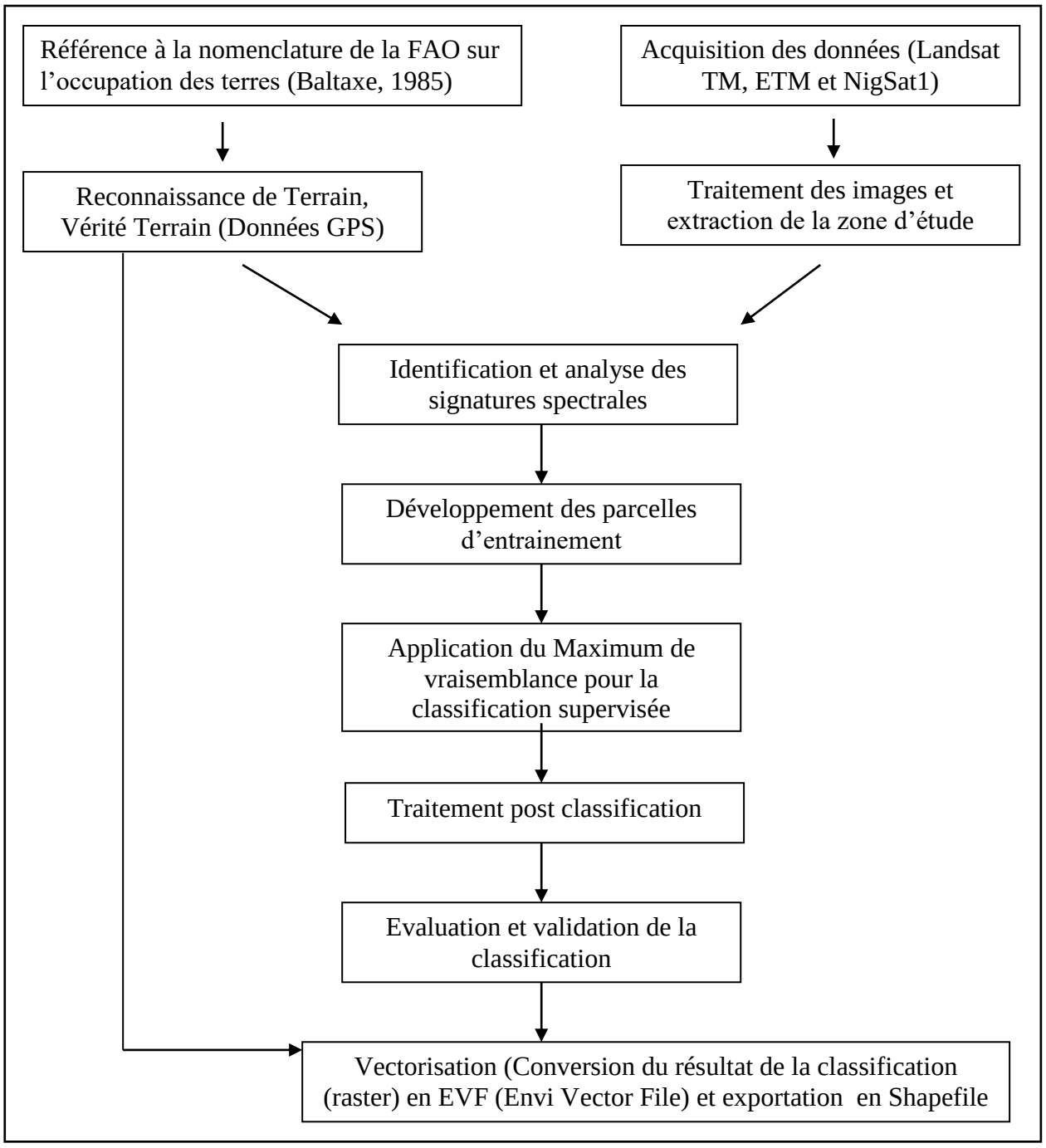


Figure 8: Procédure générale de la classification supervisée et de l'extraction de l'information

2.2.1.5. Évaluation des résultats de la classification

Les méthodes conventionnelles d'évaluation de la précision thématique des résultats de la classification ont été appliquées. Il s'agit de la matrice de confusion, de l'Indice

Kappa (Congalton, 1991), de l'Indice Cartographique de Validation et de l'Indice de Pureté des Classes.

La matrice de confusion donne une évaluation de la précision globale de la cartographie et des résultats de classification pour chacune des classes thématiques. Cette matrice permet de dégager les erreurs de commission et les erreurs d'omission du processus de la classification.

L'indice Kappa évalue dans la matrice de confusion l'accord entre les résultats obtenus (carte) et la vérité sur le terrain (BD). Il s'étend de 0 à 1 et se divise en cinq catégories : accord très faible de 0 à 0,20; accord faible de 0,21 à 0,40 ; accord modéré de 0,41 à 0,60 ; accord substantiel de 0,61 à 0,80 ; accord presque parfait de 0,81 à 1 (Chalifoux et *al.,* 2006). Pontius (2000) a postulé qu'une étude de l'occupation des terres peut être validée si l'indice Kappa est compris entre 50 % et 75 %. L'indice Kappa (équation 1) est exprimé en terme de précision globale observée (équation 2) et de précision prévue (équation 3).

$$k = \frac{a - b}{1 - b} \qquad \textit{Equation 1}$$

Avec :

$$a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{Nc} x_{ii} \qquad \textit{Equation 2}$$

Et

$$b = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{Nc} (x_{+i} . x_{i+}) \qquad \textit{Equation 3}$$

Nc = Nombre de classes

N = Nombre total d'observations

x_{ii} = Nombre d'observations dans la colonne i

x_{+i} = Total des observations dans la colonne i (total à droite dans la matrice)

x_{i+} = Total des observations dans la ligne i (total en bas de la matrice)

De la matrice de confusion, les erreurs d'omission et de commission ont été évaluées. De même, pour chaque classe d'occupation et d'utilisation des terres, l'Indice de Validation Cartographique (IVC) et l'Indice de Pureté des Classes (IPC), ont été déterminés suivant les formules ci-après :

$$IVC = \frac{NCC_i}{NT_i} \ , \ IPC = \frac{NCC_i}{NC_i}$$

Avec NC_i le Nombre de pixels de la classe C_i , NT_i le nombre de pixels du thème T_i sur le terrain et NCC_i le nombre de pixels correctement classés dans la classe C_i .

Les résultats de l'évaluation de la précision de la classification des images sont présentés dans le chapitre sur l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres car ils indiquent la qualité des informations extraites de ces images.

2.2.1.6. Analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

Après le processus de la classification des images, l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres s'est basée sur l'approche de détection des changements afin de comparer les différentes classes de l'occupation et de l'utilisation des terres de 1986 à 2000 et de 2000 à 2007. La détection des changements est une approche qui consiste à identifier des différences dans les états d'un objet ou phénomène en l'observant à des périodes de temps différents (Singh, 1989). Les matrices de transition sont déterminées et permettent de comprendre les différents types de conversion entre les unités de l'occupation du sol et de faire des projections.

La détection des changements dans cette étude a donc combiné les méthodes de l'interprétation visuelle et des classifications développées plus haut, aux approches SIG. Ainsi, les changements de l'occupation et de l'utilisation des terres ont été appréciés sur la base des éléments suivants :

- les taux des changements d'occupation des terres ;
- les indices de paysage ;
- les matrices de transition et les matrices de probabilité.

Taux de changement

Il s'agit du taux moyen annuel d'expansion spatiale. La formule utilisée est celle qui a été proposée par Puyravaud (2003) et utilisée par Oloukoi et *al.* (2007) dans une étude de modélisation de la dynamique de l'occupation des terres au sud du Département des Collines au Bénin, et Schulz et *al* (2010) dans une étude de la dynamique de l'occupation du sol au centre du Chili.

La variable considérée ici est la superficie (*S*) de chaque unité d'occupation des terres. Les superficies ont été générées directement dans l'environnement de ArcGIS

9.2 grâce aux fonctions d'analyse spatiale. Ainsi, pour S_1 et S_2, correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation des terres en année t_1 et en année t_2, le taux d'expansion spatiale moyen annuel *T*, est évalué à partir de la formule suivante : $T = (1/(t_2 - t_1)) \times \ln(S_2 / S_1)$, avec *t* le nombre d'années d'évolution ; ln le logarithme népérien

Indices de paysage

Des indices de structure spatiale ont été aussi calculés pour évaluer le niveau de dégradation et de fragmentation des unités de l'occupation des terres (Rey et *al.*, 2009 **;** Yuechen, 2008 ; Bamba et *al.,* 2008 ; Bamba et *al.*, 2010). Ces indices ont été utilisés suivant le principe que le paysage est composé de trois types d'éléments (Burel & Baudry, 2003):

- les taches qui sont des entités élémentaires fonctionnelles d'une classe d'occupation du sol,
- les corridors qui constituent des éléments linéaires reliant les taches entre elles,
- la matrice qui est l'élément englobant exerçant le rôle dominant

Il s'agit de l'indice de morcellement (IM), l'indice d'isolement, l'indice de diversité de Shannon (H), l'indice de Dominance (D), du Nombre de Taches d'occupation des terres (NT), de l'Aire des classes d'occupation des terres (AC), la Proportion en pourcentage des classes d'occupation des terres (PC), la Taille Moyenne des Taches de classes d'occupation des terres (TMT). Ces différents indices de paysage ont été calculés sur la base des informations extraites des images satellitales utilisées dans cette étude.

***Nombre de taches (NT)** :* il s'agit du nombre de taches n_i, dans chaque unité d'occupation et d'utilisation des terres. Il correspond au nombre de polygones obtenu après vectorisation des résultats de la classification en utilisant le logiciel ENVI.

***Aire des classes (AC)** :* il s'agit de la superficie a_i occupée par chaque unité d'occupation et d'utilisation des terres. Elle exprime la mesure de la composition du paysage et montre la proportion du paysage formé par un type de tache ou de polygone.

Taille Moyenne des Taches (TMT) *:* c'est la superficie moyenne des taches formant une unité de l'occupation et l'utilisation des terres. Cette taille devrait diminuer lorsque la fragmentation du paysage s'intensifie. $TMT = a_i / n_i$

Indice de Diversité de Shannon (H) *:* cet indice indique la diversité dans une écologie communautaire. Dans le cadre du présent travail, il est appliqué aux différentes unités de l'occupation et de l'utilisation des terres composant le paysage. Cet indice augmente au fur et à mesure que le nombre de types de taches ou d'unités d'occupation des terres augmente aussi, ou bien au fur et à mesure que la distribution spatiale des types de taches devient plus équitable. $H = -\sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i)$ avec P_i la proportion du paysage occupée par chaque type d'occupation des terres, m le nombre de types de paysage ou classes d'occupation et d'utilisation des terres.

Indice de Dominance (D) *:* l'indice de dominance est utilisé pour mesurer le degré de dominance de chaque type de tache dans le paysage. Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée. D = $\ln(m) - H$, avec H l'indice de Diversité, m le nombre de types de paysage ou classes d'occupation des terres.

Indice d'Isolement (S) *:* cet indice reflète *la dispersion de la distribution spatiale des taches.* $S = \frac{0{,}5\sqrt{(n_i / AT)}}{(AC_i / AT)}$ avec n_i le nombre de taches, AT la superficie totale de tout le paysage considéré (la zone d'étude) et AC_i la superficie de la classe d'occupation des terres (type de tache) *i.*

Indice de morcellement (IM) *:* Il est le rapport du nombre de taches n_i sur l'aire de la classe d'occupation des terres AC; $IM = n_i / AC$. Cet indice indique la façon dont les taches sont séparées. Ainsi, si une classe a beaucoup de taches par rapport à la surface de la classe, celle-ci est très morcelée. Une classe morcelée (indice de morcellement élevé) est constituée d'un grand nombre de petites taches (beaucoup de taches par rapport à l'aire de la classe). Pour une même surface, une classe non

morcelée (indice de morcellement faible) comportant peu de taches, mais de grande taille, est une classe plus « unie » (Ducrot, 2005)

Matrice de transition

La matrice de transition a permis de décrire, de manière condensée, les changements d'état des cellules d'occupation des terres pendant les périodes d'études (Schlaepfer, 2002). Soit la matrice des changements intervenus entre les dates t0 et t1, correspondant respectivement aux catégories i et j d'occupation et d'utilisation des terres (tableau XII). Le nombre n de colonnes de la matrice représente le nombre de catégorie d'occupation des terres au temps t1. Le nombre m de lignes de la matrice correspond au nombre de catégories 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 et d'utilisation 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, moyennant l'algorithme *Intersect polygons* de l'extension *Geoprocessing* du logiciel Arcview 3.2. Les superficies provenant de l'intersection de deux catégories d'occupation des terres, ont été reportées 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.

Tableau XII: Exemple d'une matrice de transition

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

Source : Oloukoi *et al.*, 2007

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 savane boisée, alors la cellule a(2,1) représente la superficie de la forêt claire et savane boisée, qui ont été converties 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.
Les éléments qui sont en dehors de la diagonale représentent les changements d'occupation des terres.

2.2.2. Analyse cartographique de la dynamique de l'occupation des terres

Une série de cartes (feuilles) d'occupation et d'utilisation des terres ont été produites pour couvrir la zone d'étude. Les feuilles au 1/100000 sont découpées en adoptant le système de découpage de la Carte Internationale du Monde (CIM) qui part de la feuille du millionième. Selon ce système de découpage, une carte au 1/1000000 s'étend de 6° x 4° et contient 24 feuilles au 1/200000 qui à leur tour contiennent chacune quatre autres feuilles au 1/100000. Le secteur d'étude étant couvert par quatre feuilles au 1/200000 à savoir la feuille de Zagnanado, la feuille de Savè (Savè Nord Est, Savè Nord Ouest, Savè Sud Ouest, Savè Sud Est), la feuille de Sokodé et la feuille d'Abomey, seize feuilles au 1/100000 peuvent être produites. Mais compte tenu du fait que les feuilles de Sokodé et d'Abomey sont à cheval sur le Bénin et le Togo, seulement deux feuilles au 1/100000 sur la feuille de Sokodé (Sokodé Nord Est et Sokodé Sud Est) et une seule sur celle d'Abomey (Abomey Nord Est), sont prises en compte par la présente étude. Sur la feuille de Zagnanado, seulement deux feuilles (Zagnanado Nord Ouest et Zagnanado Nord Est), au 1/100000 se retrouvent dans le secteur d'étude. Au total, le nombre de feuilles au 1/100000 à produire reviendra à neuf (figure 9). L'analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est faite sur chaque feuille au 1/100000. Les cartes sont réalisées avec les logiciels SIG ArcView et ArcGIS. Il importe de préciser que ces feuilles au 1/100000 devraient être produites sur le format A1. Mais pour les besoins

de présentation dans le document de thèse, elles ont été présentées sur le format A4 et l'échelle a été réduite entre 1/500000 et 1/600000.

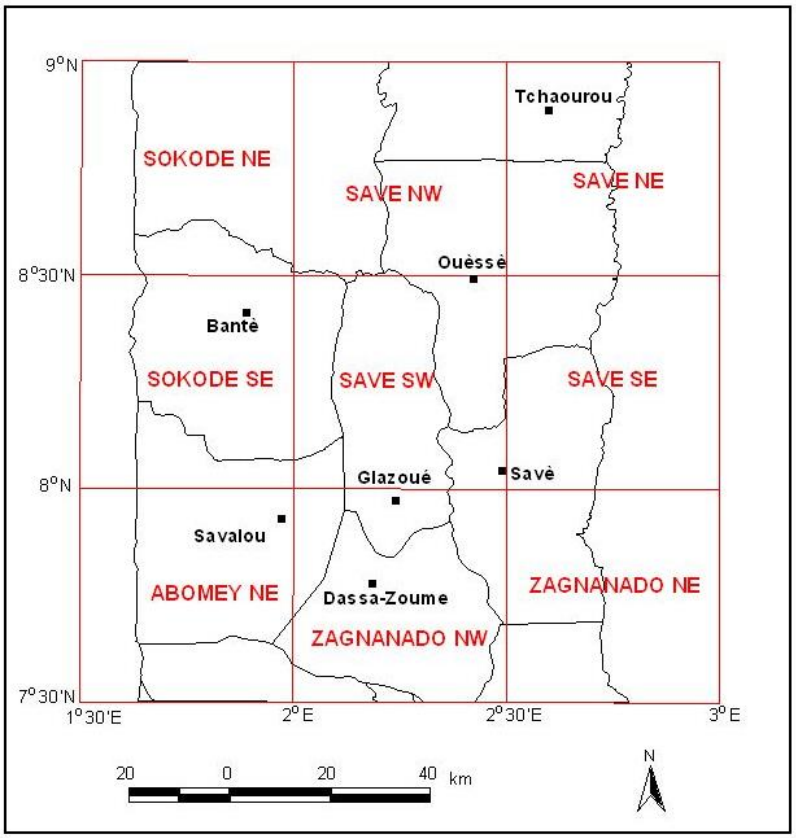


Figure 9: Quadrillage de la zone d'étude par des feuilles au 1/100000

Une vérité terrain a été organisée en vue de confronter les résultats de l'interprétation des images aux réalités de terrain. Au cours de cette vérité terrain, 30 points GPS ont été pris dans chacune des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres. Les corrections sont faites par la suite avant la production finale des cartes d'occupation du sol. Pour ce contrôle terrain, l'image la plus récente a été utilisée comme une image de référence.

2.2.3. Projection et scénario de modélisation spatiale de l'occupation des terres

Dans le but de faire des projections de la dynamique de l'occupation des terres dans le futur, des scénarios basés sur le modèle des automates cellulaires ont été réalisés.

2.2.3.1. Notion des automates cellulaires

Les automates cellulaires sont des outils informatiques de modélisation de type «individu-centré» pour lesquels on considère l'inscription des comportements des individus des entités spatiales élémentaires appelées «cellules» (Corgne, 2004). L'espace est représenté par une grille de cellules structurées sur laquelle des règles d'évolution sont définies selon le principe de l'auto corrélation spatiale et temporelle (tableau XIII). Ainsi, l'état d'une cellule qui peut correspondre par exemple à la savane arborée et arbustive au temps T + 1 dépendra de l'état de cette cellule et de son voisinage au temps T. Les automates cellulaires intègrent de ce fait les interactions sociales au niveau des entités spatiales avec une homogénéité des comportements individuels et que seules les relations de voisinage entre les cellules sont étudiées de manière interactive.

Un automate cellulaire (ou AC) est avant tout une machine formelle, c'est-à-dire un objet mathématique abstrait ayant un fonctionnement, c'est-à-dire qui est capable de produire un processus en général spatio-temporel et discret.

Tableau XIII: Exemple d'espace composé de champs cellulaires

Fcsb	Fd	Fcsb	Fcsb	Cja	Cja	Fcsb	Fcsb
Fcsb	Fd	Fd	Fd	Fcsb	Fcsb	Cja	Cja
Fcsb	Saa	Saa	Cja	Cja	Cja	Cja	Cja
Fg	Fg	Agg	Agg	Cja	Cja	Saa	Saa
Cja	Cja	Cja	Fg	Saa	Sn	Fcsb	Fcsb
Saa	Saa	Sn	Sn	Fcsb	Fcsb	Fcsb	Fcsb

Cja : Champs et Jachères ; Sn : Sols nus et Roches exposées ; Fd : Forêt dense ; Fcsb: Forêt claire et Savane boisée ; Saa: Savane arborée et arbustive ; Fg : Forêts galeries ; Agg: Agglomération.

Le modèle des automates cellulaires utilisé dans cette étude est le modèle *Spacelle.* Le principe du modèle Spacelle est adapté au traitement de l'évolution paysagère en général, aux simulations environnementales et aux études d'impact de risques technologiques (Langlois et *al.*, 2002, Dubos-Paillard, 2000).

2.2.3.2. Description du modèle SPACELLE

Spacelle est un « Système de production d'Automate Cellulaire Environnemental ». L'espace du modèle est bidimensionnel, le domaine d'étude est initialement rectangulaire et découpé en un certain nombre de *cellules* de forme carrée ou hexagonale selon le choix de l'utilisateur. L'utilisateur définit les états et leur nombre. Un *état* est une valeur descriptive, un attribut ou une caractéristique de l'espace de la cellule, par exemple un type d'occupation et d'utilisation des terres. Dans l'étude des automates cellulaires utilisant Spacelle, une cellule possède à chaque instant, au plus un état, sinon elle est *vide* et ne fait pas partie du domaine ou de l'espace d'étude. Les cellules (non vides) sont regroupées en *classes.* Une classe *C*(*s*) est l'ensemble des cellules de même état *s*. Par exemple une cellule de type forêt dense sera regroupée dans la classe d'occupation des terres, forêt dense. Une cellule munie de son état *s* sera aussi appelée *individu* appartenant à la classe *C*(*s*). Ainsi chaque cellule a une durée de vie ou espérance de vie et possède de ce fait un état de vie et de mort. Compris sous cet angle, il est possible de calculer le taux d'extinction d'un ensemble d'individus ou de cellules appartenant à la même classe, entre deux dates. Chaque individu *i* de l'espace d'étude, naît, vit et meurt. Il est caractérisé par sa localisation *pi* et son état *si* qui sont constants durant toute sa vie. Un individu a un *âge ai = t - ti* , où *ti* est l'instant de sa naissance et *t* le temps. Il est aussi doté d'une *force vitale fi* qui est fonction de son âge a*i*. Cette force est maximale à sa naissance et diminue avec l'âge jusqu'à sa mort naturelle. La *force vitale* de l'individu lui permet de conserver son état en «résistant» aux forces et pressions environnementales. Lorsque la *force vitale* (*fi*) d'une cellule est épuisée, (*fi*≤ 0), celle-ci prend *l'état de mort* défini pour sa classe. Néanmoins, chaque individu peut mourir prématurément lorsque sa *force vitale* devient plus faible que les pressions environnementales qui agissent sur lui. Un nouvel individu se développe alors à sa place. En matière de dynamique de l'occupation des terres, lorsqu'une cellule ou un individu de type savane arborée et arbustive disparaît, elle peut par exemple céder sa place à une autre cellule de type champs et jachères.

Pour chaque classe, son état de vie, sa durée de vie et sa mort sont définis à travers une donnée particulière, exprimée par l'utilisateur, appelée *règle de vie* et composée de trois termes selon la forme syntaxique suivante: *s > s' = D* où *D* peut prendre l'une des trois formes syntaxiques suivantes :
DI pour une durée de vie infinie, DF(*n*) pour une durée de vie fixe de *n* unités de temps et DA (m, s) pour une durée aléatoire selon une loi de Laplace-Gauss, d'espérance de vie m qui est en réalité une moyenne des durées de vie des cellules de même état, et d'écart type s.

Le modèle Spacelle a été conçu et utilisé pour la première fois en France pour modéliser la dynamique urbaine de la ville de Rouen (Dubos-Paillard et *al.*, 2004 ; Langlois, 2001). Il ressort des observations que ce modèle est indiqué pour toute étude de dynamique ou de changements environnementaux.

Dans le cadre de cette thèse, Spacelle a été tropicalisé, car appliqué dans une étude de la dynamique du paysage en milieu tropical. Les apports scientifiques réels pour parvenir à cette tropicalisation ont été :

- l'intégration dans le modèle des types d'occupation et d'utilisation des terres spécifiques au milieu tropical ;
- la considération des facteurs socio-économiques du milieu tropical ayant contribué à l'évolution de ces unités d'occupation des terres jusqu'en 2006 ;
- le calcul de la durée de vie des cellules suivant l'approche de calcul de l'espérance de vie des espèces en écologie animale ou végétale, approche qui est largement utilisée par les chercheurs en milieu tropical.

2.2.3.3. Scénarios de projection de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin

Les scénarios développés dans le cadre de cette étude reposent sur des hypothèses de base qui sont inspirées des études de perspectives à long terme au Bénin. Il s'agit du scénario socio-économique et du scénario écologique.

Scénario socio-économique ou *'tendance vers la catastrophe'*

Ce scénario est basé sur les considérations socio-économiques dans lesquelles s'est opérée la dynamique de l'occupation des terres jusqu'en 2006. Ainsi les hypothèses suivantes ont été considérées :

- la population est demeurée pauvre ;
- le caractère extensif de la production agricole fait appel à l'utilisation de méthodes nocives à l'environnement (culture sur brûlis, déboisements incontrôlés, réduction de la durée des jachères, monoculture prédominante sur l'assolement en général, etc.) et dégrade sans cesse les écosystèmes en général et les sols en particulier (MECCAGPDPE-PNUD, 2000) ;
- la population est dépendante des ressources naturelles qui constituent la principale source d'énergie ;
- le taux de la dynamique de l'occupation des terres est demeuré le même que celui de la période allant de 1986 à 2006.

Les considérations de base de ce scénario socio-économique contribuent à la réduction de la durée de vie des formations végétales car ces dernières subiront des pressions anthropiques occasionnant leur dégradation.

Scénario écologique ou *stabilité environnementale'*

Le scénario écologique, socle de la prédiction du devenir des formations végétales éclaire sur comment les forêts pourront assurer leurs fonctions de conservation et de protection des écosystèmes et du patrimoine biogénétique. Il y a donc lieu de s'interroger sur le devenir des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres, notamment les formations végétales, en vue de proposer des mesures qui pérennisent leur rôle de maintenance et de régulation biologiques. Les hypothèses suivantes ont été considérées:

- la situation économique des populations s'est améliorée et le taux de croissance économique au niveau national est de 12,4% tel que prévu dans le scénario Alafia 2025 (FOSA-Bénin, 2001);
- l'agriculture est mécanisée et les techniques d'intensification agricole sont adoptées par les producteurs ;
- le taux de disparition de la forêt est réduit de 100 000 ha /an à 50 000 ha/an et aussi le taux de la dynamique de l'occupation des terres est réduit de moitié par rapport au taux obtenu entre 1986 et 2006 ;

- la part du bois dans la satisfaction des besoins en énergie domestique des populations est réduite de 50 % au profit d'autres sources d'énergie telles que le gaz domestique.

Les considérations de base du scénario écologique vont contribuer à l'augmentation de la durée de vie des formations végétales car les pressions anthropiques sur ces dernières seront réduites.

Mise en application des scénarios

Il s'agit des scénarios prédictifs basés sur les tendances et la probabilité de changement des paramètres de l'occupation et de l'utilisation des terres selon une période de temps donnée (Lambin et a*l*., 1999).

Ces scénarios se réfèrent aussi au cadre général du projet IMPETUS dont l'objectif principal est d'étudier les impacts des changements dans l'occupation et l'utilisation des terres sur le système hydrologique du bassin de l'Ouémé Supérieur. Dans une de ses composantes, ce projet a prévu l'élaboration des scénarios sur la dynamique de l'occupation des terres. Ces scénarios devraient servir de source fondamentale et d'outils d'orientation aux décideurs dans la gestion et l'exploitation des ressources du milieu (http://www.impetus.uni-koeln.de; Orekan, 2007a).

Dans la présente thèse, le cadre conceptuel des scénarios développés, est exécuté dans l'environnement du modèle Spacelle (figure 10).

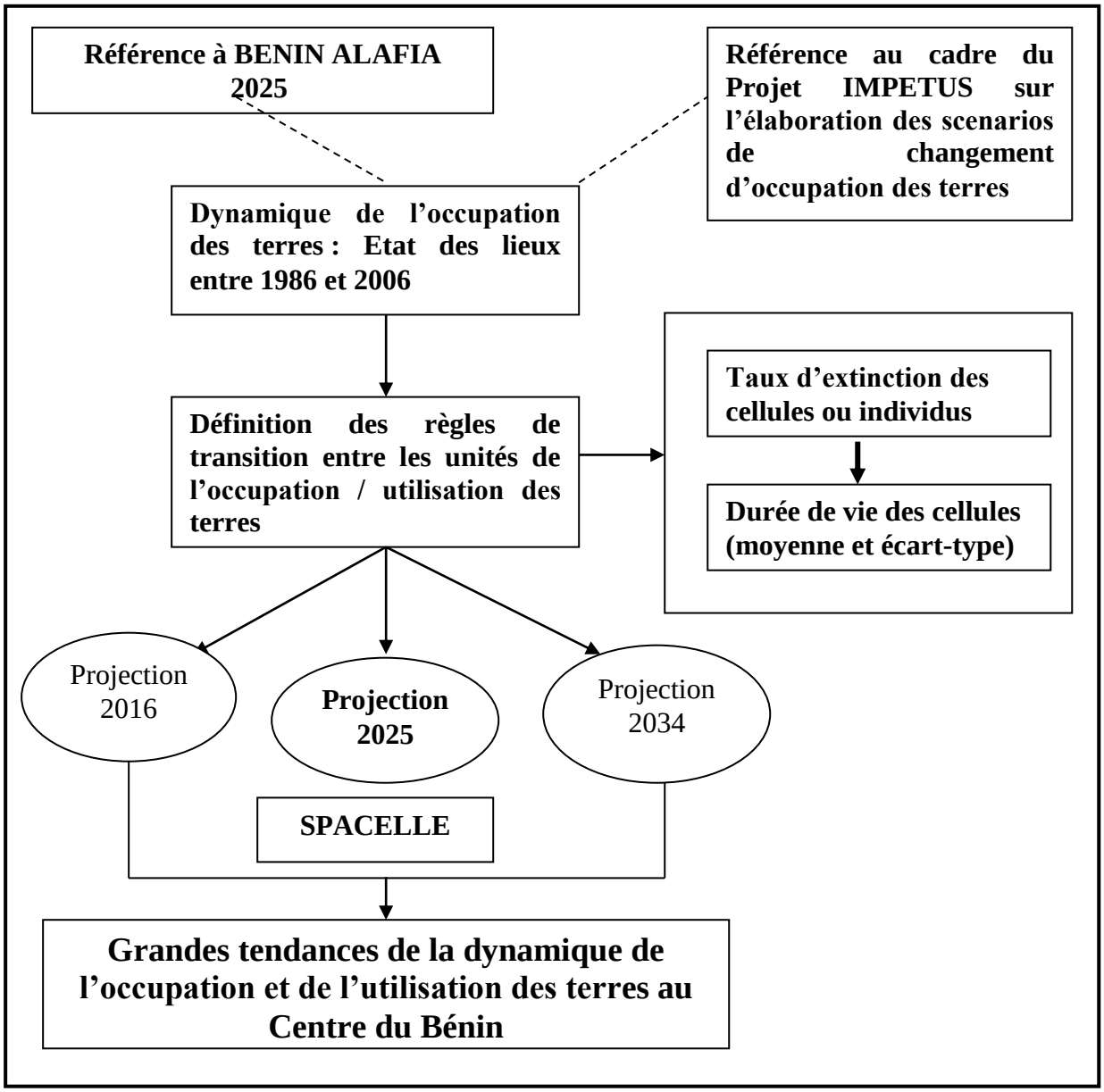


Figure 10: Cadre conceptuel des Scénarios socio-économique et écologique de projection de la dynamique de l'occupation des terres

Les durées de vie sont des transitions d'état liées au temps. Elles sont associées en général à des transitions liées à l'espace (l'environnement des cellules). En ce qui concerne les durées de vies gaussiennes, associées à des transitions de la forme *A>B = DA(moy ; éct),* leur fonctionnement est le suivant: pour chaque cellule ayant l'état A, le système tire au hasard une durée de vie (maximale) selon la loi de Gauss de moyenne ‘’*moy”* et d'écart-type ‘’*ect”*. Pour fixer *moy* et *ect*, on peut se référer à des statistiques existantes, mais elles sont très rarement disponibles. De plus, ces durées de vie ne tiennent pas compte de l'environnement, mais seulement de la

force de vie interne des cellules concernées. En effet, une cellule peut changer d'état bien avant d'avoir atteint sa durée de vie maximale, si elle est soumise à des influences environnementales. Ainsi, toutes les règles présentes ont été prises en compte en faisant des tests de simulation et en comparant les probabilités de transition simulées avec les probabilités observées. La durée de vie (D) des cellules a été calculée suivant la formule de calcul de l'espérance de vie des espèces en écologie, en tenant compte du taux d'extinction *t* de chaque classe d'occupation et d'utilisation des terres impliquée dans le scénario. Ainsi, la durée de vie est l'inverse du taux d'extinction de chaque classe composée de cellules, *D = 1/t.*

Soit N_1 le nombre de cellules d'une classe d'occupation et d'utilisation des terres en une année T_o, N_2 le nombre de cellules à une autre année T_1. Le taux d'extinction *t* est calculé par la formule : $t = \left(\frac{N_1 - N_2}{T_1 - T_0} \right) / N_1$. Ce taux d'extinction est exprimé en cellule/cellule/an. Ainsi, la durée de vie D devient : $D = t^{-1}$ et elle a été calculée pour chaque classe d'occupation et d'utilisation des terres entre 1986 et 2000, entre 2000 et 2006 et entre 1986 et 2006. Par la suite, la moyenne de la durée de vie de chaque classe a été déterminée de même que l' écart-type.

Sur la base des règles de transitions majeures entre les unités d'occupation et d'utilisation des terres (figure 11), un scénario probabiliste est mis en place en tenant compte de la vie ou de la mort de chaque cellule.

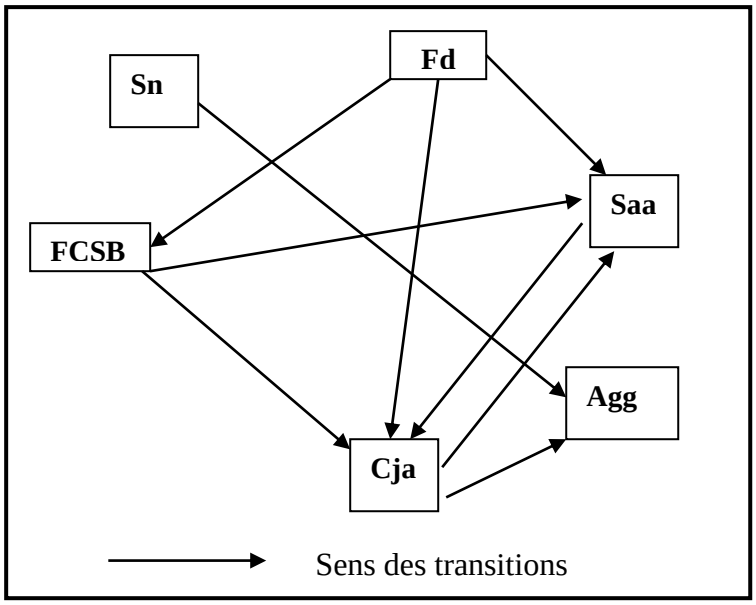


Figure 11: Synthèse des transitions majeures possibles pour la transformation des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres

Le scénario mis en place se présente comme suit :

Fd>FCSB=DA(moy1;éct1)
FCSB>Saa=DA(moy3;éct3)
Saa>Cja=DA(moy4;éct4)
Cja>Agg=DA(moy5;éct5)

Ce scénario écrit est la définition des durées de vie de chaque cellule de l'occupation et de l'utilisation des terres et se lit de la manière suivante:

- la forêt dense (Fd) présente une espérance de vie *moy1* (Durée de vie aléatoire : DA) avec un écart-type *ect1* avant de se transformer en forêt claire et savane boisée (FCSB).
- la forêt claire et savane boisée (Fd) présente une espérance de vie *moy3* avec un écart-type *ect3* avant de se transformer en savane arborée et arbustive (Saa)
- la savane arborée et arbustive (Saa) présente une espérance de vie *moy4* avec un écart-type *ect4* avant de se transformer en champs et jachères (Cja)
- les champs et jachères (Cja) présentent une durée de vie aléatoire *moy5* avec un écart-type *ect5* avant de se transformer en agglomération (Agg)

Sur la base de ces règles de vie et de mort des cellules et des forces d'interaction existantes entre elles, le comportement de chaque cellule d'unité d'occupation des

terres a été prédit dans quatre unités paysagiques (UP) (figure 12) aux horizons 2016, 2025 et 2034 utilisant les logiciels *Spacelle* et ArcGIS.

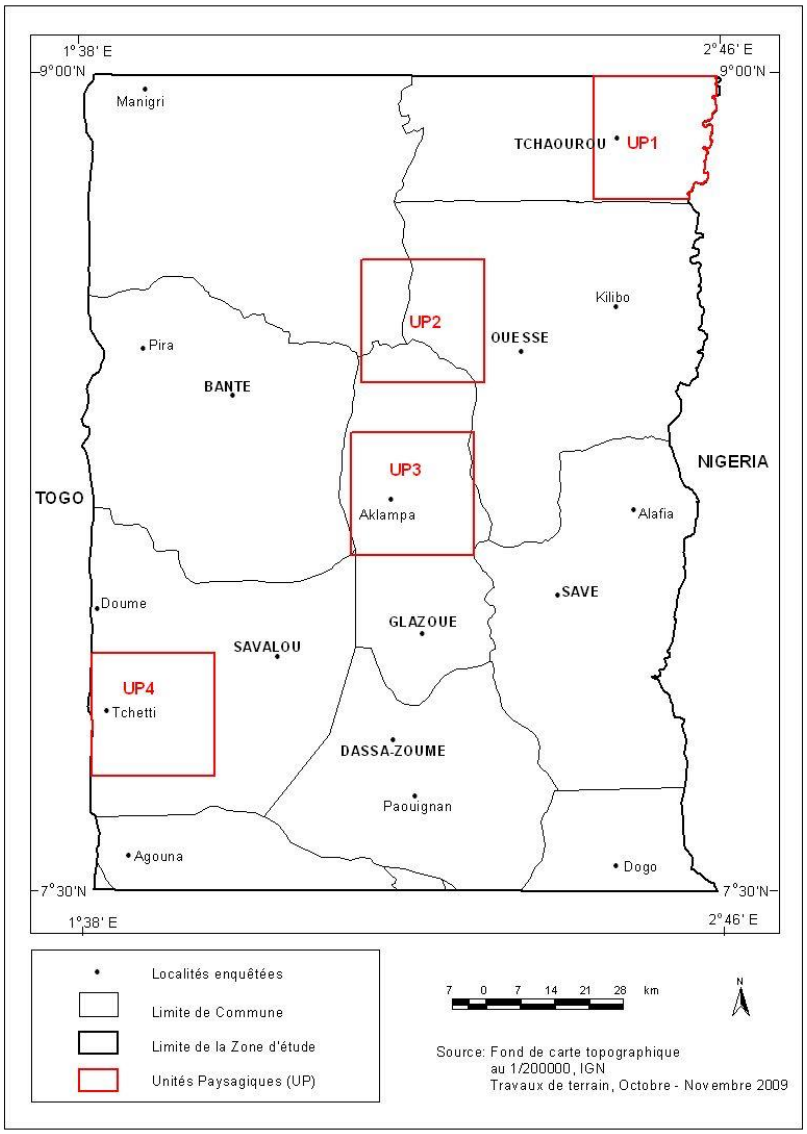


Figure 12: Localisation des unités paysagiques (UP)

Les unités paysagiques (UP) ont été choisies suivant le transect SW – NE et représentent chacune des types dominants de formations végétales. L'UP1 est dominée par la forêt dense et par la forêt claire et savane boisée en 1986 et en 2000, l'UP2 par la forêt galerie et la forêt dense, l'UP3 par la forêt dense et l'UP4 par la savane arborée et arbustive.

2.2.4. Traitement et analyse des points de feux

Le points de feux (Hotspots) issus du capteur de MODIS, ont été re-projetés dans le système de projection UTM avec pour datum et ellipsoïde le WGS 1984 afin de pouvoir superposer ces points sur les cartes d'occupation des terres réalisées. L'analyse spatiale de ces points de feu a tourné autour des éléments suivants : la relation avec les paramètres climatiques, la variabilité temporelle des feux, le krigeage ou distribution spatiale des feux et l'évaluation des feux par formation végétale.

2.2.4.1. Analyse de la relation des feux de végétation avec les paramètres climatiques

L'évolution des paramètres climatiques a été présentée suivant leur moyenne mensuelle entre 1976 et 2005. Ces paramètres dont la pluviométrie, la température, l'humidité relative, l'insolation, la vitesse du vent, ont été spatialisés afin d'apprécier leur répartition spatiale sur la zone d'étude. Cette spatialisation est faite, moyennant une technique d'interpolation spatiale, l'algorithme *Natural Neighbors* (Voisin Naturel) et tenant compte aussi des données des stations de Savè, Parakou, de Bohicon (Bénin), de Kara, Sokodé, Atakpamé (Togo) et des stations de Ibadan et Ilorin (Nigeria).

L'algorithme *Voisin naturel* recherche le sous-ensemble d'échantillons en entrée le plus proche d'un point désigné comme ici les points représentant les stations climatologiques retenues. Il applique à ce point désigné une pondération sur la base de surfaces proportionnelles afin d'interpoler une valeur qui est représentée ici par un paramètre climatique. Les propriétés de base du Voisin Naturel sont son caractère local (utilisation d'un seul sous-ensemble d'échantillons entourant un point désigné) et la garantie que les valeurs interpolées se situent dans la plage des échantillons utilisés.

Par ailleurs, la corrélation de Pearson a été utilisée pour montrer l'impact de l'évolution et de la variation de ces paramètres climatiques sur le pouvoir radiatif des feux exprimant l'intensité du feu. Cette corrélation a inclu aussi la topographie du milieu notamment l'altitude et la pente de terrain. De même, une carte de risque de feu selon l'indice de sécheresse de végétation a été réalisée et a permis de montrer les zones de risque élevé, très élevé et faible. L'indice de sécheresse de la

végétation est issue de l'ajustement de la pente de l'équation de la régression linéaire entre la température maximale et l'indice de Végétation Normalisée (NDVI) (Ezzine et *al.*, 2005). En effet, Le nuage de points défini par la température de surface (TS) et le NDVI est ajusté grâce à une régression linéaire dont la pente est négative (plus le NDVI est élevé moins forte sera la TS et vice versa). Quand la végétation est dans des conditions d'humidité favorable, le NDVI augmente et la TS diminue. Inversement, quand la végétation est sèche, les valeurs du NDVI diminuent et celles de TS augmentent. Par conséquent, plus la pente est forte, plus le risque augmente et vice-versa.

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index)* est déterminé par le rapport normalisé de la différence entre la réflectance proche-infrarouge et la réflectance acquise dans la bande spectrale rouge du capteur. Cet indice de végétation est le plus communément utilisé pour estimer la quantité de végétation présente sur la surface et pour suivre son évolution temporelle. Il est basé sur une combinaison des réflectances mesurées dans le rouge (RED) et le proche infra-rouge (PIR). De plus, le NDVI présente l'avantage d'être relativement robuste aux variations d'angles d'observation et aux effets atmosphériques. Il varie entre -1 et +1. Sur la terre, le NDVI est généralement compris entre 0,15 (sol nu) et 0,9 (maïs en plein développement) ; sur l'eau, il est en général négatif (Tucker,1979). Sa formule de calcul se présente comme suit:

$NDVI = PIR - R / PIR + R$ avec PIR la bande correspondant au Proche Infra Rouge (bande TM4 ou ETM4 de Landsat) et R celle du Rouge (bande TM3 ou ETM3 de Landsat).

2.2.4.2. Analyse de la variabilité temporelle des feux de végétation au Centre Bénin

L'évolution temporelle des feux de végétation a été analysée de novembre 2000 à décembre 2010 par la courbe de tendance logarithmique générée avec le logiciel Excel. Le test de Dicker Fuller Augmenté (DFA) (Dickey et Fuller, 1981 ; Dickey et Fuller, 1979) a été utilisé pour apprécier la stabilité dans le temps et aussi tester l'existence de tendance et la stationnarité des fréquences des points de feu (FPF).

2.2.4.3. Krigeage ou distribution spatiale des points de feux

L'étude de la distribution des feux a permis de localiser et de présenter les zones d'occurrence de feux. Ces zones nécessiteraient un suivi (une surveillance) à long, moyen ou à court termes. Cette étude est basée sur la technique du krigeage. Le Krigeage permet une représentation spatiale des points de feux. Il montre les zones où l'on a le plus de feux et les zones moins denses en feux. Les densités des points de feux sont distribuées spatialement et calculées selon la formule ci après :

Densité = n/S, avec n le nombre de points de feux dans une zone donnée et S la superficie de cette zone.

2.2.4.4. Evaluation des feux par formation végétale

En vue d'évaluer les différentes unités d'occupation et d'utilisation des terres les plus affectées par les feux de végétation, une analyse spatiale basée sur le principe de la superposition, et de l'extraction par localisation (*Assign by location*) combinées aux techniques de *clipping*, a été faite sur ArcGIS. Elle a permis de dénombrer le nombre de points de feux et leur importance par unité d'occupation et d'utilisation des terres. De même, dans le but d'étudier la relation entre le feu et la végétation, une analyse de corrélation entre le NDVI et le Pouvoir Radiatif des Feux, moyennant le coefficient de Pearson a été faite. Selon Held (2010), le coefficient de corrélation de Pearson permet d'étudier l'existence de relation entre deux variables.

2.2.5. Traitement des données socio-économiques et biophysiques

Les logiciels SPSS, STATA et Microsoft Excel ont été utilisés pour le stockage, le codage et l'analyse des données issues des enquêtes socio-économiques, de la littérature et d'autres archives afférant au sujet traité. Les analyses statistiques faites dans le cadre de cette thèse sont des analyses descriptives et multivariées ou inférentielles.

2.2.5.1. Analyse descriptive

Cette analyse est souvent utilisée pour montrer les tendances de l'occurrence d'un événement, la disparité de la distribution des paramètres du phénomène de recherche considéré par l'étude. L'analyse descriptive dans la présente thèse s'est servie des tables de fréquences, des pourcentages au niveau des variables, de

même que des graphiques, cartes et photos. Des données qualitatives sont présentées sous forme de discussion en utilisant des thèmes et des déductions logiques pour fournir des explications.

2.2.5.2. Analyse inférentielle : Le modèle de régression des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin

L'analyse inférentielle est utilisée pour tester la significativité de la relation qui existe entre une variable dépendante et des variables indépendantes dans le but d'accepter ou de rejeter l'hypothèse nulle *Ho* énoncée pour l'étude. Dans cette étude, l'analyse inférentielle faite est le modèle de régression multiple pour déterminer les facteurs significatifs de la dynamique de l'occupation des terres dans le Centre du Bénin. Le modèle de régression utilisé a pour équation: $Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + ……..+ B_nX_n$ Avec : Y la variable dépendante , B_0 : l'effet moyen des variables omises dans le modèle, B_n : l'effet moyen de la variable, X_n , X_1, X_2 …., X_n qui sont les variables indépendantes qui expliquent la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. Il s'agit des variables biophysiques et des variables socio-économiques.

Description des variables utilisées dans le modèle

Une série de variables provenant des facteurs socio-économiques et biophysiques de la dynamique de l'occupation des terres, a été utilisée.

Le tableau XIV présente les caractéristiques des variables utilisées: leur description, leur code et leur nature. Toutes ces variables ont été codifiées et classées en trois catégories selon qu'elles soient binaires, catégoriques ou continues.

Tableau XIV: Description des variables utilisées

Variables Utilisées	Description	Code	Type de données	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Variables dépendantes	Taux de dynamique d'occupation des terres	TDYNA	Continue	-4,33	2,21	-8,77	-1,13
Variables indépendantes	Accessibilité du village	ACCEV	Binaire	0,46	0,50	0,00	1,00
	Disponibilité de la terre dans le village	dterre	Binaire	0,98	0,15	0,00	1,00
	Accès au crédit	ACRED	Binaire	0,12	0,33	0,00	1,00
	Force de Travail masculine entre 15 et 60 ans	HFTRAVQ	Continue	1,18	1,34	0,00	7,00
	Force de Travail féminine entre 15 et 60 ans	FFTRAQ	Continue	0,91	1,03	0,00	5,00

	Place de l'agriculture dans les sources de revenu	IMPAG	Binaire	0,63	0,48	0,00	1,00
	Superficie annuelle occupée par le coton (ha) / commune	S_COTON	Continue	4204,25	204,42	897,17	7109,27
	Superficie annuelle occupée par l'igname (ha) / commune	S_IGNAME	Continue	6017,73	1681,43	2863,41	13517
	Superficie annuelle moyenne défrichée	SDE_MOY	Continue	0,96	1,00	0,00	5,33
	Abattage des arbres	Abat	Binaire	0,92	0,28	0,00	1,00
	Densité de population	DenPop2	Continue	49	31,20	24	83
	Pente de terrain	Pente	Continue	2,53	1,23	0,75	12,40
	Élévation ou altitude de terrain	ALT	Continue	227,04	75,79	109,00	440,00
	Variation pluviométrique selon les perceptions paysannes	VARI_PLUIE	Binaire	0,97	0,17	0,00	1,00
	Fertilité du sol	FERSOL	Catégorique	2,97	0,51	1,00	5,00
	Distance par rapport aux marchés d'écoulement des produits agricoles	DIST_MAR	Continue	31,27	86,38	0,02	700,00
	Nombre de feux détectés	Nbre_Feux	Continue	4411	378,30	2165	5646

Taux de la dynamique de l'occupation des terres (TDYNA)

Le Taux de la dynamique de l'occupation des terres est une variable déduite des études de la dynamique de l'occupation des terres faites dans le chapitre quatre. C'est une variable qui exprime le rythme moyen de changements dans l'occupation des terres entre 1986 et 2006 dans chaque secteur dont l'état de l'évolution de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres a été fait. Selon le tableau XIV ci-dessus, en moyenne, ce rythme est de 4,33 en valeur absolue pour l'ensemble des secteurs considérés dans la zone d'étude. A une localité parcourue lors des travaux de terrain, le taux de changement du secteur dans lequel elle se trouve lui est attribué, ce qui rend cette variable continue. Cette variable est considérée dans le cadre de ce travail comme dépendante car elle résulte d'un certain nombre de facteurs.

Place de l'agriculture dans les sources de revenu (IMPAG)

La place de l'agriculture dans les sources de revenu est un bon indicateur pouvant justifier l'extension des terres agricoles. Or l'extension des terres agricoles est une variable clé de l'évolution des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres. Cette variable est binaire (0 – 1 ; 1 correspond au 1er rang alors que 0 est retenu

pour d'autres rangs dans le classement). Selon le tableau XIV décrivant les variables utilisées, l'agriculture occupe la première place dans les sources de revenu des enquêtés au détriment des autres unités de l'occupation des terres. En effet, la moyenne de cette variable est de 0,63 donc proche de 1. Les enquêtés considèrent cette variable comme occupant le premier rang dans leurs sources de revenus. A cet effet, le rang qu'occupe l'agriculture est introduit dans le modèle de régression comme variable indépendante expliquant aussi les changements dans l'occupation des terres.

Accessibilité du village (ACCEV), Disponibilité des terres (dterre), Accès au crédit (ACCEV)

En vue d'apprécier le niveau d'accessibilité des villages, les enquêtés ont indiqué l'état actuel des routes et l'accessibilité de leurs localités. Cela a permis de savoir si les routes sont en bon état et accessibles en toute saison, en bon état mais pas accessibles en toute saison, en mauvais état mais accessibles en toute saison, en mauvais état et non accessibles toute l'année. Ainsi, pour affiner les analyses, l'accessibilité des localités est évaluée par rapport à l'état des voies, à leur praticabilité en toute saison. Par ailleurs, cette variable a été transformée en une variable binaire. Ainsi, pour la première option (routes en bon état et accessibles en toute saison), la valeur 1 est attribuée, tandis que les autres options sont entrées dans le modèle avec la valeur 0. L'accessibilité du village est un bon indicateur pour apprécier la dynamique que l'on pourrait observer dans l'occupation des terres.

Pour la disponibilité de la terre (dterre), les acteurs ont indiqué la disponibilite des terres dans leurs localités : la terre très abondante, abondante, rare et très rare. Cette variable a été ré-codifiée en deux modalités au lieu de quatre. Elle est ainsi devenue une variable binaire et les options ''très abondante'' et ''abondante'' ont été groupées sous la valeur unitaire (1) alors que les autres options ''rare'' et ''très rare'' sont considérées comme 0 dans le modèle.

En vue de s'assurer de l'accès des enquêtés au crédit, les populations ont été amenées à répondre par oui (1) ou non (0) si elles obtiennent des crédits dans le cadre de leurs activités agricoles ; ce qui explique le caractère binaire de cette variable.

Force de Travail masculine (HFTRAVQ) et Force de Travail féminine (FFTRAQ)

Ces variables concernent les membres actifs de chaque ménage enquêté et dont l'âge est compris entre 15 et 60 ans. Ils sont supposés prendre une part active dans la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, sous l'impulsion de l'agriculture surtout avec la force déployée chaque année dans l'emblavement de nouvelles terres. Ces variables indépendantes sont des variables continues.

Superficie annuelle moyenne défrichée (SDE_MOY) et Abattage des arbres (ABAT)

La superficie des nouvelles terres colonisées pour de nouvelles cultures a été obtenue auprès des producteurs. Cette variable indépendante continue est une évidence physique de l'extension annuelle des terres agricoles.

Concernant l'abattage des arbres, les producteurs, toutes tendances confondues, ont répondu par oui ou non, s'ils ont l'habitude de couper des arbres, soit dans leur champs, ou pour toute autre exploitation forestière. Cette variable est binaire.

Superficie annuelle moyenne défrichée pour la culture du coton (S_COTON) et pour la culture d'igname (S_IGNAME)

La culture du coton a été reconnue comme une culture consommatrice d'espace en ce sens qu'elle avait fédéré les intérêts au niveau du monde paysan à cause de la place qu'elle occupe dans l'exportation au Bénin et à cause des devises qu'elle génère à chaque paysan et à l'Etat. Dans le cadre de cette thèse, sa contribution dans la dynamique de l'occupation des terres, en tant que culture de rente, a été analysée. Ainsi, les moyennes des superficies par Commune entre 1998 et 2010 ont été intégrées dans le modèle sous forme de variables continues (S_COTON). En moyenne, la superficie annuelle emblavée pour la culture du coton est de 4204,25 ha entre 1998 et 2010 (MAEP, 2010).

Au niveau des systèmes de culture pratiqués au Centre du Bénin, l'igname est souvent en tête de friche, surtout la première année (Yabi, 2001). C'est une culture exigeante en terme d'espace car elle nécessite de nouvelles terres et la destruction de grands arbres. Dans les Communes de la zone d'étude, elle occupe une superficie moyenne de 6017,73 ha par an selon les statistiques agricoles entre 1998 et 2010 (MAEP, 2010). Les superficies moyennes annuelles occupées par la culture

de l'igname ont été intégrées dans le modèle sous forme de variables continues (S_IGNAME).

Densité de population (DenPop2)

La densité de la population est un indicateur de la pression humaine sur l'espace. Exprimée en Nombre d'habitants au Km^2, cette variable continue est l'un des premiers paramètres reconnus comme facteurs de la dynamique de l'occupation et l'utilisation des terres. Dans cette étude, les projections sur 2010 ont été considérées à partir des densités de populations issues du Recensement Général de la Population et de l'Habitation réalisé par l'INSAE en 1992 et 2002. Les densités varient entre 24 et 83 habitants / km^2 en 2010 au niveau des Communes de la zone d'étude.

Altitude de terrain (ALT) et Pente de terrain (PENTE)

L'altitude a été extraite à partir du Modèle Numérique d'Altitude (MNA) fourni par ASTER GDEM *(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM))*. D'une résolution de 30 m, ce modèle numérique affiche les valeurs continues de l'altitude au dessus du niveau de la mer et couvre la surface terrestre de la latitude 83°S à 83°N. Il s'agit d'un ensemble de grille de type raster de 1° x 1° chacun. Pour pouvoir couvrir la zone d'étude, les grilles N07E001, N08E001, N09E001, N07E002, N08E002, N09E002, N07E003, N08E003, N09E003 ont été utilisées. Ces grilles de 1° x 1° ont été mises en mosaïque sur laquelle la zone d'étude a été superposée puis la partie couverte exclusivement par la zone, extraite (figure 13).

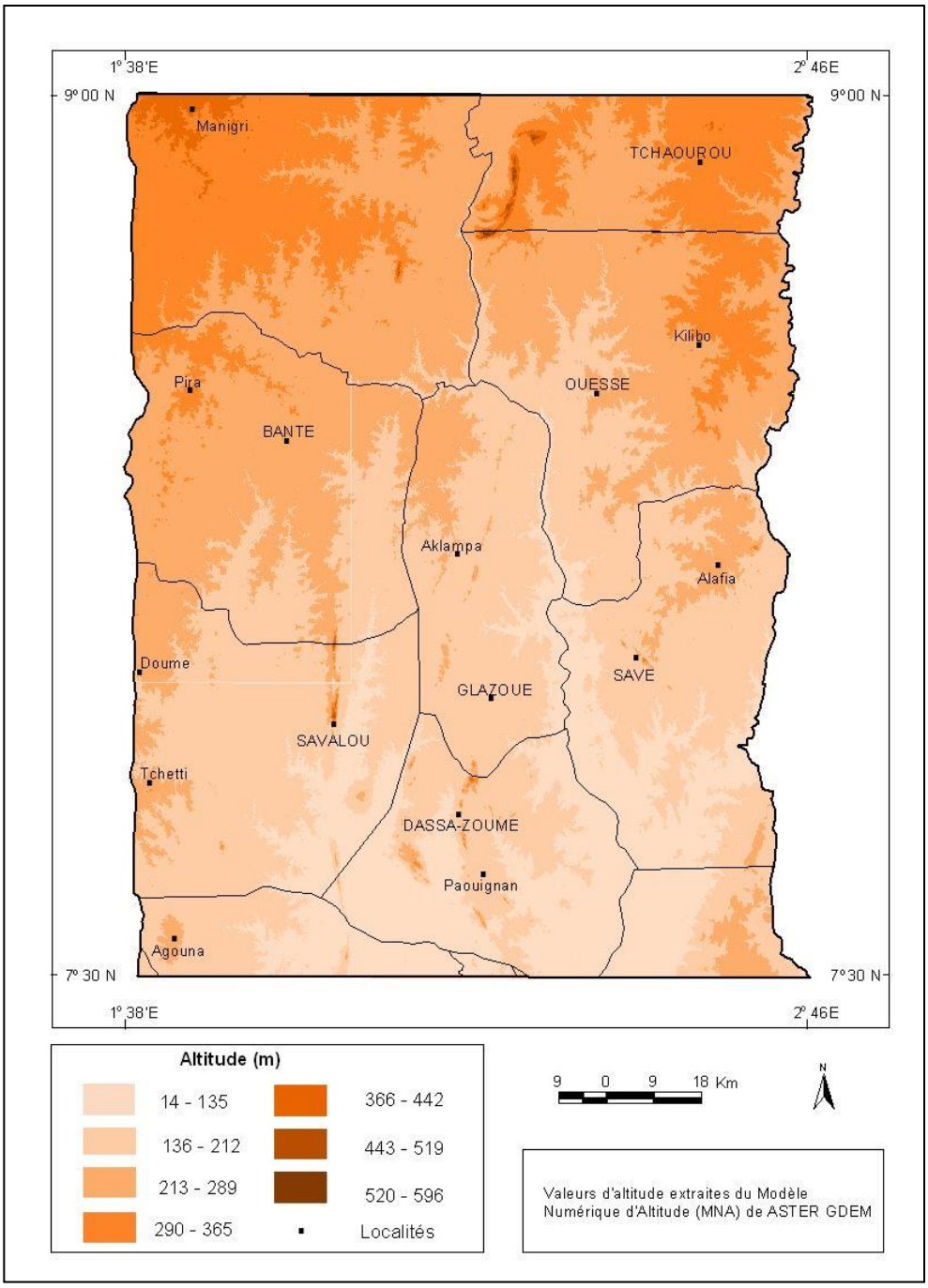


Figure 13: Altitude (m) de la zone d'étude

Les valeurs de la pente de la zone d'étude ont été générées à partir du même Modèle Numérique d'Altitude de ASTER GDEM (figure 14). Les variables Altitude et Pente sont des variables continues.

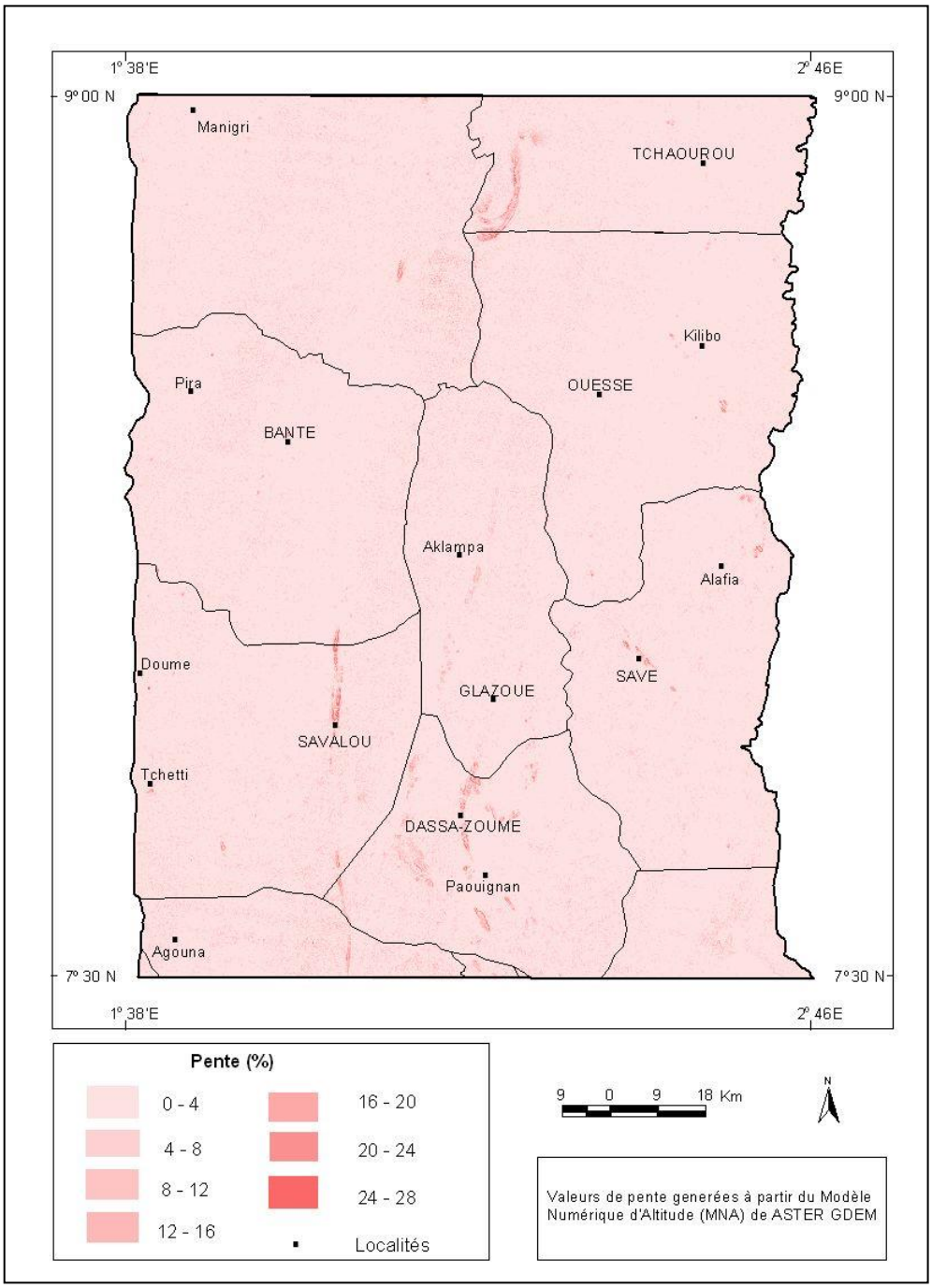


Figure 14: Pente de terrain (%) dans la zone d'étude

Variation pluviométrique (VARI_PLUIE)

Cette variable exprime les perceptions paysannes sur les variabilités pluviométriques observées ces dernières années dans la zone de transition soudano-guinéenne du Bénin. La variation pluviométrique selon les perceptions paysannes est entrée dans le modèle comme une variable binaire (1– 0).

Fertilité des sols (FERSOL)

La fertilité des sols est une variable qui oriente aussi les acteurs dans leur quête de nouvelle terres pour l'agriculture. Ainsi, en vue de voir la part de cette variable dans la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, les sols du secteur d'étude sont classifiés selon leur aptitude culturale (Berding et *al.*, 1982 ; Agossou, 1993, Azontonde, 1999). Chaque type de sols a été pondéré selon son niveau de fertilité. Ainsi tous les types de sols ont été regroupés par famille (tableau XV).

La fertilité des sols a été utilisée comme une variable catégorique.

Tableau XV: Classification des sols du secteur d'étude selon leur niveau de fertilité

Famille de sols	Niveau de fertilité	Poids
Sols peu évolués	Très faible	1
Sols ferralitiques	Faible	2
Sols ferrugineux	Moyennement élevé	3
Vertisols	Élevé	4
Sols hydromorphes	Très Élevé	5

Distance par rapport aux marchés (DIST_MAR)

La distance par rapport aux marchés d'écoulement des produits agricoles ou d'autres produits issus de l'exploitation des ressources naturelles du milieu, est un indicateur de la possibilité d'une ouverture des acteurs aux marchés extérieur ou intérieur. La distance moyenne parcourue est de 31,27 km et certains acteurs vont au delà de 300 km pour vendre leurs produits. Cette variable obtenue directement auprès des acteurs lors de l'enquête socio-économique est l'une des mesures incitatives qui amènent les agriculteurs, exploitants forestiers et autres à avoir plus de facilité dans l'intensification de la pression sur les ressources de l'occupation des terres. Elle est entrée dans le modèle comme une variable continue.

Nombre de points de feux détectés

Cette variable est la somme cumulée du nombre total de points de feux détectés par le capteur de MODIS entre novembre 2000 et décembre 2010. Il s'agit d'une variable déterminée pour chaque Commune de la zone d'étude, et entrée dans le modèle comme une variable continue. Elle a permis d'apprécier la relation entre la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, et les feux de végétation au Centre du Bénin. Un total de 44110 points de feux a été détecté au cours de la

période indiquée, soit une moyenne annuelle de 4411. La Commune de Bassila a enregistré le plus grand nombre avec 11.483 feux détectés.

La régression multiple génère des coefficients pour chaque variable indépendante basée sur des données échantillonnées. Ces coefficients sont interprétés comme des poids indiquant la contribution de chacune de ces variables dans la probabilité d'amélioration ou non de la variable dépendante (Serneels et *al.*, 2001 ; Chomitz et *al.*, 1996 ; Mertens et a*l.*, 2000). Toutes les variables sont ramenées dans un environnement SIG, afin de faire de ce modèle à la fois un modèle statistique et spatial. Ainsi, à chaque variable, est attachée une localisation *X* et *Y*.

Au total, il importe de retenir que la méthodologie développée a tenu compte des hypothèses et objectifs de cette étude conceptualisée suivant le diagramme conceptuel de la figure 15.

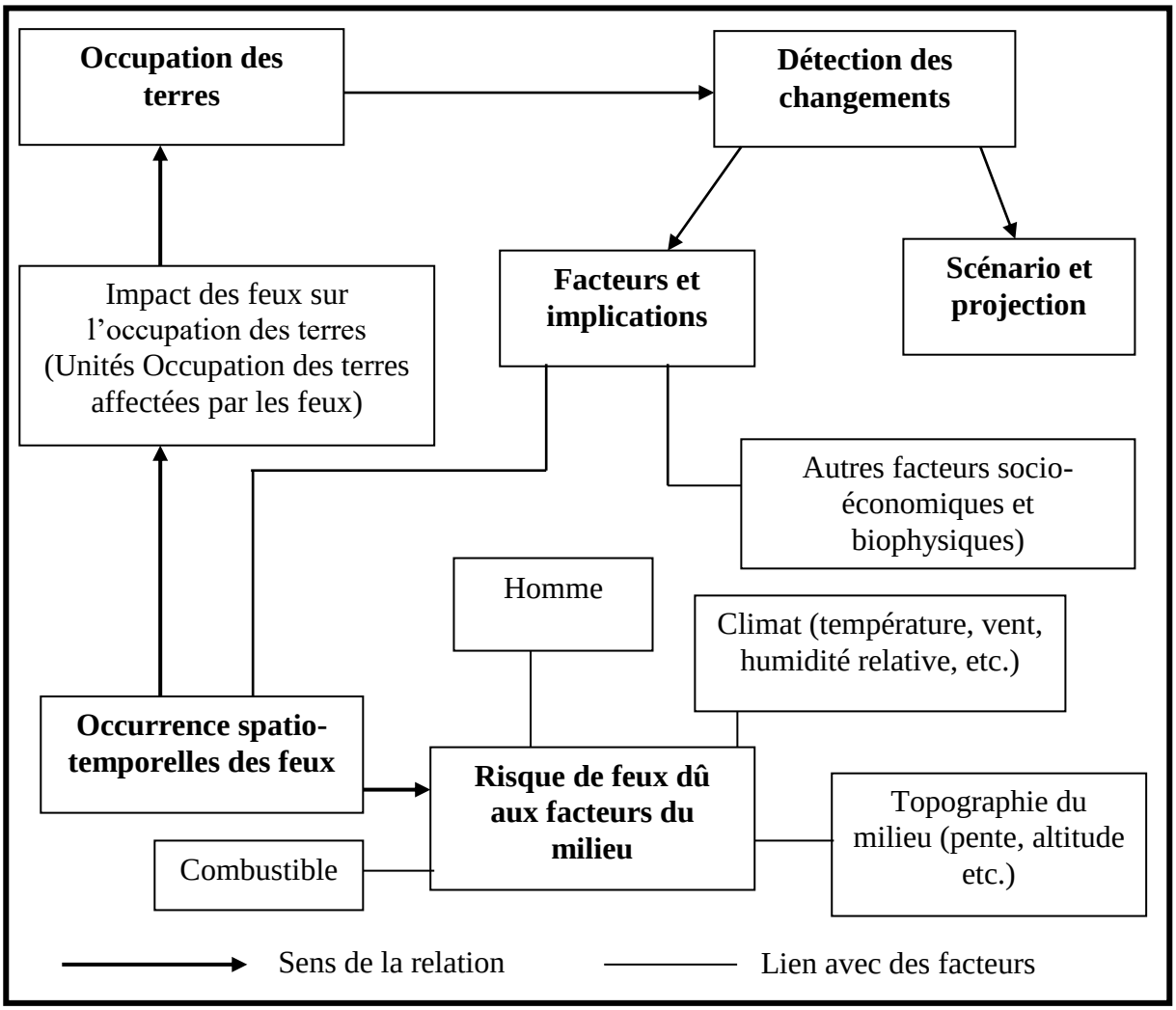


Figure 15: Diagramme conceptuel de l'étude

Cette démarche méthodologique est basée sur des données multi sources et sur des méthodes provenant des analyses spatiales et socio-économiques et des outils de modélisation, et a permis d'obtenir les résultats exposés dans de cette thèse.

Le chapitre suivant présente les grandes lignes des fondements physiques et socio-économiques de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres et de l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation au Centre du Bénin.

CHAPITRE TROISIEME

FONDEMENTS PHYSIQUE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN

Le présent chapitre analyse les caractéristiques biophysiques et socio-économiques du milieu dans lequel les dynamiques de l'occupation des terres s'opèrent au Centre du Bénin. Ces éléments de l'environnement constituent le socle de la stabilité ou de la dynamique du paysage.

3.1. Caractéristiques physiques du Centre Bénin

Ce paragraphe présente le contexte climatique, la géologie, la géomorphologie l'hydrographie, les formations pédologiques et végétales du milieu d'étude.

La zone d'étude est le Centre du Bénin composé dans sa grande partie de l'actuel Département des Collines, d'une partie des Départements du Borgou, du Zou, du Plateau et du Couffo. Elle est comprise entre 1°38' et 2°46' de longitude Est d'une part et entre 7°30' et 9°00' de latitude Nord d'autre part. Administrativement, on y retrouve entièrement les Communes de Savè, de Ouèssè, de Dassa-Zoumé, de Glazoué, de Bantè, de Savalou et une partie des Communes de Tchaourou, de Djidja, de Kétou, d'Aplahoué, de Covè et de Zagnanado (figure 16). Elle est cartographiquement couverte par quatre feuilles topographiques au 1/200000 de l'Afrique Occidentale Française à savoir les feuilles de Savè, d'Abomey, de Zagnanado et de Sokodé, chaque feuille s'étendant sur une superficie de 1° x 1° (figure 17).

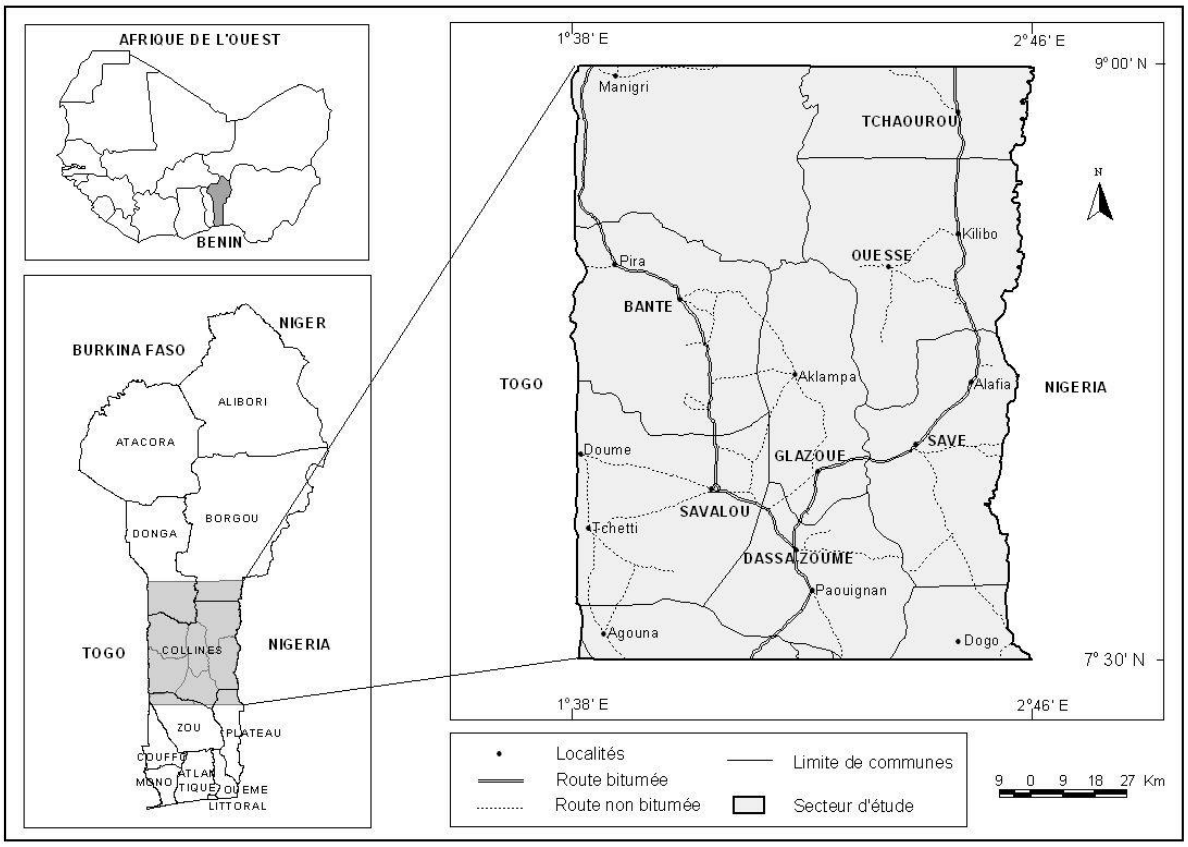


Figure 16 : Localisation de la zone d'étude

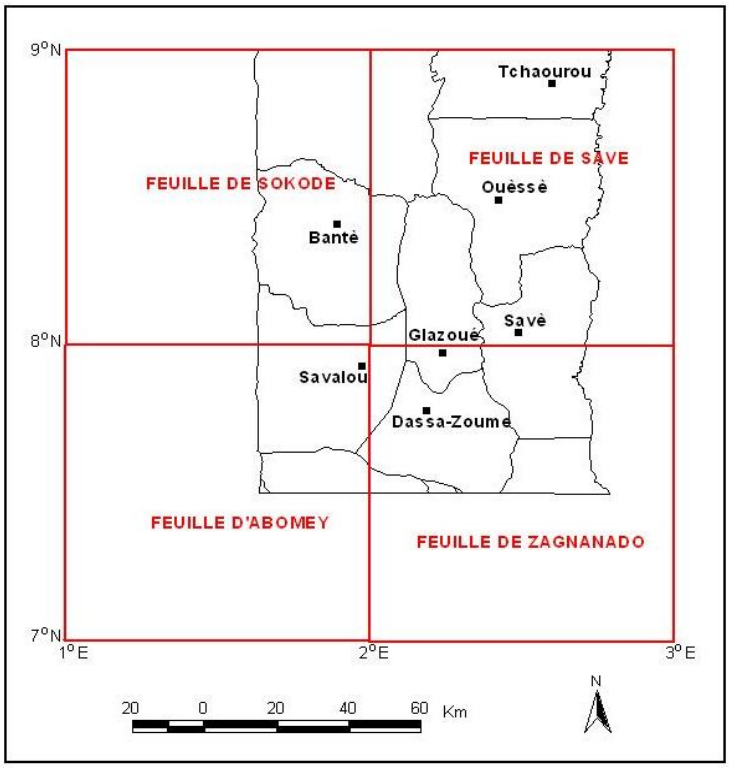


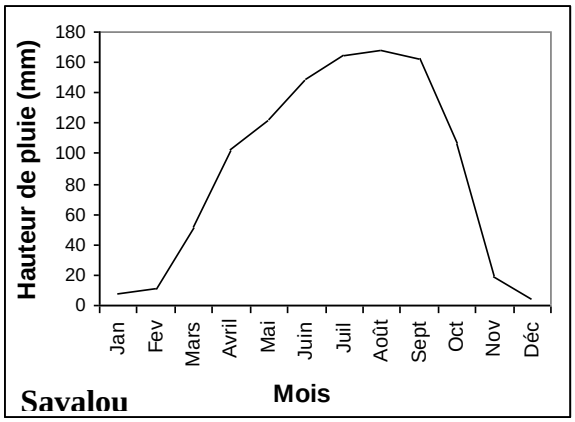
Figure 17 : Les Feuilles topographiques au 1/200 000 couvrant la zone d'étude
(première édition des cartes de l'AOF, réalisées entre 1955 et 1969 par l'IGN France)

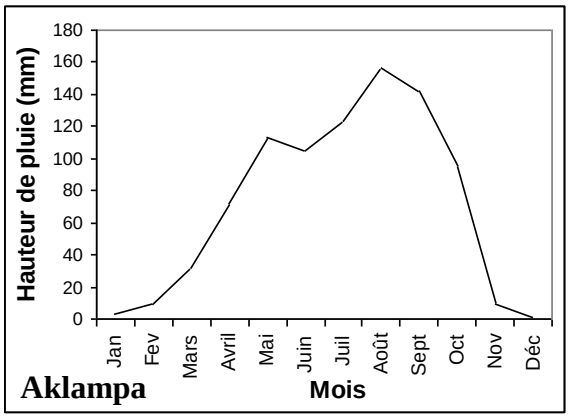
3.1.1. Contexte climatique de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin

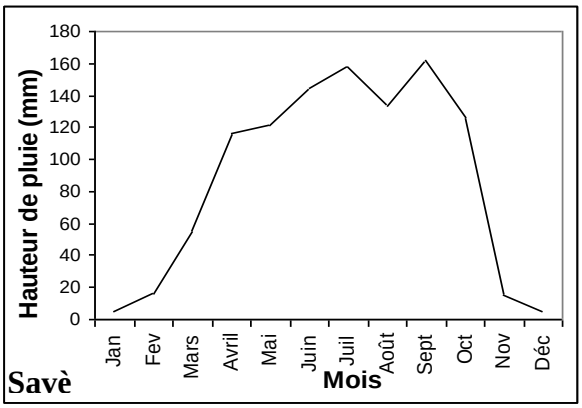
3.1.1.1. Tendance pluviométrique du Centre du Bénin

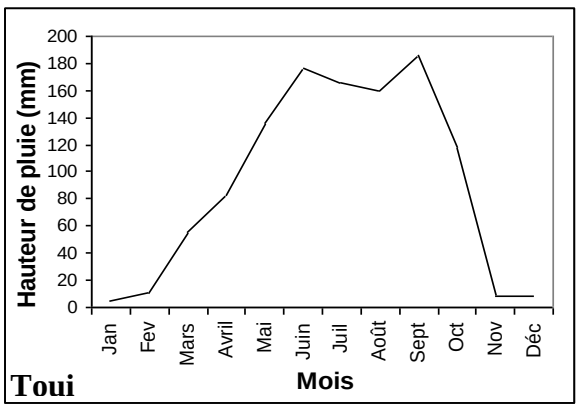
Le Centre du Bénin se situe dans la zone de transition entre le climat subéquatorial du Sud et le climat soudanien du Nord (Boko, 1988; Bokonon-Ganta ; 1987 ; Afouda, 1990, Houssou, 1998). Le régime pluviométrique est à cheval sur celui de la distribution bimodale du Sud et celui de la distribution unimodale du Nord.

Les précipitations jouent un rôle prédominant pour la détermination de la teneur en eau des végétaux. Leur effet varie de façon significative en fonction de leur durée, de leur période, de leur quantité. Ces dernières années, la tendance pluviométrique est unimodale à base large et les hauteurs pluviométriques annuelles oscillent généralement entre 900 et 1200 mm. L'analyse de la répartition pluviométrique entre 1976 et 2005, révèle que les pluies commencent généralement en mars pour finir en octobre (figure 18).









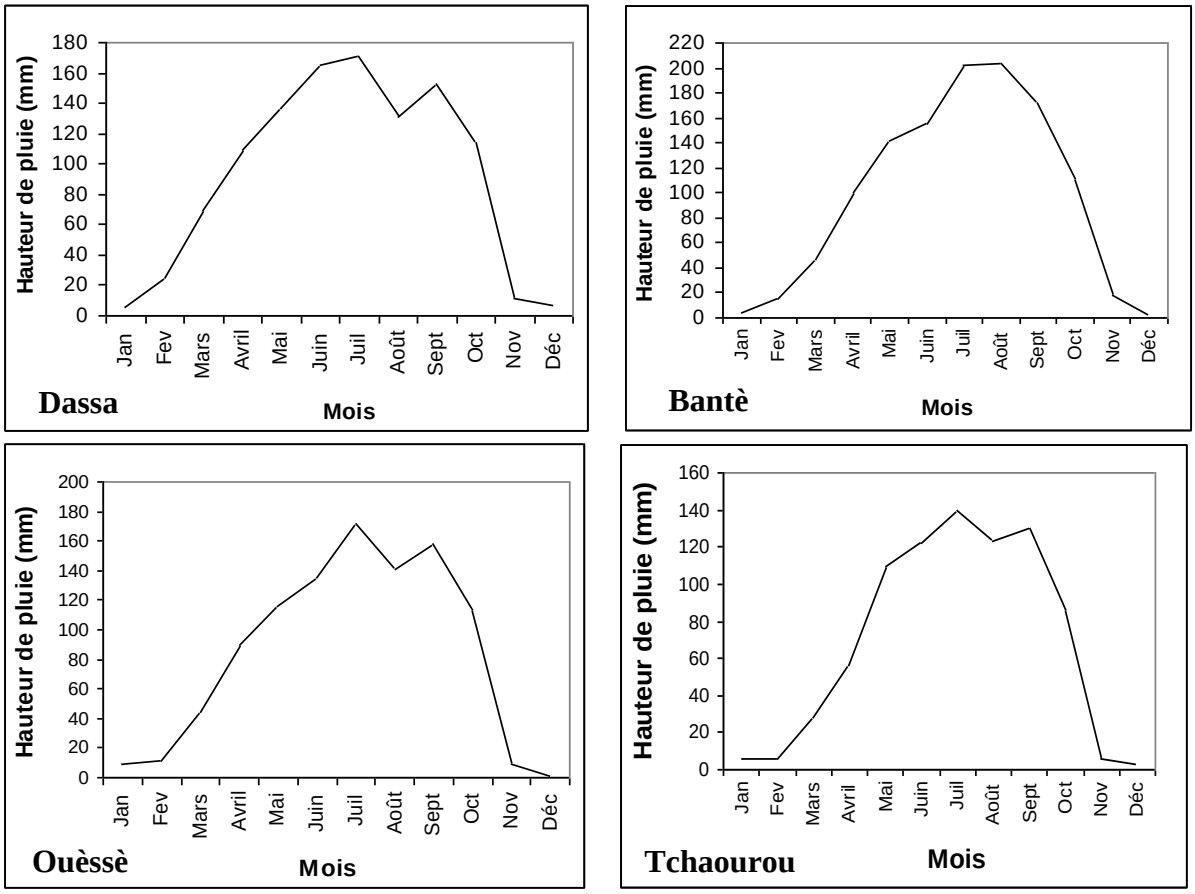


Figure 18: Régime pluviométrique moyen dans le Centre du Bénin de 1976 à 2005
Source : *Historical Weather Records-Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm, consulté le 14 décembre 2010.*

La hauteur maximale (18 à 22 % du total annuel) se situe entre juillet et septembre. Le mois d'octobre enregistre 7 à 11% du total annuel tandis qu'entre octobre et février, le secteur reste sec, sans pluies significatives selon les tendances pluviométriques observées au niveau des stations considérées (figure 18).

La période sèche commence vers mi-novembre pour finir en février. Pendant cette période, les hauteurs de pluie sont inférieures à 20 mm dans les stations concernées. La hauteur de pluie maximale où le pic pluviométrique annuel varie entre juillet , août et septembre pour la plupart des stations. Certaines présentent deux pics dans la série considérée, généralement situés en juillet et septembre. C'est le cas de Dassa-Zoumé, Tchaourou, Savè, Ouèssè, et Toui. Il convient de signaler que seules les stations d'Aklampa, Savalou et Bantè présentent leur pic pluviométrique dans le mois d'août entre 1976 et 2005.

Les isohyètes sont distribuées de façon concentrique, délimitant des poches plus sèches (autour de 1000 mm à Toui et à Aklampa), et des poches plus humides (1200 mm à Dassa-Zoumé) (figure 19).

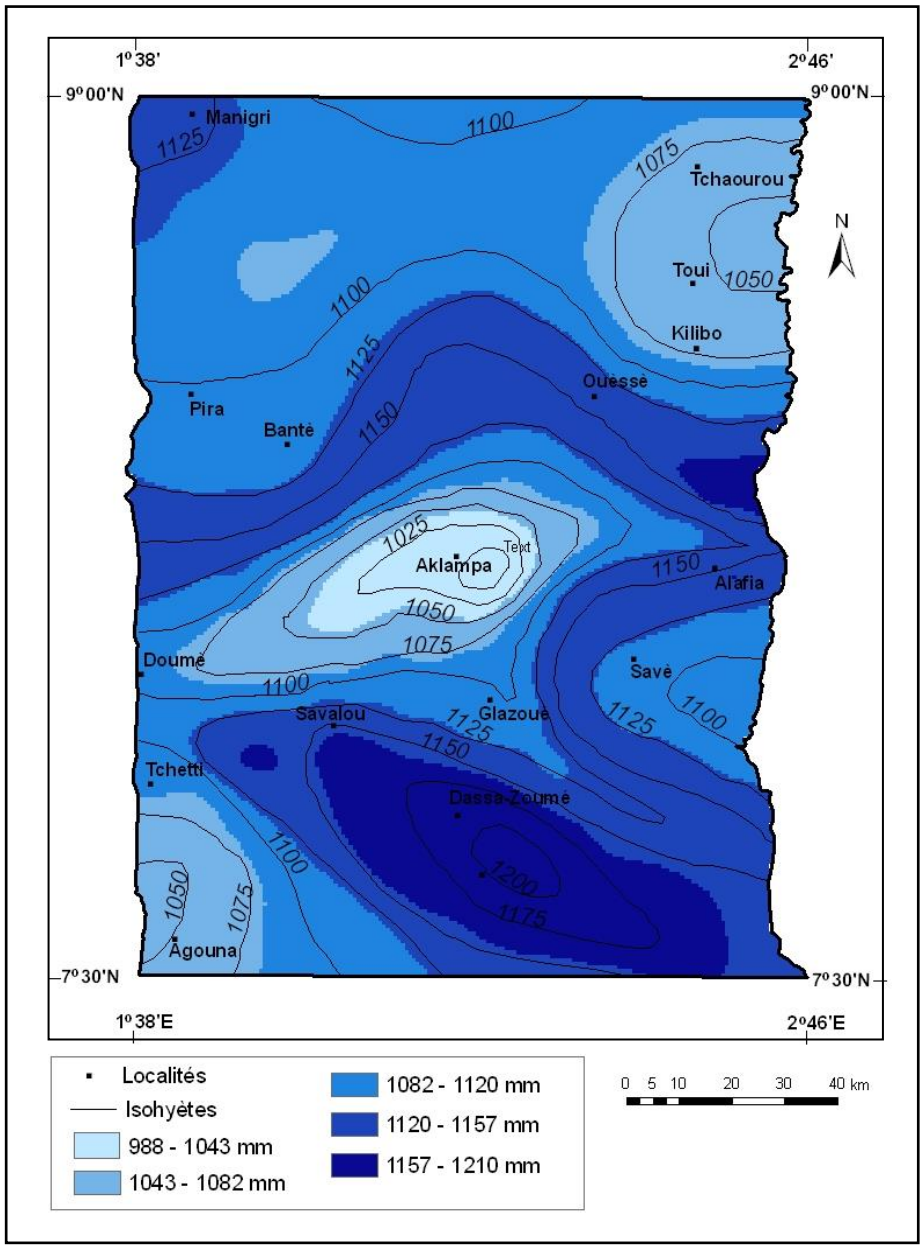


Figure 19: Répartition spatiale des totaux pluviométriques dans le Centre du Bénin (1971-2000)
Source : Données ASECNA

Au total, le Centre du Bénin enregistre 8 mois de pluie par an et 4 mois de saison sèche à savoir les mois de novembre, décembre, janvier et février. Les activités de feux de végétation sont concentrées sur ces quatre mois au cours desquels la pluviométrie est minimale ou presque nulle.

La répartition des hauteurs de pluie mensuelle est confirmée par le bilan climatique fait à la station de Savè, et qui s'appuie sur le modèle de Franquin (Franquin, 1968) utilisant l'Évapotranspiration Potentielle (ETP) et les précipitations (figure 20).

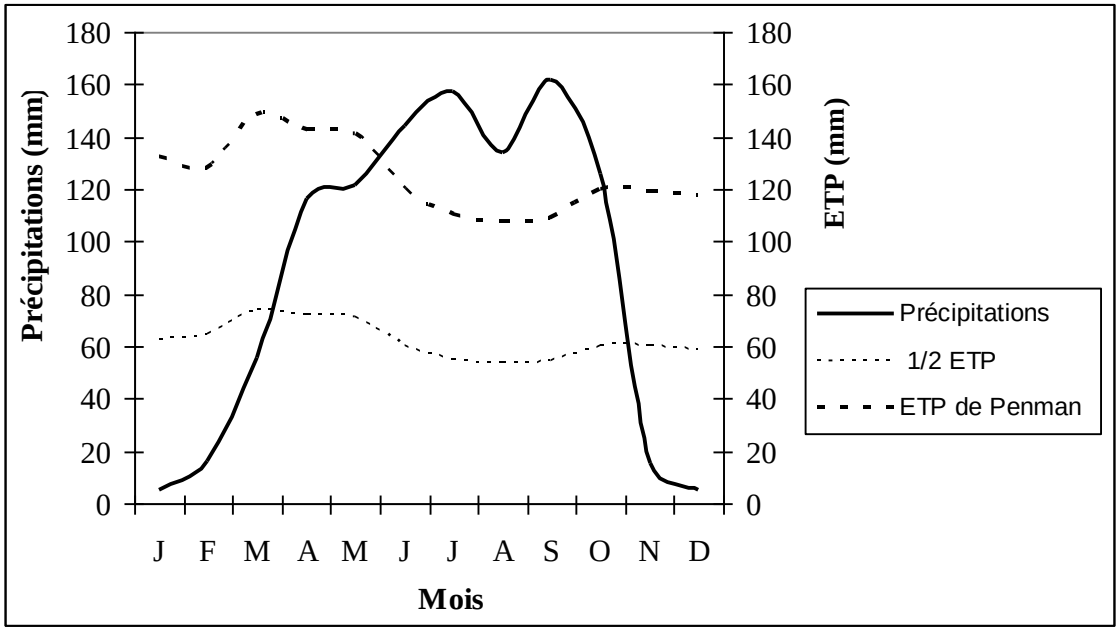


Figure 20: Diagramme climatique de Savè
Source : *Historical Weather Records- Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm, consulté le 14 décembre 2010.*

En effet le modèle de Franquin appliqué à la station de Savè, révèle les observations suivantes :

- la période pré-humide va de mi-mars à mi-mai. Pendant cette période, les précipitations sont globalement inférieures à l'ETP, mais supérieures à ½ ETP.
- la période humide s'étend de mi-mai à mi-octobre. Durant cette période, les précipitations sont globalement supérieures à l'ETP.
- la période post-humide s'étend de mi-octobre à fin octobre. Les précipitations redeviennent inférieures à l'ETP et les plantes commencent par épuiser la réserve en eau des sols. Cette période est propice aux feux précoces de protection des champs et plantations.
- la période sèche couvre environ 4 mois et s'étend de novembre à fin février. Au cours de cette période, les précipitations sont strictement inférieures à l'ETP et même à ½ ETP et la végétation épuise complètement sa réserve hydrique, s'assèche et devient vulnérable aux feux.

Le contexte climatique de la région centrale du Bénin est favorable au développement des activités, même si la variabilité pluviométrique observée ces dernières années a induit quelques contraintes. Ces variations ont amené les paysans à des mesures d'adaptation telles que la technique de resemis, l'adoption

des variétés culturales a cycle court, l'attente effective de la saison pluvieuse avant les semis, et l'orientation progressive du front agricole vers l'exploitation des zones humides.

En dehors de la baisse de la pluviométrie pendant la période sèche, il importe de constater que la température fait partie des paramètres météorologiques qui influent non seulement sur la teneur en eau des végétaux mais encore, constituent des facteurs naturels de déclenchement des incendies (Mbow, 2000).

3.1.1.2. Tendance thermométrique au Centre du Bénin

La température moyenne mensuelle est estimée à 27,1°C entre 1976 et 2005 à la station de Savè (seule station synoptique de la zone d'étude). Les températures varient entre 22,5°C et 33°C avec une amplitude thermique moyenne de plus de 10°C. Ces températures sont plus élevées entre novembre et mars et le pic de la série considérée a été notée en février ou la température maximale a atteint 36,9°C et la valeur minimale 23,5°C (figure 21).

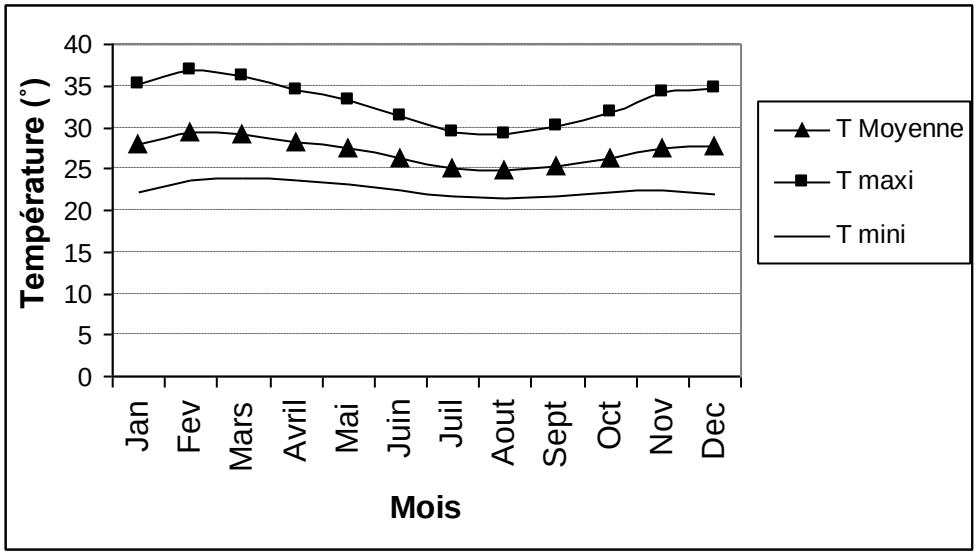


Figure 21: Évolution de la température mensuelle entre 1976 et 2005 à Savè
Source : *Historical Weather Records- Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm, consulté le 14 décembre 2010.*

Les mois de février et de mars sont généralement les plus chauds tandis que les mois de juillet et d'août enregistrent les plus faibles températures. De l'analyse de la figure 21, il ressort que les valeurs fortes des températures correspondent aux mois de saison sèche tandis que les faibles valeurs sont enregistrées pendant la saison pluvieuse. On en déduit que pendant la période sèche, période des activités intenses de feu de végétation, l'augmentation de la température assèche la végétation qui

déjà perd sa réserve hydrique et devient ainsi un combustible caractérisé par une forte inflammabilité. Ainsi la température maximale contribue à l'assèchement de la végétation qui est désormais exposée au feu. La moyenne de cette température maximale atteint près de 35° C dans le secteur d'étude (figure 22).

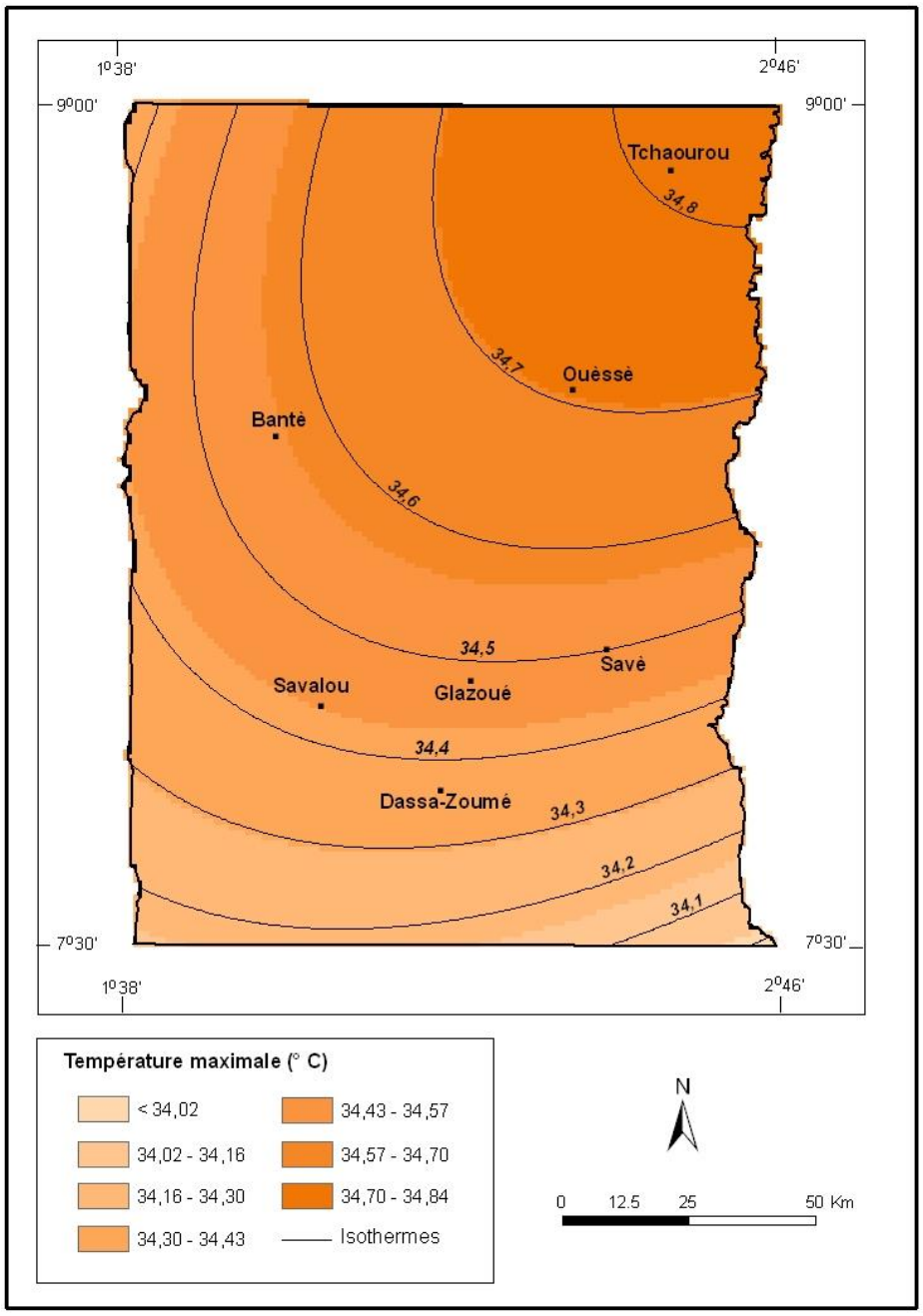


Figure 22: Evolution spatiale de la température maximale dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005)

Source: *Historical Weather Records – Africa. Données interpolées à partir de celles des stations de Parakou, Bohicon, Savè, des données des stations de Atakpamé, Sokodé et Kara au Togo, et des données des stations de Ibadan et de Ilorin au Nigéria*

3.1.1.3. Insolation au Centre du Bénin

L'augmentation des températures de saison sèche, est aussi liée à l'insolation qui lorsqu'elle est forte, constitue un catalyseur de la sécheresse de la végétation qui brûle rapidement. L'insolation est le temps pendant lequel un lieu est exposé au soleil. Plus spécifiquement, en météorologie, elle est aussi la durée (en heures) pendant laquelle le soleil a brillé au cours d'une journée. Au Centre du Bénin, elle varie entre 0 et 8 h et augmente au fur et à mesure que l'on évolue vers le nord (figure 23).

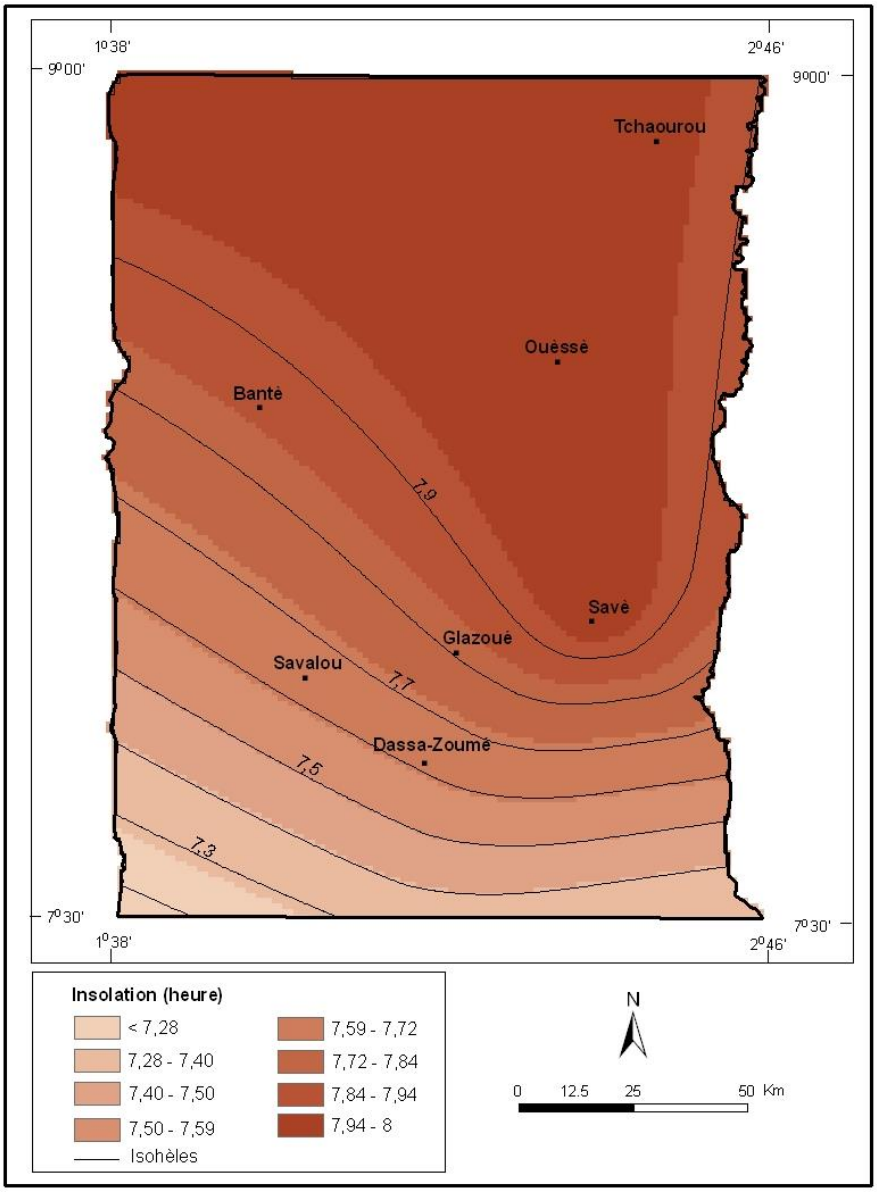


Figure 23: Évolution spatiale de l'Insolation dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005)

Source: *Historical Weather Records – Africa. Données interpolées à partir de celles des stations de Parakou, Bohicon, Savè, des données des stations de Atakpamé, Sokodé et Kara au Togo, et des données des stations de Ibadan et de Ilorin au Nigéria*

3.1.1.4. Humidité relative au Centre du Bénin

L'humidité relative est communément utilisée pour mesurer la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère. De faibles valeurs de l'humidité relative indiquent que l'air est extrêmement sec. Lorsque ces valeurs sont inférieures à 30%, la probabilité pour que les plantes prennent feu est très élevée car l'eau s'évapore de ces dernières qui sont par conséquent inflammables à tout moment. Au Centre du Bénin, précisément à la station synoptique de Savè, les valeurs moyennes de l'humidité relative varient entre 50,8 % (en janvier) et 83,3 % (en aout). Les valeurs minimales de l'humidité relative varient entre 27,5 % (en février) et 65 % (en août). Il ressort que les valeurs faibles de l'humidité relative sont enregistrées entre novembre et février et les valeurs élevées s'étendent de mars à octobre (figure 24).

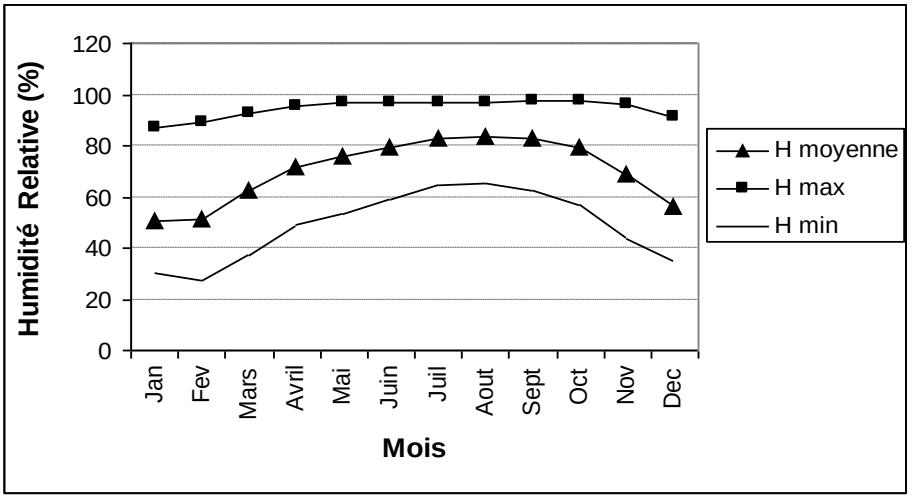


Figure 24: Evolution mensuelle de l'humidité relative à Savè (1976 – 2005)
Source : *Historical Weather Records- Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm, consulté le 14 décembre 2010.*

Les faibles valeurs de l'humidité relative en novembre, décembre, janvier et février révèlent que ces mois sont ceux au cours desquels la végétation est plus vulnérable au feu. Ces mois correspondent aux quatre principaux mois de la saison sèche qui est une période d'intenses activités de feux de végétation.

De façon générale, l'humidité relative au cours de cette période diminue au fur et à mesure que l'on évolue du sud vers le nord et est comprise entre 27% et moins de 60% (figure 25).

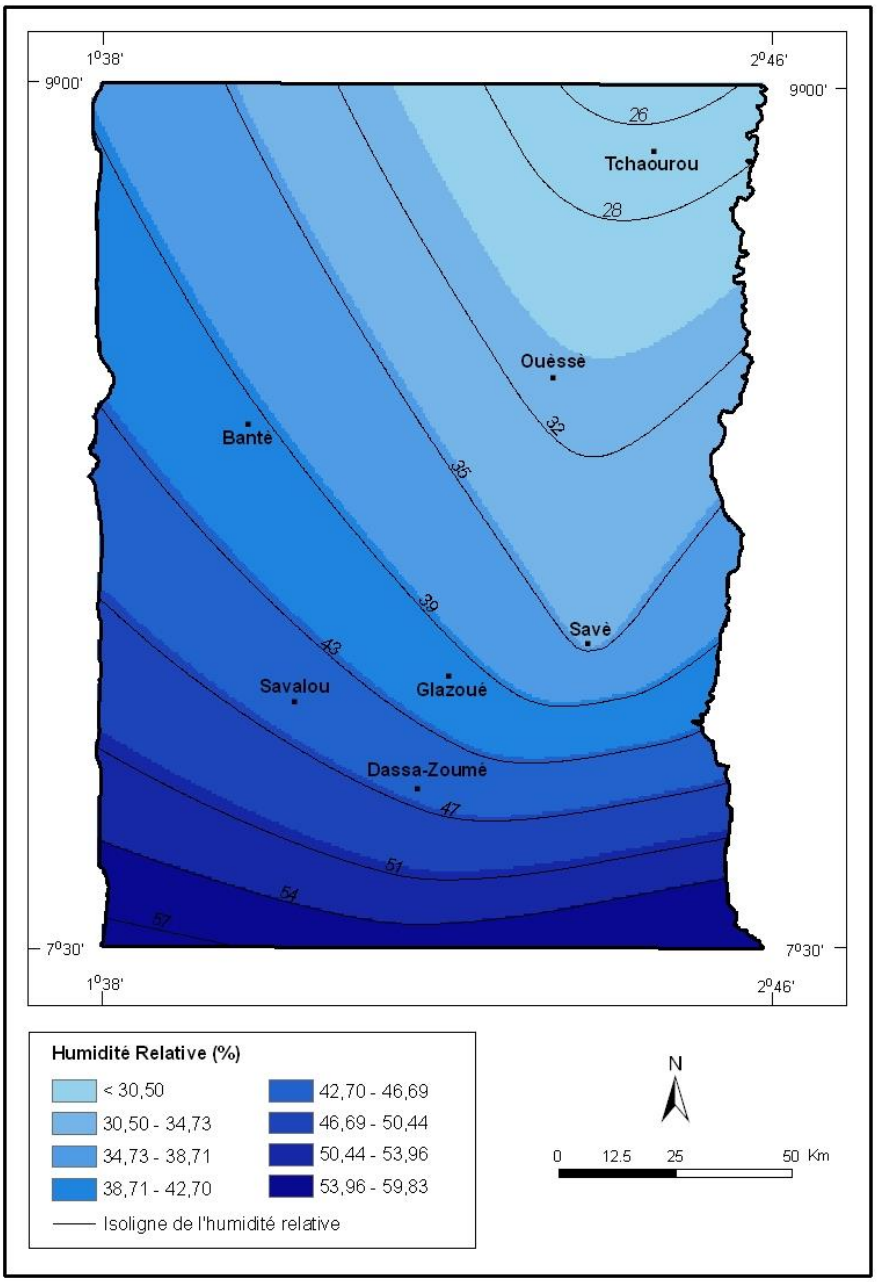


Figure 25: Evolution spatiale de l'humidité relative dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005)

Source: *Historical Weather Records – Africa. Données interpolées à partir de celles des stations de Parakou, Bohicon, Savè, des données des stations de Atakpamé, Sokodé et Kara au Togo, et des données des stations de Ibadan et de Ilorin au Nigéria*

3.1.1.5. Analyse de la vitesse du vent

Le vent joue un rôle important dans la formation et le développement des feux, car son action est multiple. En effet, Il active la combustion par apport d'oxygène et accélère la progression en développant les flammes et en transportant les particules incandescentes, desséchant dans son parcours le sol et les végétaux. Le vent est imprévisible, car sa vitesse et sa direction varient en fonction du relief. Il contribue à

l'accélération de la vitesse du feu, et sa vitesse est aussi accélérée par le feu. Un feu local se déclare souvent pendant l'incendie à cause du changement fréquent de la direction du vent (Otsuka, 2003). Au Centre du Bénin les vitesses moyennes mensuelles du vent varient entre 3,1 km / heure (en novembre) et 6,4 km/heure (en Avril). Les faibles valeurs sont observées pendant la saison sèche entre novembre et février où le vent à une vitesse inférieure à 5 km / heure (figure 26).

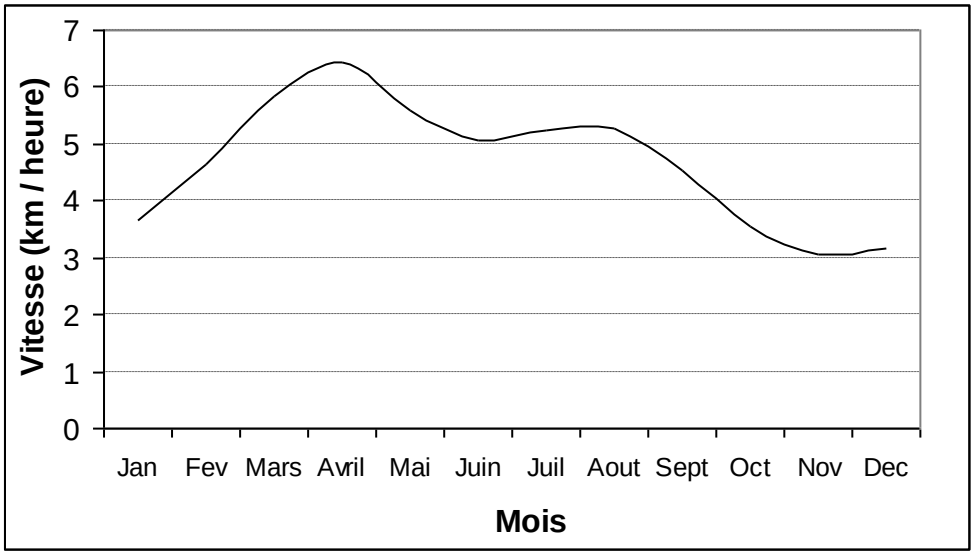


Figure 26: Evolution mensuelle de la vitesse du vent à Savè (1976 – 2005)
Source : *Historical Weather Records- Africa, http://www.tutiempo.net/en/Climate/africa.htm, consulté le 14 décembre 2010.*

Sur la base de l'échelle de Beaufort (Hainry, 1999) (tableau XVI), il a été remarqué que les vitesses de vent pendant la saison sèche correspondent à la catégorie allant de 1 et 5 km / heure de force 1 degré Beaufort et aussi de 6 à 11km / heure au Centre du Bénin. Elles impliquent sur la terre de très légère brise pendant laquelle la fumée est remarquable et indique la direction du vent.

Tableau XVI : Présentation simplifiée de l'échelle de Beaufort

Force	Termes	Vitesse en km / h	Effets sur terre
0	Calme	moins de 1	La fumée monte verticalement
1	Très légère brise	1 à 5	La fumée indique la direction du vent. Les girouettes ne s'orientent pas.
2	Légère brise	6 à 11	On sent le vent sur le visage, les feuilles bougent.
3	Petite brise	12 à 19	Les drapeaux flottent bien. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
4	Jolie brise	20 à 28	Les poussières s'envolent, les petites branches se plient.
5	Bonne brise	29 à 38	Les petits arbres balancent. Les sommets de tous les arbres sont agités.
6	Vent frais	39 à 49	On entend siffler le vent.
7	Grand vent frais	50 à 61	Tous les arbres s'agitent.
8	Coup de vent	62 à 74	Quelques branches cassent.
9	Fort coup de vent	75 à 88	Le vent peut endommager les bâtiments.
10	Tempête	89 à 102	Gros dégâts.
11	Violente tempête	103 à 117	Très gros dégâts.
12	Ouragan ou Bombe météorologique au dessus du 40° parallèle	supérieur à 118	Dégâts très importants.

Source : Wikipédia,"Échelle de Beaufort," *Wikipédia, l'encyclopédie libre,* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89chelle_de_Beaufort&oldid=63231092(Page consultée le 15 avril, 2011).

La vitesse du vent est inférieure à 7 km/h dans le Centre du Bénin. Elle est plus élevée vers le nord que dans le centre et le sud (figure 27).

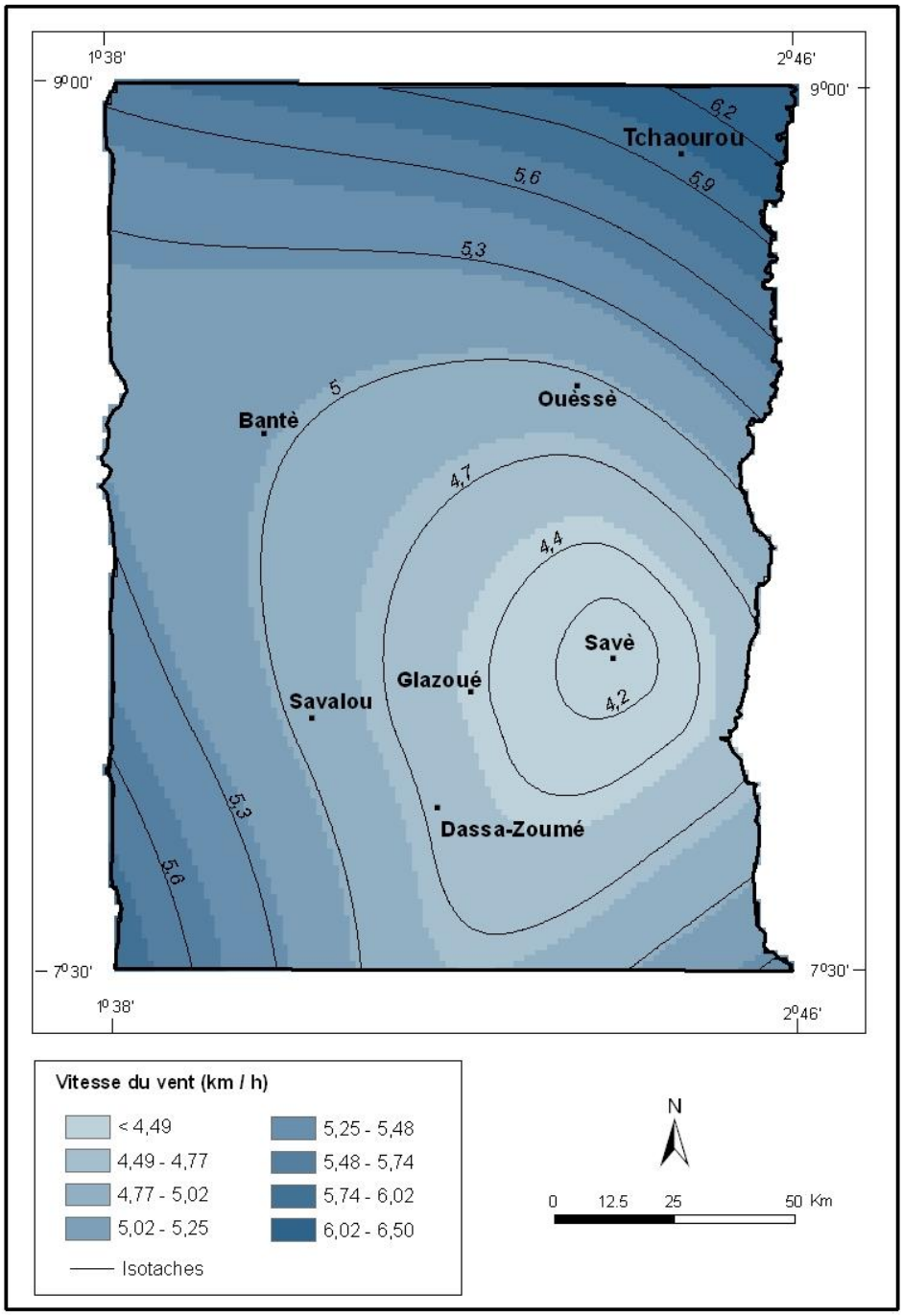


Figure 27: Répartition spatiale de la vitesse du vent au Centre du Bénin
Source: *Historical Weather Records – Africa. Données interpolées à partir de celles des stations de Parakou, Bohicon, Savè, des données des stations de Atakpamé, Sokodé et Kara au Togo, et des données des stations de Ibadan et de Ilorin au Nigéria*

En somme, les vitesses du vent pendant la saison sèche peuvent forcer déjà la direction du feu. Il arrive que le vent et la pente de terrain conjuguent leurs effets pour influencer la propagation du feu. Ainsi sur les montées, suivant le sens du vent, le feu accélère sa progression. Sur les descentes, il la ralentit, mais il peut se

propager sur l'autre versant d'une colline lors de sautes de feu provoquées par le vent (figure 28).

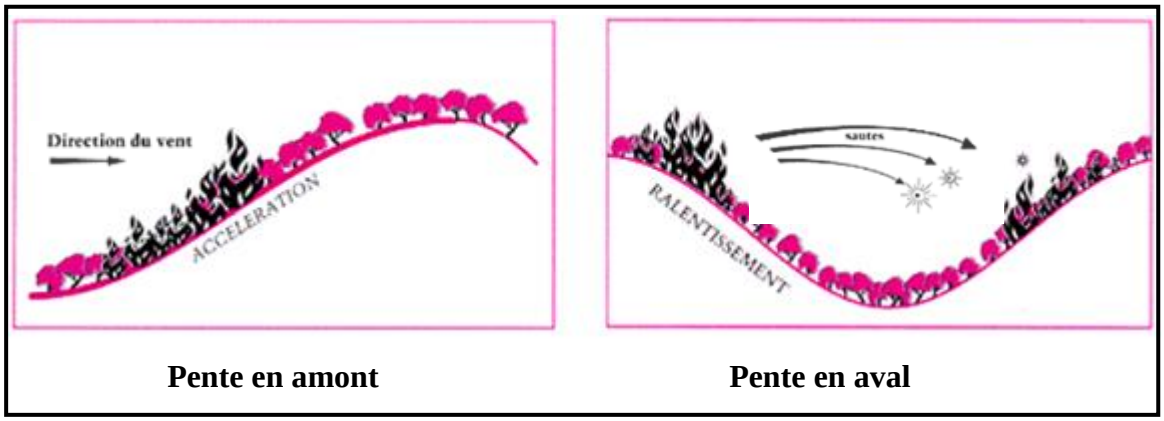


Figure 28: Effet du vent sur la propagation des feux sur une pente
Source : Otsuka, 2003

3.1.2. Géologie et géomorphologie

3.1.2.1. Géologie de la zone d'étude

Le secteur d'étude est bâti sur deux unités géologiques à savoir le socle précambrien et la couverture sédimentaire (OBEMINES, 1989). Cette deuxième unité n'est pas étendue mais se localise juste à un bout du Sud Est. Le socle précambrien constitue l'essentiel de la géologie du Centre Bénin et domine à plus de 95 % la zone d'étude. Il se compose de deux grandes séries à savoir : le Dahoméyen et le granite (figure 29).

Le Dahoméyen qui est la formation géologique la plus ancienne occupe une grande partie de la zone et est composé de groupes pétrographiques suivants:

- le Groupe de Pira, composé essentiellement de migmatites, domine l'Est et l'extrême Ouest du secteur d'étude, et évolue vers le Nigéria ;
- le Groupe de Djougou, formé de gneiss à muscovites, est une formation isolée qui se retrouve le long du fleuve Ouémé et de part et d'autre de ses rives, dans la moitié Nord du secteur d'étude ;
- le Groupe de Gbadagba, composé de quartzite à muscovite, est d'une envergure spatiale mineure et se retrouve au sud du secteur d'étude, le long du fleuve Zou, et au nord dans la zone environnante de la colline de Agbassa;

- le Groupe de Kandi, formé de gneiss à biotite (mica noir) et amphibole d'une orientation Nord-Sud, se retrouve en îlots circonscrits ou allongés le long de l'Ouémé et du Zou ;
- le Groupe de Kouandé formé d'orthogneiss à biotite apparaît dans l'extrême Nord-Ouest du secteur d'etude et en îlots circonscrits au Nord de part et d'autre de l'Ouémé et au Sud-Ouest entre les cours d'eau Agbado et Zou.

En dehors du Dahoméyen, la série des granites caractérise le Centre du Bénin et est constituée de granites syntectoniques calco-alcalins, des granites postectoniques alcalins et des granites postectoniques calco-alcalins. Elle s'étend du sud-ouest vers le nord, et évolue du centre vers la frontière bénino-nigériane. A cette formation s'ajoutent les microgranites qui apparaissent en un mince liseré d'orientation Nord Est / Sud Ouest entre le Zou et l'Ouémé. La couverture sédimentaire apparait à l'extrême Sud-Est et est bâti sur le Crétacé supérieur indifférencié et le Continental terminal constitué de sable, d'argiles et de grès.

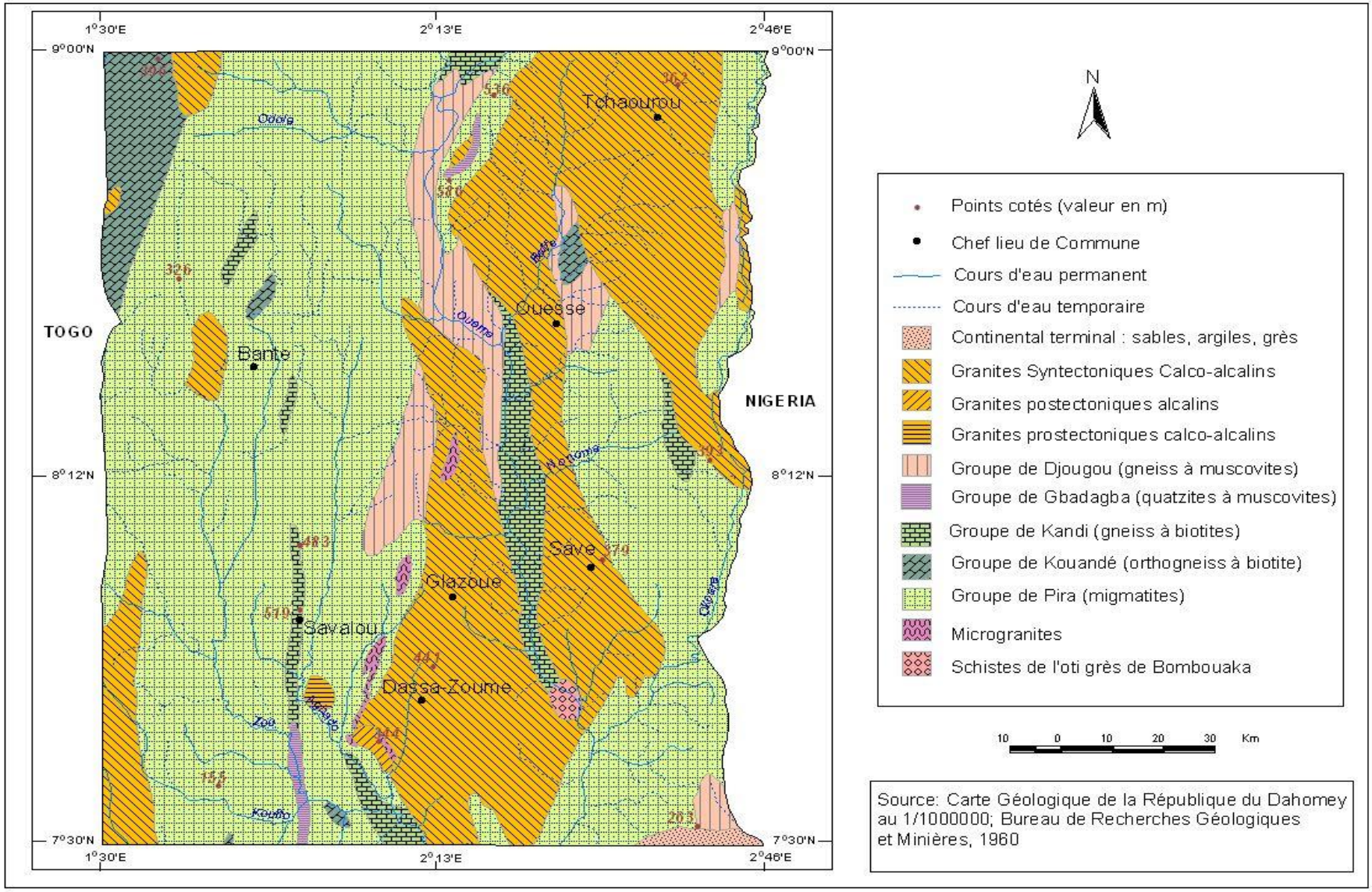


Figure 29: Carte géologique de la zone d'étude

3.1.2.2. Géomorphologie

Le Centre du Bénin est caractérisé par une géomorphologie étroitement liée à la lithologie et à l'histoire géologique (Berding et van Diepen, 1982; Houndagba, 1985). Le relief est une pénéplaine dominée par des inselbergs. Cette pénéplaine correspond à une ancienne surface d´aplanissement dont l´altitude moyenne est d´environ 200 m. Elle se présente comme une surface d'érosion en forme d'inselbergs, en général séparés par des rivières ou des vallées sèches. Elle présente ainsi une allure ondulée, créée par la succession sans cesse répétée de croupes. Dans certaines localités et selon les saisons, ces collines sont couvertes de végétation arborée et arbustive. Le sommet de chaque croupe est légèrement arrondi (Okioh, 1972 ; Adam, 1978). En aval, une légère concavité apparaît, établissant le raccordement avec le lit des rivières en l'absence de formations alluviales véritables. Les inselbergs généralement orientés Nord-Sud, affleurent dans les localités de Dassa, Gobada, Logozohè, Tchetti, Savalou, Savè, Yaoui, Ikemon, Agbassa, Koda (Photo1). Le passage des plateaux sédimentaires au socle cristallin se produit parfois par des pentes raides. Quelques reliques et affleurements des croûtes ferrugineuses apparaissent au Nord de Savalou. A l'Ouest du socle, la topographie est très douce, les affleurements rocheux sont très fréquents mais les inselbergs sont rares. A l'Est par contre le paysage est dominé par des collines et le réseau hydrographique est dense.

Les plus hauts sommets se retrouvent dans les collines de Dassa et de Savalou avec une altitude culminant à plus de 500 m.

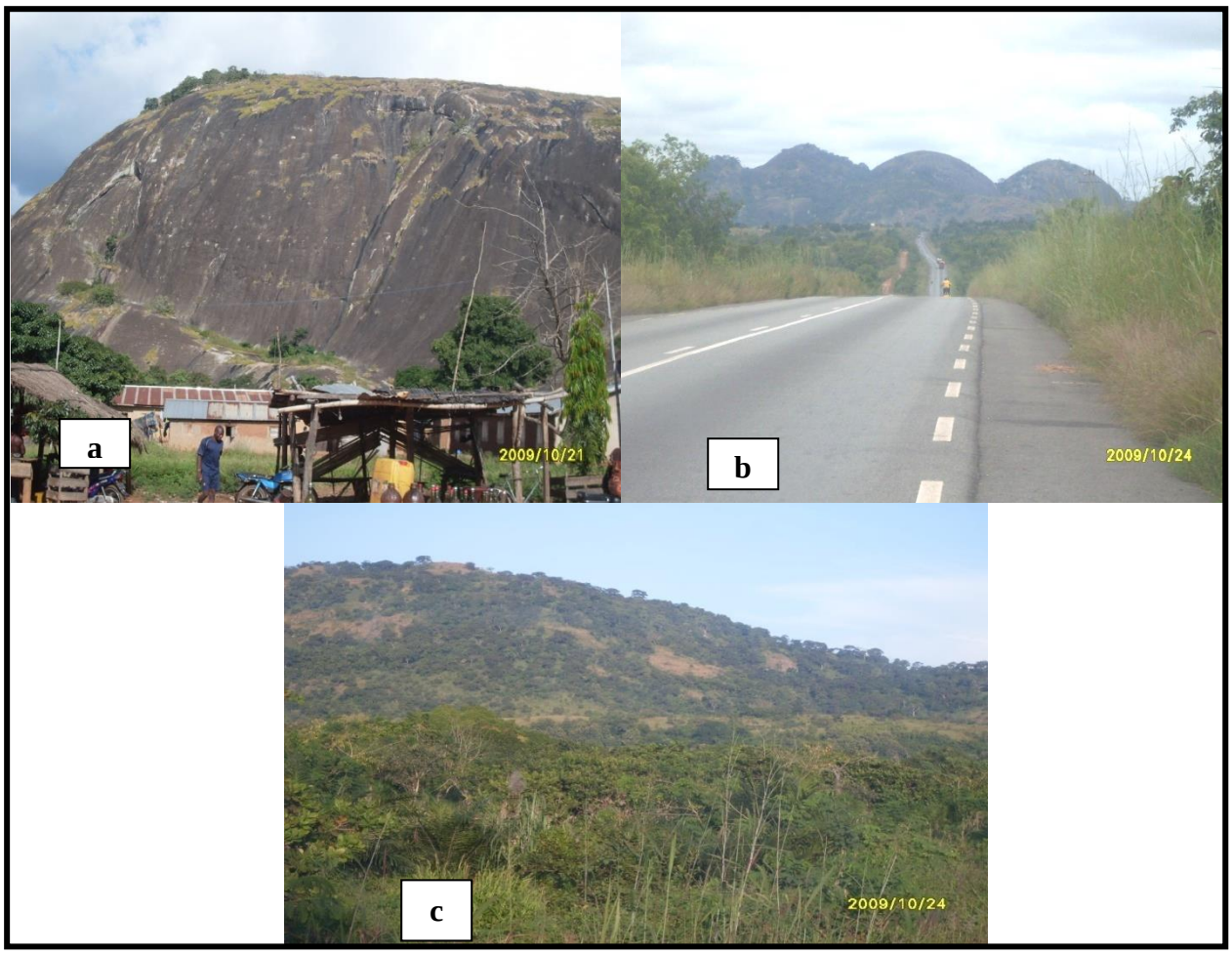


Photo 1 : Quelques traits physiques du Centre Bénin : Collines de Akpassi dans la commune de Bantè (**a**) ; Collines de Savè se présentant sous forme de Mamelles (**b**) ; Collines de Savalou recouvertes de végétation saxicole (**c**)
Source : Cliché Oloukoi, Octobre 2009

3.1.3. Hydrographie

Le Centre du Bénin est bien drainé. On retrouve principalement le fleuve *Ouémé* avec ses affluents que sont l'*Okpara*, la *Beffa* et le *Zou*. L'*Ouémé* a un régime fluvial plus ou moins permanent. C'est un cours d'eau modérément abondant mais irrégulier. Ses débits varient entre 1020 et 1860 m^3/seconde à la station de Savè. A la station de Bètèrou, le débit de crue est faible et est estimé à environ 447 m^3/seconde (Donou et Boko, 2007). De décembre à mai, l'*Ouémé* est caractérisé par une baisse sévère de son débit, ce qui témoigne de sa très grande irrégularité saisonnière. La *Beffa* traverse principalement les Communes de Ouèssè et de Tchaourou et constitue le plus grand affluent avec un bassin versant estimé à environ 197 000 km^2. L'*Okpara*, d'une longueur d'environ 200 km, représente la frontière

naturelle entre le Bénin et le Nigeria dans les Communes de Savè, Ouèssè et Tchaourou. Le *Zou*, d'une longueur de 150 km, se retrouve dans le sud ouest du secteur d'étude et traverse la Commune de Savalou avec son sous-affluent qu'est la rivière *Agbado*. Il présente un débit faible au cours de la grande saison sèche (décembre-mai). Ces cours d'eau sont influencés par le climat de type soudanien à deux saisons tranchées. Le régime hydrologique est bimodal. Les périodes de hautes eaux sont marquées par deux pointes distinctes, l'une en juin et l'autre en octobre. L'étiage et les faibles débits s'enregistrent de décembre à mai-juin où les valeurs sont presque nulles. Mais en septembre, le débit atteint son maximum. La valeur optimale varie d'une année à l'autre selon la pluviométrie. Les pointes apparaissent pendant les saisons des pluies, ce qui indique un lien étroit entre le régime fluvial et le régime des précipitations. La plus grande pointe apparaît en octobre car les premières pluies qui doivent saturer le sol s'écoulent moins en juin que celles d'octobre.

Le long de ces cours d'eau et de leurs affluents et sous-affluents, domine une unité d'occupation des terres ; il s'agit des galeries forestières.

En dehors de ces cours d'eau et de leurs affluents, il y a des ruisseaux et des rivières à régime temporel comme *Nonomè, Kilibo, Odokoto, Agbado, Liga, Odofa,Toumi, Klou,* etc. qui sont de petits cours d'eau qui tarissent vite.

3.1.4. Formations pédologiques

Le secteur d'étude est dominé par des sols ferrugineux entrecoupés par des sols ferralitiques, des sols hydromorphes et quelques îlots de sols peu évolués, de sols bruns, de vertisols et des sols minéraux bruts (figure 30) (Youssouf et *al*., 2000 ; Azontonde, 1991 ; Volkoff et a*l*., 1963; Berding et *al.*, 1982). Les caractéristiques pédologiques du Centre Bénin sont décrites dans les monographies de reconnaissance des sols établies par l'ORSTOM en 1976 (Feuille d'Abomey) et 1977 (feuille de Savè) et dans les documents de classification dans la base de référence mondiale sur les sols.

3.1.4.1. Sols ferrugineux tropicaux

Ils couvrent la presque totalité de la région et offrent une grande diversité de sols. Ces derniers se développent sous une végétation de savane arborée où la litière, principalement graminéenne, donne des résidus très rapidement décomposés et minéralisés ou le plus souvent brûlés (Dubroeucq, 1977). Ces sols sont caractérisés par une altération forte mais moins poussée que dans le cas des sols ferralitiques avec une géochimie caractérisée par l'accumulation d'hydrates ferriques associés à peu d'oxydes aluminiques (Agossou, 1993). Ils dominent le secteur d'étude et se présentent sous diverses formes à savoir les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion ou sans concrétion, les sols tropicaux peu lessivés hydromorphes ou jeunes, les sols ferrugineux tropicaux appauvris avec concrétion ou sans concrétion.

Les caractéristiques agronomiques des sols ferrugineux sont très variables et souvent hétérogènes. Ils s'agit dans l'ensemble des sols à terre fine argilo-sableuse d'une profondeur utile moyenne limitée par la discontinuité d'un horizon concrétionné parfois massif. Les réserves en eau utilisable sont faibles. Ils sont faiblement acides avec une capacité d´échange moyenne mais les réserves minérales sont faibles (déficiences phosphorées et potassiques). Comparés aux sols ferralitiques, ils ont une meilleure fertilité chimique.

Ces sols présentent une aptitude culturale élevée pour les cultures annuelles si les carences minérales sont corrigées et le volume utile de sol augmenté par des techniques culturales appropriées. Certains de ces sols abritent de larges plantations d'arbres fruitiers et de beaux peuplements forestiers, surtout lorsqu'ils sont suffisamment profonds et leur texture adaptée.

3.1.4.2. Sols ferralitiques

Ces sols sont caractérisés par une altération très poussée des minéraux primaires par des eaux chaudes et diluées qui arrivent sur un matériau primitif dans un milieu à drainage élevé. Ils constituent dans l'ensemble, un mélange de matières organiques, de kaolin, de squelettes quartzeux et d´oxydes hydratés (Agossou, 1993).

Les sols ferralitiques du secteur d'étude sont ceux du socle granito-gneissique, et présentent de bonnes propriétés physiques. Mais souvent, ces propriétés sont limitées par l'existence d'un niveau concrétionné ou compact entraînant un drainage quelque peu déficient.

Dans le secteur d'étude, les sols ferralitiques se rencontrent en de nombreux endroits, mais n'ont globalement qu'une faible extension. Ils occupent les parties les plus élevées des reliefs et conservent, en général, un couvert arboré de forêt claire avec des arbres de haute taille. Ils se caractérisent généralement par une grande profondeur d'environ 10 m ou plus, et par une altération poussée des minéraux primaires (sauf le quartz) et par un contenu minéralogique où les argiles sont exclusivement de type kaolinite (Dubroeucq, 1977). Ces sols se subdivisent en sous-catégories que sont les sols ferralitiques faiblement désaturés et les sols ferralitiques moyennement désaturés.

3.1.4.3. Sols hydromorphes

Ce sont des sols formés ou évoluant dans une ambiance physico-chimique qui favorisent des phénomènes d´oxydo-réduction (Agossou, 1993).

La durée de l'engorgement commande l'utilisation de ces sols qu´on rencontre dans les vallées alluviales de l'Ouémé, du Zou, de l'Okpara et de quelques rivières ou ruisseaux. Ils se retrouvent sur les versants, les bas de pente, dans les dépressions et surtout dans les bas-fonds.

3.1.4.4. Sols minéraux bruts et sols peu évolués

Les sols minéraux bruts ont une faible extension spatiale. Ils se retrouvent dans la partie Ouest de la zone d'étude et couvrent les sommets des interfluves d'aspect tabulaire qui sont développés sur des roches riches en minéraux ferromagnésiens avec une présence remarquée des embréchites et du granito-gneiss (Dubroeucq, 1977). Les sols minéraux bruts ne présentent que des caractères défavorables à l'agriculture : faible épaisseur, texture légère, forte pierrosité, réserves minérales et hydriques faibles, fort risque d'érosion.

Les sols peu évolués présentent aussi une extension assez réduite et supportent une végétation arborée chétive. Ils sont localisés dans les zones des Monts de Koda, Agbassa, et Sobirigbérou, dans la partie Nord de la zone d'étude.

3.1.4.5. Sols bruns et vertisols

De couleur brune et d'horizon peu profonds, les sols bruns sont peu répandus dans le secteur d'étude. Ils ne se rencontrent qu'en bordure et à l'intérieur d'un massif de microgranites hyper-alcalins orienté nord-sud dans la région de Ouèdèmè au Nord

Ouest de Glazoué et à l'Ouest de Dassa-Zoumé. Ces sols conviennent aux cultures annuelles à cause de leur fertilité témoignée par la forte densité des aires culturales. Les vertisols sont faits d'argiles gonflantes qui présentent des faces de glissement ou de friction et de larges fentes de dessiccation, à certaines périodes de l'année. Le mot vertisols dérive du latin *verto* qui signifie tourner. L'alternance de la période d'humectation et de dessiccation est nécessaire pour la réalisation de cette *pédoturbation*. Ils présentent un taux d´humidité assez élevé, ce qui les rend très mécanisables. De même, ils recèlent un potentiel de fertilité élevé qui se trouverait augmenté dans les vertisols hydromorphes.

Au total, il importe de retenir que la zone d'étude possède une variété de sols avec des aptitudes culturales appréciables. Les sols ferrugineux dominent le Centre du Bénin, suivi des sols ferralitiques. La diversité de ces sols explique aussi la variabilité observée au niveau du paysage agricole et aussi l'hétérogénéité observée dans le paysage végétal du milieu avec une prédominance de formations boiseuses.

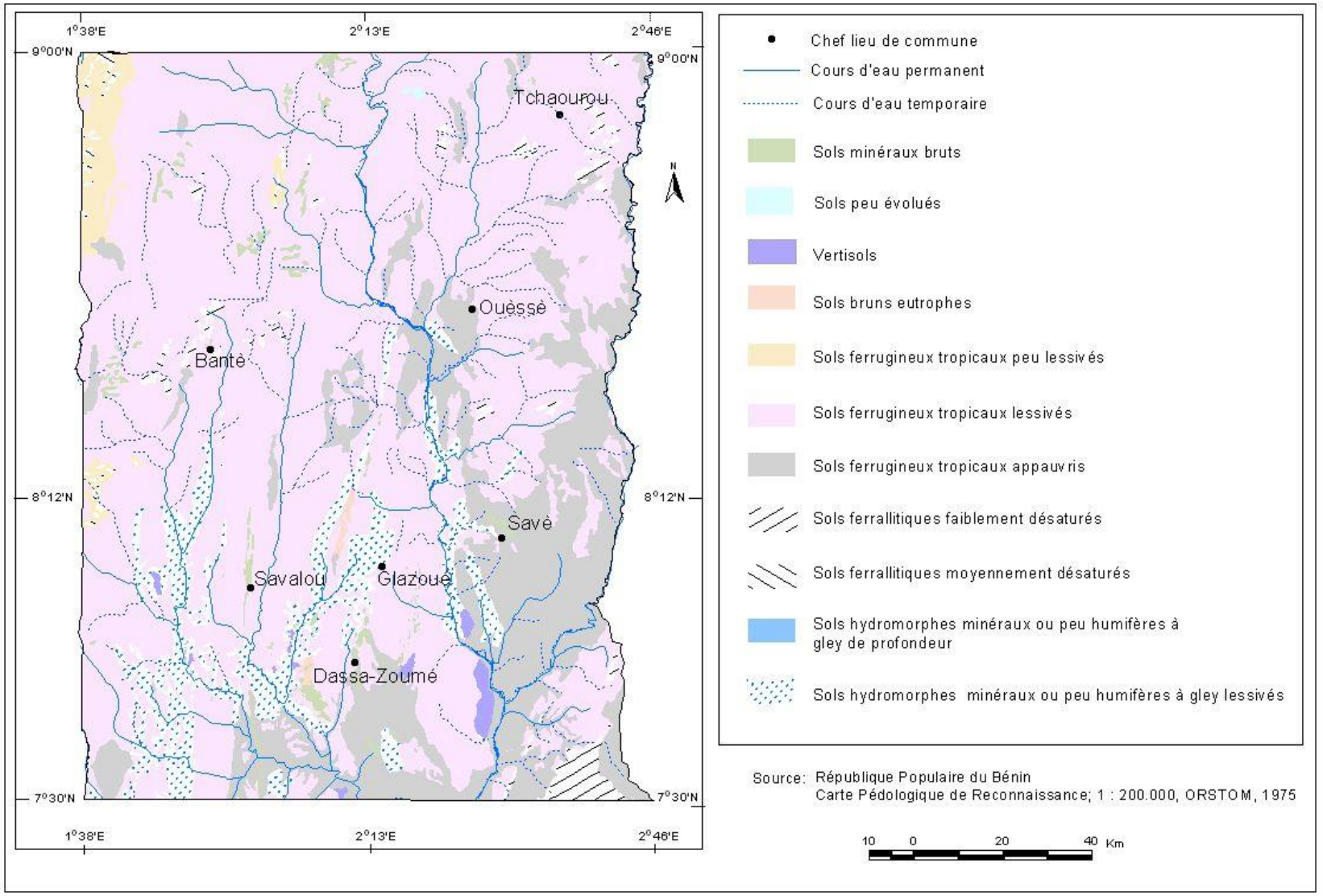


Figure 30: Formations pédologiques du Centre Bénin

3.1.5. Formations végétales du Centre Bénin

Les conditions écologiques du Centre Bénin ont entrainé la présence d'une gamme variée de formations végétales allant des formations denses aux mosaïques de cultures et de jachères. Le paysage est fortement dominé par la savane arborée et arbustive (à plus de 50 %), suivi des champs et jachères et de la forêt claire et savane boisée (figure 31).

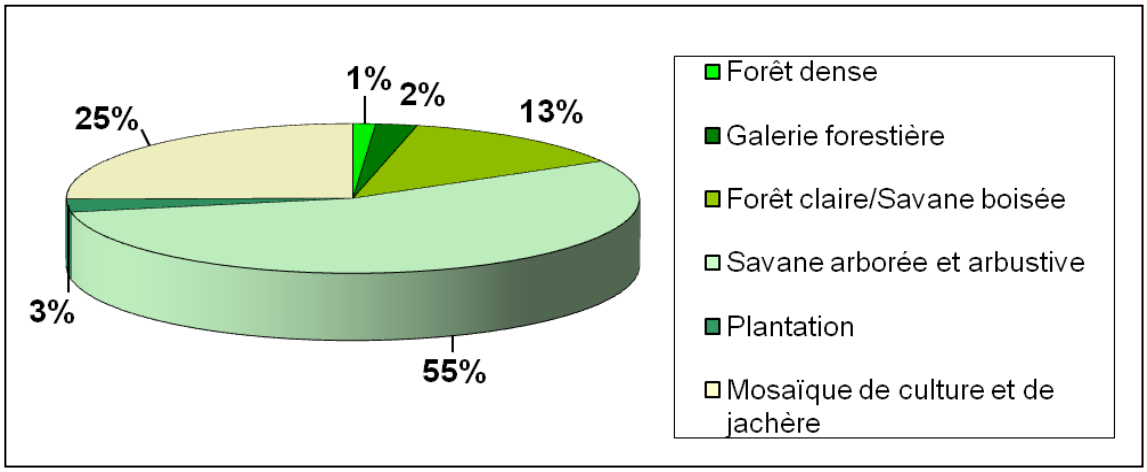


Figure 31: Importance des formations végétales dans le Centre Bénin
Source : Inventaire Forestier National (Sepulchre et al., 2007a)

La diversité floristique du secteur d'étude provient de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques. Le paysage végétal est le reflet du climat de transition soudano-guinéenne expliquant la présence des savanes arborées et arbustives, des forêts claires et savanes boisées et de quelques îlots de forêts denses. A ces dernières s'ajoutent les formations anthropiques (champs, jachères, plantations, etc.). Prenant appui sur Yangambi (1956) et Aubréville (1957), les travaux de l'Inventaire Forestier National ont retenu environ six unités de l'occupation des terres que sont : la forêt dense, la forêt galerie, la forêt claire et savane boisée, la savane arborée et arbustive, les plantations et les mosaïques de cultures et jachères (Photo 2).



2a : Ilot de Forêt dense à Hildegardia barteri, Ficus* spp. et *Anogeissus leiocarpa sur la Colline de Savalou



2b : Forêt galerie à Pterocarpus santalinoides* et à *Lonchocarpus sericeus sur le cours du fleuve Zou



2c : Forêt claire à Vitellaria paradoxa et à Daniella oliveri entre Oke Owo et Igbéré



2d : Savane arborée et arbustive à Daniella oliveri parcouru par des feux de saison sèche vers Igbéré



2e : Champ de Manihot esculenta avec en arrière plan une plantation ouverte de Elaeis guineensis



2f : Jeune plantation d'anacardium occidentale avec en sous bois de jeune plants de Manihot esculenta

Photos 2: Planche de photos (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f) montrant des unités d'occupation et d'utilisation des terres du Centre Bénin (Cliché Oloukoi, octobre 2009)

La photo 2 montre quelques formations végétales dans le Centre du Bénin. Certaines de ces formations sont de plus en plus ouvertes sous l'effet des activités humaines, notamment l'agriculture, l'abattage des arbres pour le bois de chauffe ou pour la production du charbon de bois. Ainsi la végétation du Centre Bénin est dominée par des formations ouvertes de type savanes (figure 32).

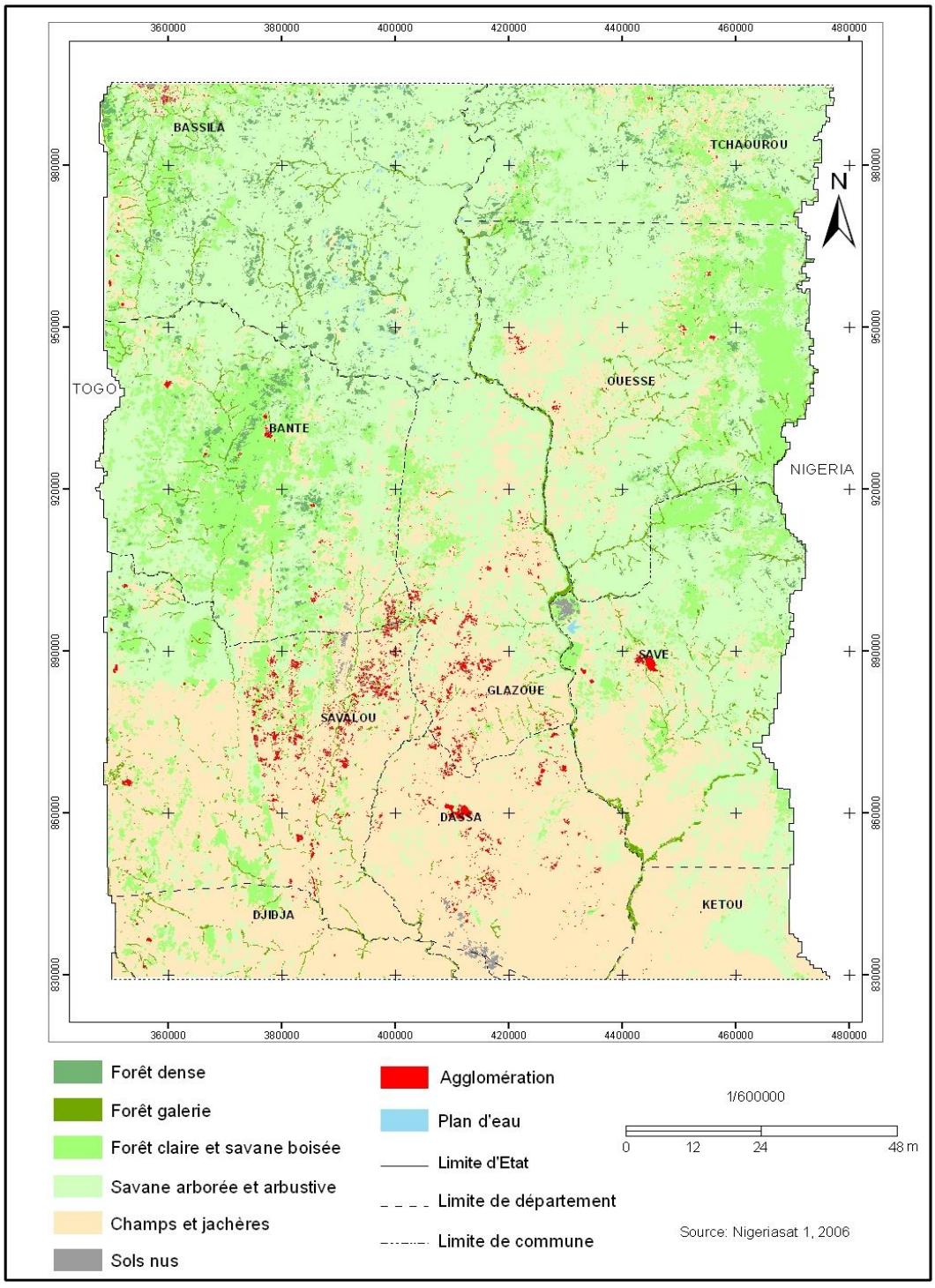


Figure 32: Répartition des formations végétales au Centre du Bénin

3.1.5.1. Forêt dense

La forêt dense est caractéristique des aires protégées et des forêts sacrées. Elle se retrouve sous forme de forêts reliques, éparpillées en îlots çà et là à travers le secteur d'étude. Elle présente un degré de couverture du sol généralement supérieure à 50 % (Yangambi, 1956). Les espèces végétales constituant cette formation sont: *Afzelia africana, Milicia excelsa, Triplochiton scleroxylon, Ceiba pentandra, Khaya senegalensis, Celtis spp., Cola spp., Antiaris africana.* Les formations denses du secteur d'étude sont de plus en plus dégradées et éclaircies à cause d'intenses activités de production de charbon de bois et de l'exploitation forestière à outrance.

3.1.5.2. Forêt galerie

Il s'agit des formations de forme linéaire installées le long des cours d'eau. Elle se présente généralement en quatre strates distinctes:

- la strate arborescente supérieure composée d'arbres de plus de 20 m de haut, avec un tronc de 50 à 80 cm de diamètre, très droit et lisse, sans branches basses
- la strate arborescente inférieure (15-20 m) composée de gros arbres ayant une écorce rugueuse
- la strate arbustive, plus riche en espèces, parmi lesquelles on retrouve des palmiers
- la strate herbacée développée surtout dans le lit majeur où s'accumulent des alluvions.

Ce sont des formations forestières présentes le long des cours d'eau comme l'Ouémé, le Zou, l'Okpara et le Couffo, de même que leurs affluents. La galerie forestière, malgré l'importance du réseau hydrographique occupe une faible proportion spatiale. Les galeries forestières de la zone d'étude présentent l'aspect de forêts ombrophiles et sont constituées de plusieurs espèces végétales dont les plus caractéristiques sont **:** *Triplochiton scleroxylon, Diospyros mespiliformis, Ficus spp., Khaya senegalensis, Anogeissus leiocarpa, Cola cardifolia, Ceiba pentandra, Berlinia grandifolia, Vitex doniana et Elaeis guineensis.* Tout comme les îlots de formations denses, les galeries forestières subissent une dégradation par endroits suite aux activités humaines.

3.1.5.3. Forêt claire et savane boisée

Les forêts claires et les savanes boisées sont des formations plus ou moins ouvertes à peuplement ligneux diversifié. Ces formations végétales sont issues de la dégradation de la forêt dense et se présentent en trois strates distinctes:

- la strate arborée de 12 à 15 m de hauteur en moyenne
- la strate arbustive, composée d'arbustes de 4 à 7 m de hauteur en moyenne contenant les essences au tronc tortueux avec une épaisse écorce
- la strate herbacée dominée par les graminées pouvant atteindre 2 m de hauteur en moyenne. Pendant la saison sèche, la végétation de cette strate est complètement consumée par les feux de brousse.

La forêt claire et savane boisée sont parmi les formations les plus importantes de la zone d'étude. Elles présentent un degré de couverture entre 30 et 50 % et se retrouvent plus à l'est, au nord de Savè, à l'ouest de Ouèssè, dans la Commune de Bantè, et de Bassila. Aussi, elles se retrouvent en îlots dans la Commune de Dassa et de Savalou et au nord de la commune de Kétou (Orekan, 2007b).

Les espèces forestières rencontrées sont *Anogeissus leiocarpa, Vitellaria paradoxa, Daniella oliveri, Isoberlinia doka, Parkia biglobosa, Ceiba pentandra, Milicia excelsa et Combretum spp*.

3.1.5.4. Savane arborée et arbustive

La savane arborée et arbustive est une formation issue de la dégradation des forêts claires et, bien souvent, maintenue par les feux de végétation. Elle est une formation plus ou moins ouverte à peuplement ligneux peu diversifié, se présentant en deux strates :

- la strate arborée de 5 à 12 m de hauteur en moyenne
- la strate herbacée, physionomiquement définie par les graminées est composée d'arbustes et d'arbrisseaux atteignant parfois 3 m de hauteur en moyenne.

Cette formation est la plus étendue dans le Centre Bénin. Elle domine les Communes de Savalou, Savè, Bantè, Ouèssè, Tchaourou et Bassila. Les espèces végétales caractéristiques de ces formations sont *Daniella oliveri, Pterocarpus erinaceus, Isoberlinia doka*, *Vitellaria paradoxa, Combretum spp., Adansonia digitata, Prosopis africana, Burkea africana, Pterocarpus erinaceus, Detarium microcarpum.*

3.1.5.5. Plantation

Les plantations sont d'une envergure spatiale limitée et se présente sous une forme géometrique plus ou moins régulière. Elles occupent une superficie de plus d'une dizaine de milliers d'hectares, soit environ 2 % de la partie centrale du Bénin. Elles se rencontrent à l'Est de Dassa-Zoumè, à l'entrée de Logozohouè, à Bantè et à Toui, et se retrouvent en îlots. Ce sont généralement des plantations *d'Anacardium occidentale*, *Mangifera Indica, Tectona grandis,* etc.

3.1.5.6. Mosaïques de cultures et jachères

Les mosaïques de cultures et jachères constituent la deuxième formation du Centre Bénin, après la savane arborée et arbustive. Elles sont composées des champs cultivés et des espaces laissés en jachère depuis un certain nombre d'annees. Elles occupent environ 25 % de cette partie du pays selon les travaux de l'Inventaire Forestier National. Les espèces végétales caractéristiques des jachères sont: *Daniella Oliveri, Isoberlinia doka, Afzelia africana, Adansonia digitata, Parkia biglobosa, Vitellaria paradoxa, Pteleopsis suberosa, Lonchocarpus cyanescens, Detarium microcarpum, Elaeis guineensis, Mangifera indica*, *Ficus sur,* etc.

Une analyse de la répartition des formations végétales par Commune du Centre Bénin montre que cette partie du pays est dominée par les savanes arborées et arbustives, suivies des mosaïques de champs et jachères (tableau XVII).

Tableau XVII: Répartition des superficies (ha) des formations végétales par Commune au Centre du Bénin

Communes étudiées	Forêt dense	Galerie forestière	Forêt claire/Savane boisée	Savane arborée et arbustive	Plantation	Mosaïque de culture et de jachère
Bantè	4271	4461	63267	153747	23844	13313
Bassila	20981	22023	136058	348168	7944	28150
Dassa	72	1370	7369	61879	269	94822
Djidja	0	4249	10064	78305	2764	117967
Glazoué	120	3828	4746	114289	3705	42296
Savalou	547	5940	35079	123341	5029	93698
Savè	1005	7014	17663	121686	11864	60509
Ouèssè	6604	6635	30870	203272	14322	24500
Tchaourou	4221	12384	75634	376337	13561	187935
Kétou	356	1412	9980	67064	523	86711
Total	**38177**	**69316**	**390730**	**1648088**	**83825**	**749901**

Source : Inventaire Forestier National (Sepulchre et *al.*, 2007b)

En somme, il importe de retenir que le Centre du Bénin regorge de formations végétales variées, mais elles connaissent de plus en plus des dégradations suites aux pressions agricoles et humaines. Ainsi, la tendance est à la dominance des formations ouvertes comme la savane arborée et arbustive, mais aussi des mosaiques de champs et jachères alors que les formations denses connaissent une réduction. Par exemple, il est observé une disparité entre les superficies des formations végétales, avec notamment les cas des Communes de Djidja et de Dassa-Zoumè sur l'état des forêts denses qui n'existent presque plus. Aussi, les Communes de Bantè, Ouèssè et Tchaourou présentent une superficie importante des plantations dont la plupart sont dominées par des espèces comme *Tectona grandis* et *Anacardium occidentale*.

Les caractéristiques biophysiques du Centre Bénin, constituent une assiette sur laquelle s'opèrent les changements dans l'occupation et l'utilisation des terres. Cette assiette oriente d'une manière ou d'une autre les pressions sur les ressources du paysage. Mais ces changements se font aussi sous l'impulsion des facteurs socio-économiques dont le profil est présenté dans la section qui suit.

3.2. Profil socio- économique du Centre Bénin

La présente section décrit l'évolution démographique du secteur d'étude, analyse les densités de population, les différents groupes socio-culturels et les activités socio-économiques dans le Centre Bénin.

3.2.1. Evolution démographique dans le Centre du Bénin

Estimé à environ 253052 habitants en 1979 (RGPH I), l'effectif de la population du secteur d'étude est passé respectivement à 390061 habitants en 1992 (RGPH 2) et à 634838 habitants en 2002 (RGPH 3) (figure 33). Ainsi cette population a connu un taux d'accroissement annuel de 3,5 % entre 1979 et 1992 contre 3,04 % pour tout le territoire national. Entre 1992 et 2002, ce taux est passé à 4,6 % contre 3,23 % pour tout le pays (INSAE, 2003). A l'instar de la tendance nationale, le secteur d'étude compte un nombre de femmes légèrement supérieur à celui des hommes soit environ 310050 hommes contre 324788 femmes (tableau XVIII).

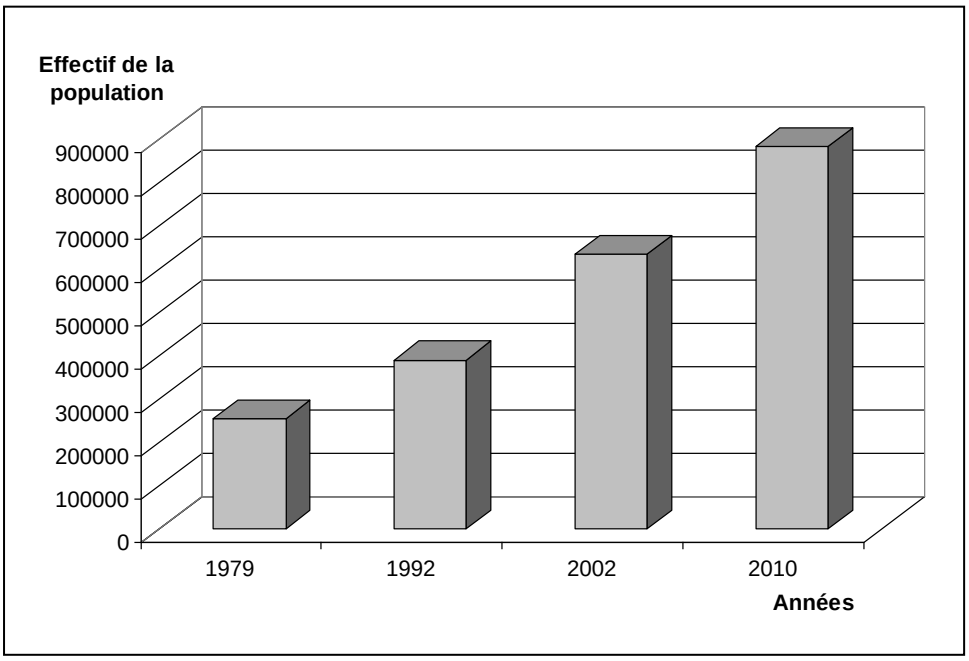


Figure 33 : Evolution de la population du secteur d'étude de 1979 à 2010.
Source : INSAE, 2003a. Projection faite sur 2010 à partir des données des recensements de 1979, 1992 et 2002

Tableau XVIII: Population de la zone d'étude en 2010 et importance agricole

Communes	Nombre de Ménages	Nombre de Ménages agricoles	Population			Population agricole
			M	F	Total	
Tchaourou (Sud)	6632	3881	21797	22586	44383	28537
Kétou (Nord)	3407	2406	9483	10101	19584	14193
Bassila (Sud)	7557	5452	29164	29396	58559	46900
Djidja (Nord)	2566	2267	7342	7619	14961	13854
Bantè	17689	12406	55788	58372	114159	89419
Dassa-Zoumè	24151	17981	62814	67800	130614	106007
Glazoué	22458	17517	60546	65215	125760	105664
Ouèssè	20516	17057	67109	67512	134622	119220
Savalou	29430	18894	69727	75875	145601	102435
Savè	16246	10706	47202	46981	94182	68042
Total	**150654**	**108566**	**430970**	**451455**	**882425**	**694270**

Source : Projection faite sur 2010 sur la base des données du RGPH 2 (1992) et RGPH 3 (2002)

De l'analyse du tableau XVIII, il ressort que la population est agricole à plus de 72 % avec un nombre de ménages agricoles estimé à 78105 sur un total de 108384

ménages du secteur d'étude. Cette importance des ménages dans le secteur agricole influence l'occupation et l'utilisation des terres par l'extension des champs au détriment des formations végétales, l'emploi des pratiques telles que l'écobuage, les feux de végétation et des coupes ou déracinements directs de grands arbres pour la conquête de nouveaux espaces de cultures.

Les différentes données sur l'évolution de la population expriment le caractère dynamique de la démographie dans le centre du Bénin avec une tendance qui suit aussi la tendance nationale. La croissance démographique s'explique par l'évolution naturelle de la population et l'importance remarquée de l'immigration et surtout de la colonisation agricole que connaît cette partie du Bénin. Par exemple, dans les communes de Savè et de Ouèssè, il a été recensé plus d'une centaine d'établissements ou de campements créés par des colons agricoles entre 1974 et 2001 (tableau XIX). Le taux de création de ces établissements et hameaux était de 11,6% entre 1974 et 1988. Ce taux a été évalué à 2% entre 1988 et 2001 car le nombre d'établissements et de campements crées au cours de cette période a baissé. Si cette tendance était maintenue, le nombre d'établissements crées serait passé de 142 en 2001 à 167 en 2010 avec un rythme de création annuel de 2% (tableau XIX).

Tableau XIX: Ampleur de l'immigration des colons agricoles dans le Centre du Bénin

Génération	Nombres d'établissements / Campements	Rythme annuel	Groupes socio-culturels dominants
1ère génération avant 1974	21		Daatcha, Peulh, Lokpa Bètamaribè
2éme génération 1975 à 1988	86	11,6%	Fon, Adja, Yom, Berba, Lokpa, Bètamaribè
3ème génération de 1989 à 2001	35	2%	Fon, Yom, Bètamaribè Berba, Lokpa
Projection entre 2001 et 2010	25	2%	Fon, Yom, Bètamaribè Berba, Lokpa
Total	167		Fon, Yom, Bètamaribè Berba, Lokpa, Peulh, Daatcha

Sources: Chabi (1997), Yabi (2001), projection faite sur 2010 sur la base des observations faites sur le terrain

Il ressort que l'immigration dans le Centre du Bénin a pris de l'ampleur entre 1975 et 1989. A partir des années 1990, il est noté une baisse de création de fermes et de

hameaux mais une extension de ceux existants car l'effectif des colons agricoles a évolué (Yabi, 2001). Selon Mama (2002), les migrants viennent des zones densément peuplées du Nord et du Sud du pays. Environ 59% viennent du Nord Ouest (Donga et Atacora) tandis que 37% viennent du Sud du pays.

3.2.2. Analyse de la densité de la population

La densité de la population est estimée entre 24 et plus de 83 habitants au km^2 pour les Communes ayant fait l'objet d'analyses dans le cadre de cette thèse. La figure 19 montre que les Communes de Tchaourou, Bassila, Kétou et Djidja présentent une densité de population plus faible comprise entre 24 et 40 habitants au km^2. Ces Communes présentent encore des réserves foncières plus importantes permettant aux agriculteurs d'exploiter extensivement les terres suivant le système de l'agriculture itinérante sur brûlis. Quant aux Communes de Bantè, Savè, Ouèssè et Savalou, elles présentent une densité supérieure à 40 habitants au km^2. Les fortes densités (supérieures à 60 habitants au km^2) sont notées dans les Communes de Dassa-Zoumé et de Glazoué (figure 34).

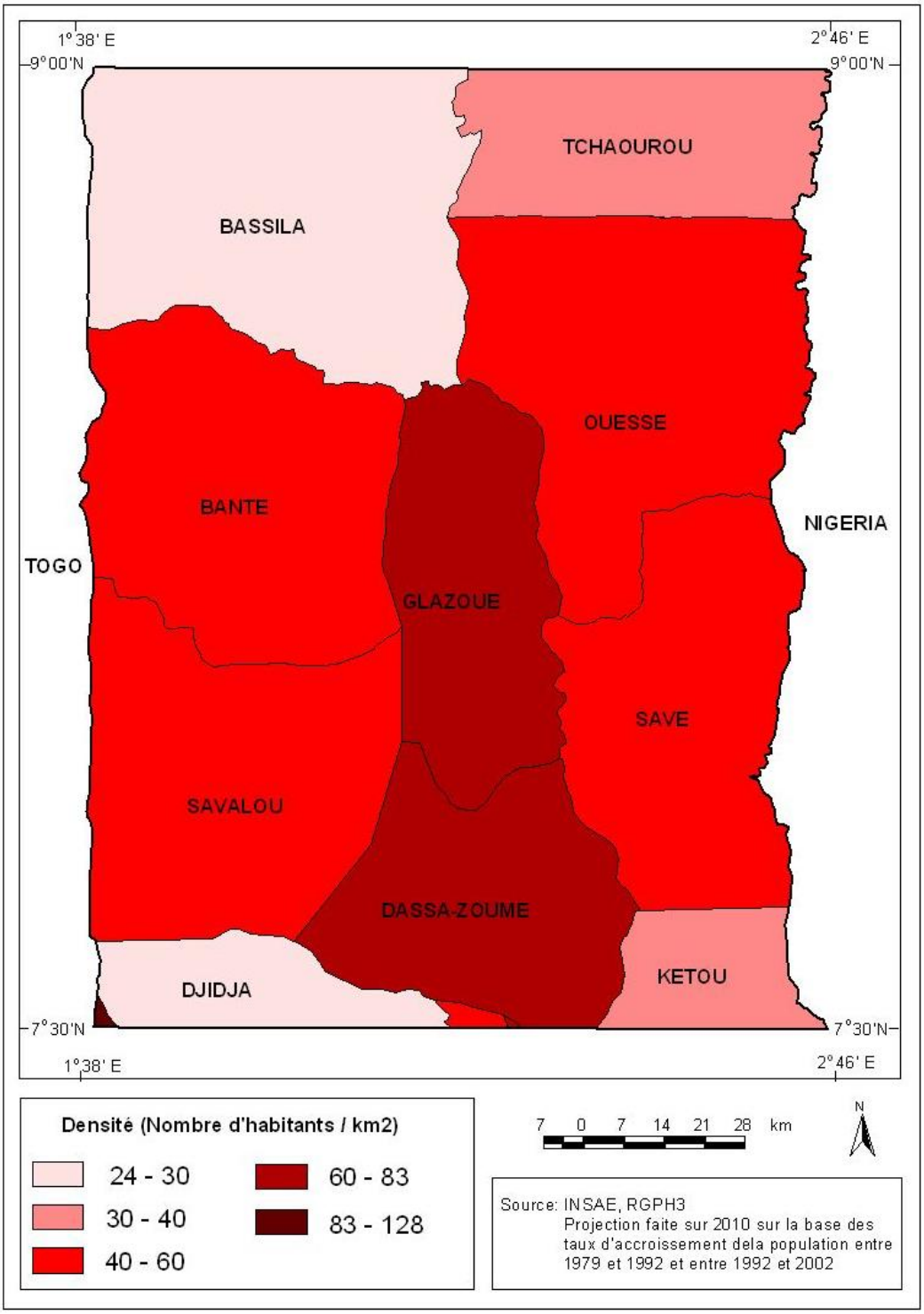


Figure 34: Densité de population de la zone d'étude

3.2.3. Groupes socioculturels

Le secteur d'étude présente une diversité socio-culturelle liée à la répartition spatiale de la population. On y note une forte hétérogénéité sociale et la répartition

géographique de la population se trouve marquée par une base ethnique. De façon générale, les groupes socioculturels rencontrés sont les suivants:

- le groupe des Yoruba et apparentés : ce groupe est composé des Tchabè (présents dans les Communes de Savè, Ouèssé, Tchaourou), des Idaïtcha qui peuplent les Communes de Dassa-Zoumé et Glazoué, des Ica et Ifè présents à Bantè et les Manigri concentrés dans la Commune de Bassila. Ce groupe constitue environ 43% de la population du Centre Bénin ;
- le groupe des Fon et apparentés : dans ce groupe, l'on retrouve les Mahi des Communes de Savalou, Glazoué, Dassa-Zoumé (Paouignan) et Ouèssè. De même, il y a aussi les Fon (venu du plateau d'Abomey) qui sont présents sur toute l'étendue de la région notamment à Savè et Ouèssè, Bantè, Nord de kétou, etc., en quête des terres fertiles pour l'agriculture. Ce sont en réalité des ''colons agricoles'' qui quittent de plus en plus le sud pour migrer vers le Centre du Bénin. C'est le second groupe le plus important du secteur d'étude (environ 32 %) du point de vue du poids démographique (figure 35) ;
- le troisième groupe est constitué des Baatombu et sont majoritairement présents dans la Commune de Tchaourou. La production agricole notamment la culture de l'anacardier en association avec les cultures saisonnières dont le coton constitue l'essentiel de leurs activités économiques (Yabi, 2007) ;
- les autres groupes sont constitués de colons agricoles qui s'adonnent essentiellement aux cultures annuelles. Ce sont les peulh, les Yom, les Yoa-Lokpa, les Gua, les Adja, les Dendi et apparentés.

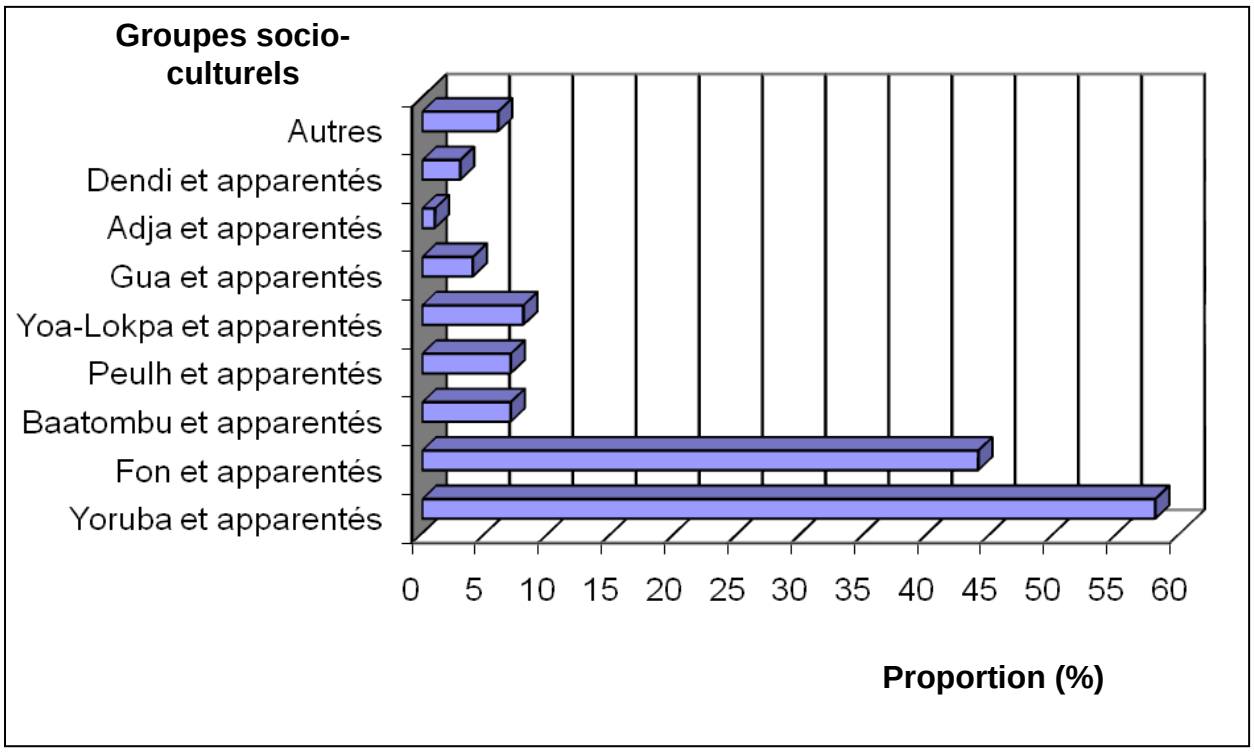


Figure 35: Proportion des groupes socio-culturels dans le Centre du Bénin
Source : Projection faite sur 2010 sur la base du RGPH3 (2002)

Ces différents groupes socio-culturels ont pour activité principale, l'agriculture qui est la base de l'économie dans le Centre du Bénin. Aussi, cette diversité socio-culturelle et socio-linguistique a-t-elle introduit de nouvelles formes d'occupation et d'utilisation des terres qui contrastent plus ou moins avec les réalités traditionnelles du milieu notamment en ce qui concerne les pratiques agricoles. Ces groupes socio-culturels présentent différentes techniques culturales qui affectent différemment les ressources environnementales. Cependant, ils contribuent pour une large part au développement économique du milieu.

3.2.4. Caractéristiques de l'économie du Centre du Bénin

L'économie du secteur d'étude repose essentiellement sur l'agriculture. Les principales cultures pratiquées sont: *Zea mays* (maïs), *Arachis hypogaea* (arachide), *Manihot esculenta* (manioc), *Vigna unguiculata* (voandzou), *Sorghum bicolor* (sorgho), *Anacardium occidentale* (anacardier) et *Oriza sativa* (riz) cultivé dans les bas-fonds avec l'appui des grands programmes de développement agricole proposés par le gouvernement. Les populations du Centre Bénin se consacrent

essentiellement à l'agriculture à près de 79% et au commerce (environ 20 %) (INSAE, 2003).

Environ 94 % des personnes interrogées considèrent que l'agriculture constitue leur principale activité économique. Cette activité constitue la première source de revenu de plus de 63 % des personnes enquêtées. Plus de 6 % s'adonnent aux autres activités telles que le commerce, la transformation, l'élevage, la pêche et l'artisanat.
Le commerce repose surtout sur la distribution de denrées alimentaires, de produits manufacturés et de produits d'exportation tels que les noix d'anacarde et le piment. Le marché de Glazoué constitue le plus important marché du secteur d'étude et aussi l'un des plus grands marchés du Bénin. Ce marché, véritable carrefour de vente des produits vivriers de toute nature est fréquenté par les commerçants aussi bien nationaux qu'étrangers (notamment du Niger et du Togo). Les activités commerciales concernent la vente des produits agricoles d'une part et la vente d'articles importés d'autre part. Tout le secteur entretient des échanges commerciaux avec le Nigeria notamment avec la vente de l'essence frelatée communément appelée 'Kpayo' mais aussi dans la friperie, la vente des tissus et aussi des produits électroniques venant du même pays. Du côté Ouest, un commerce florissant se développe avec le Togo dans les échanges des produits agricoles dans les localités frontalières que sont Bantè, Tchetti et Bassila.

L'élevage reste peu développé et se pratique toujours à l'état traditionnel. Les espèces d'élevage rencontrées sont les bovins et ovins, les caprins, les porcins et la volaille. On y rencontre des troupeaux transhumants et semi-nomades venant généralement du Nigeria. Ces troupeaux arrivent pendant la saison sèche, séjournent temporairement dans le secteur d'étude précisément dans les localités de Konkondji (Savalou), le long des cours d'eau *Ouémé, Zou et Okpara*. Selon les enquêtes de terrain, l'élevage occupe plus de 13% des personnes interrogées.

L'artisanat est encore à l'état informel. On retrouve des artisans du cuivre, des sculpteurs. Aussi, existe-t-il des centres de métiers comme le tissage, la couture, la fabrication des pièces de rechange des pompes hydrauliques et de nombreuses unités de transformation des produits agricoles, etc.
La pêche est peu développée et se pratique le long des principaux cours d'eau notamment *l'Ouémé* et ses affluents que sont le *Zou* et *l'Okpara*.

Quant au secteur industriel, il reste encore très modeste malgré la présence de quelques unités de productions et de transformation telles que l'usine d'égrenage de Glazoué , l'usine d'égrenage de Savalou, l'usine d'égrenage de Pahouignan (Dassa), l'usine d'égrenage de Zinzinkanmè (Savalou) et la SUCOBE (Savè).

L'exploitation forestière a pris de l'ampleur ces dernières années dans le Centre du Bénin , avec pour cible principale, les réserves forestières dans la zone du confluent de l'Okpara, et les forêts classées de la zone. Ainsi, les forêts villageoises sont exploitées pour la production du bois d'œuvre, du bois de chauffe et la production du charbon de bois (Edea, 2002). Ces produits sont destinés à la vente dans les grands marchés locaux, mais surtout les grands marchés urbains du sud, notamment Bohicon et Cotonou (Sepulchre et a*l*., 2007b). La figure 36 présente le profil économique du Centre Bénin, indiquant l'importance des populations dans chaque catégorie d'activité économique.

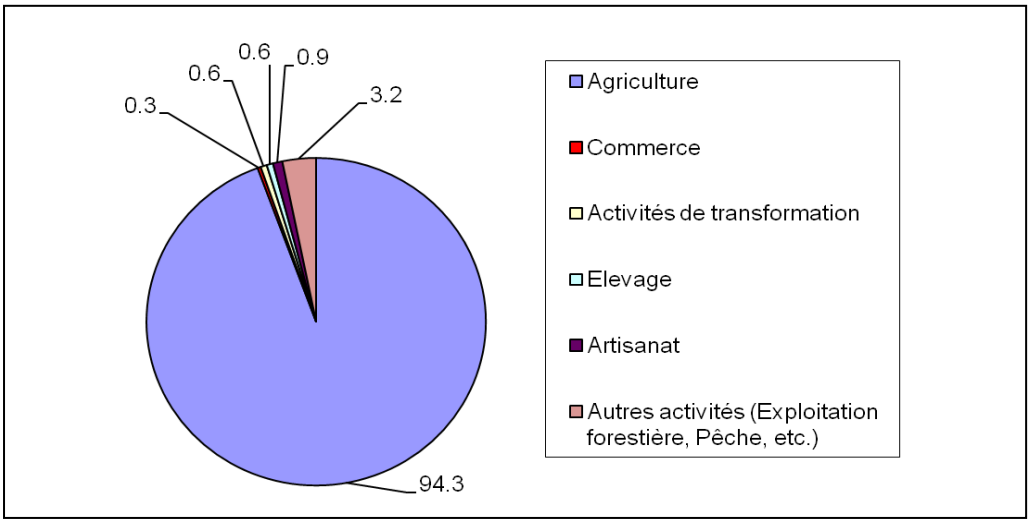


Figure 36: Importance (%) de la population dans les différents secteurs économiques dans le Centre du Bénin

Source: Enquêtes de Terrain, Octobre - Novembre, 2009

Il importe de retenir que le secteur économique du Centre Bénin regroupe l'agriculture, l'élevage, la pêche, la pisciculture, le commerce, les mines, l'industrie, l'artisanat, les ressources naturelles et le tourisme. Avec toutes les politiques et les programmes de développement proposés et mis en application par les différents régimes politiques jusqu'à nos jours, l'agriculture a occupé une place de choix. Les populations ont été à un moment donné, portées vers les cultures de subsistance qui leur permettent de répondre aux exigences de l'auto alimentation de leurs différents ménages. De nos jours, en conservant toujours cet objectif de l'autosuffisance

alimentaire, les paysans orientent une partie de leur production vers les cultures de rente que sont *Gossypum arboreum*, *Anacardium occidentale*, etc. Ce faisant, ils sont soumis aux réalités mondiales qui ne leur facilitent pas toujours l'existence, à cause des fluctuations régulières observées sur le marché international et dont le pays n'a pas le contrôle. En dehors de ces problèmes structurels dont ils sont victimes, les systèmes de culture restent toujours problématiques pour l'environnement en ce sens qu'ils sont consommateurs d'espace, du fait de la technique de l'agriculture itinérante sur brûlis. Ces pratiques occupent une part importante dans la dynamique de l'occupation des terres.

Au total, le milieu biophysique constitue l'assiette ou le support de l'occupation des terres et influence cette dernière tandis que le milieu socio-économique est le creuset des déterminants anthropiques qui exercent une pression remarquable sur le milieu (figure 37).

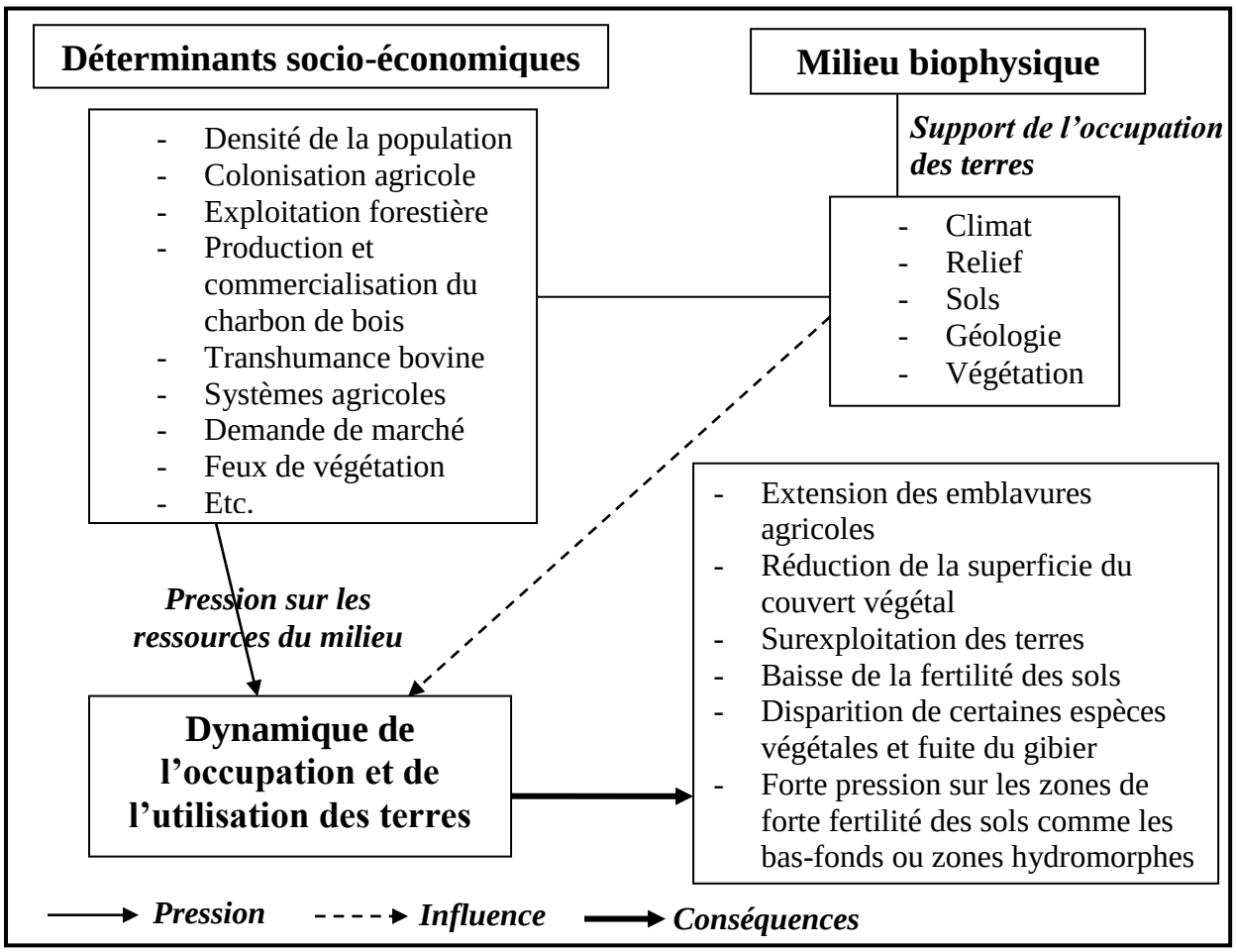


Figure 37: Diagramme systémique des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres

Le milieu socio-économique exerce une pression sur les ressources du milieu et participe de ce fait à la dynamique du paysage avec pour conséquence majeure la dégradation des ressources naturelles du milieu dont essentiellement la végétation.

CONCLUSION PARTIELLE

La problématique et la justification du sujet, la clarification des concepts et la synthèse bibliographique existante sur le sujet, ont permis de comprendre les notions de l'occupation des terres, de l'utilisation des terres et des facteurs de leurs dynamiques d'une part. Cette synthèse bibliographique a permis d'appréhender aussi les différentes approches méthodologiques d'étude de la dynamique de l'occupation des terres.

L'approche méthodologique adoptée dans cette étude repose sur l'acquisition des données primaires et secondaires, le traitement et l'analyse de ces données sur la base des principes de la télédétection satellitale et des Systèmes d'information Géographique, et les investigations socio-économiques. Elle a combiné le modèle cartographique et d'analyse des mutations de l'occupation des terres, et le modèle socio-économique qui intègre les facteurs et les implications socio-économiques de la dynamique du paysage.

Les caractéristiques biophysiques du milieu sont celles d'un climat de transition entre le climat subéquatorial du sud et le climat soudanien du nord, de la pénéplaine cristalline faisant suite au continental terminal du Bas-Bénin, des formations végétales variées dominées par des savanes, d'un réseau hydrographique fourni. Les sols sont dominés par les formations ferrugineuses et ferralitiques généralement favorables à l'agriculture. Les conditions socio-économiques du milieu dans lesquelles les dynamiques de l'occupation et de l'utilisation des terres s'opèrent dans le Centre du Bénin sont marquées par une diversité de groupes socioculturels, une évolution démographique croissante et une densité de population variant d'une Commune à l'autre. L'agriculture est la principale activité économique du milieu.
Ce profil biophysique et socio-économique contribue à la dynamique de l'occupation des terres.

Deuxième Partie

DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES, FACTEURS ET IMPLICATIONS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES AU CENTRE DU BENIN

CHAPITRE QUATRIEME

ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES: TENDANCES ACTUELLES ET SCENARIOS DE CHANGEMENT

Le quatrième chapitre présente une étude quantitative et qualitative de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin. Dans un premier temps, la précision thématique des résultats issus de la classification sera analysée. Deuxièmement les superficies des unités de l'occupation des terres seront analysées, de même que les taux de changement et les matrices de transition et de probabilité.

4.1. Précision thématique des données de l'occupation des terres

Les résultats de la classification des différentes images satellitales utilisées pour la dynamique de l'occupation des terres, ont montré huit classes d'occupation des terres que sont : les forêts denses, les forêts galeries, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives, les champs et jachères, les agglomérations, les sols nus et roches exposées, et les plans d'eau.

4.1.1- Précision de la classification de l'image TM 1986

Le tableau XX présente la matrice de confusion de l'image TM de 1986 et le niveau de fiabilité. L'analyse de cette matrice révèle de confusions mineures observées entre :

- les sols nus et les champs et jachères et les agglomérations ;
- les galeries forestières et les forêts denses ;
- les forêts claires et savanes boisées et les savanes arborées et arbustives ;
- les savanes arborées et arbustives et les forêts galeries.

Tableau XX: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image TM 1986

	Cartographie								Total	IPC (%)	IVC (%)
Terrain	Cja	Sn	Fd	Fcsb	Saa	Fg	Agg	Pe			
Cja	3678	2	0	0	11	20	12	0	3723	97,6	98,8
Sn	40	217	0	0	0	1	83	0	341	81,6	63,6
Fd	0	0	488	7	1	81	0	0	577	95,3	84,6
Fcsb	0	0	8	316	106	5	0	0	435	81,7	72,6
Saa	6	3	0	9	3673	113	3	3	3810	91,6	96,4
Fg	41	0	16	53	217	1689	0	27	2043	87,2	82,7
Agg	2	44	0	2	0	0	1469	0	1517	93,7	96,8
Pe	0	0	0	0	3	27	0	931	961	96,9	96,7
Total	3767	266	512	387	4011	1936	1567	961	**13407**	**90,7**	**86,5**
Indice Kappa											**0,81**

Cja : Champs et Jachères ; Sn : Sols nus et Roches exposées ; Fd : Forêt dense ; Fcsb: Forêt claire et Savane boisée ; Saa: Savane arborée et arbustive ; Fg : Forêt galerie ;
Agg: Agglomération ; Pe : Plan d'eau. **IPC**: Indice de Pureté des Classes, **IVC**: Indice de Validation Cartographique

Parmi les classes retenues, seuls les plans d'eau, et les champs et jachères n'ont pas connu de grande confusion avec les autres unités. En effet, ces classes présentent de moindres erreurs de commission et d'omission. Par contre, d'autres, comme par exemple la forêt galerie, la forêt claire et savane boisée et les sols nus, présentent de forts pourcentages d'erreurs de commission compris entre 12 et 17 % (tableau XXI).

Tableau XXI: Erreur d'omission et de commission de la classification de TM 1986

Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de commission ou de confusion (%)
Cja	1,2	2,4
Sn	36,4	14,4
Fd	15,4	4,2
Fcsb	27,3	16,3
Saa	3,6	8,8
Fg	17,6	12,1
Agg	3,2	6,5
Pe	3,1	3,1

La confusion notée entre les différentes classes des formations végétales est possiblement liée au fait que la cartographie utilise une image prise pendant la saison sèche, période où la biomasse de ces milieux se ressemble, à l'exception des

galeries forestières qui peuvent présenter encore de la verdure à cause de la proximité des cours d'eau. Malgré les confusions notées entre ces unités, l'indice Kappa est évalué à 81 % et la précision cartographique à plus de 86%, ce qui permet d'accepter, le résultat de cette classification.

4.1.2- Précision de la classification de l'image ETM 2000

L'analyse de la matrice de confusion révèle les observations suivantes (tableau XXII):

- forte confusion entre les sols nus et les agglomérations. Près de 412 pixels des sols nus ont été classés comme agglomérations ;
- forte confusion entre la forêt dense et la forêt galerie. Près de 450 pixels des forêts denses ont été classés comme forêts galeries ;
- forte confusion entre la forêt claire et savane boisée et la forêt galerie. 349 pixels de forêt claire et savane boisée sont allés dans la forêt galerie.

Tableau XXII: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image ETM de 2000

	Cartographie								**Total**	**IPC**	**IVC**
Terrain	Cja	Sn	Fd	Fcsb	Saa	Fg	Agg	Pe			
Cja	2161	9	1	0	0	0	15	8	2194	95,5	98,5
Sn	0	728	0	0	0	0	412	0	1140	89,1	63,9
Fd	10	0	972	16	7	450	0	13	1468	81,7	66,2
Fcsb	0	0	15	809	80	349	0	15	1268	69,4	63,8
Saa	91	0	30	174	1219	6	10	0	1530	93,3	79,7
Fg	0	0	171	167	0	1122	0	10	1470	58,2	76,3
Agg	0	80	0	0	0	0	2351	0	2431	84,3	96,7
Pe	0	0	0	0	0	0	0	1702	1702	97,4	100
Total	2262	817	1189	1166	1306	1927	2788	1748	**13203**	**83,6**	**80,6**
Indice Kappa											**0,81**

Cja : Champs et Jachères ; Sn : Sols nus et Roches exposées ; Fd : Forêt dense ; Fcsb: Forêt claire et Savane boisée ; Saa: Savane arborée arbustive ; Fg : Forêt galerie; Agg: Agglomération ; Pe : Plan d'eau. **IPC**: Indice de Pureté des Classes, **IVC**: Indice de Validation Cartographique

Les erreurs d'omission et les erreurs de commission montrent une forte confusion à plus de 50 % des forêts galeries avec les autres formations végétales, suivies des forêts claires et savanes boisées à plus de 28 % (tableau XXIII). Par ailleurs les champs et jachères, les plans d'eau, les savanes arborées arbustives et les sols nus

ont été bien classés, car présentant des pourcentages d'erreurs de confusion relativement faibles.

Tableau XXIII: Erreur d'omission et de commission de la classification de ETM 2000

Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de commission ou de confusion (%)
Cja	1,5	4,6
Sn	3,6	7,8
Fd	3,4	14,8
Fcsb	3,6	28,1
Saa	20,3	5,7
Fg	23,7	54,8
Agg	3,3	18
Pe	0	2,7

Malgré les confusions observées, les résultats obtenus présentent une précision cartographique de plus de 80 %, un indice Kappa indiquant un accord presque parfait entre la classification et la vérité terrain à 81 %, et une pureté des classes d'occupation des terres à plus de 83 %.

4.1.3- Précision de la classification de l'image NigeriaSat1, 2006

La matrice de confusion (tableau XXIV) révèle :

- de grandes confusions entre les sols nus et les agglomérations, par la classification de 173 pixels comme agglomérations ;
- des confusions entre la forêt dense et la forêt galerie, qui se traduisent par la commission de 376 pixels de forêt dense comme galerie forestière ;
- des confusions entre les forêts claires et savanes boisées et la forêt galerie ;
- des confusions entre la forêt galerie et la forêt dense, la forêt claire, et la savane arborée et arbustive ;
- des confusions entre des pixels des agglomérations et ceux des champs et jachères ;

Tableau XXIV: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image NigeriaSat1 de 2006

	Cartographie								Total	IPC	IVC
Terrain	Cja	Sn	Fd	Fcsb	Saa	Fg	Agg	Pe			
Cja	1874	1	0	9	52	43	0	0	1979	86,9	94,7
Sn	3	70	0	0	0	0	173	0	246	79,5	28,5
Fd	0	0	575	62	0	376	0	0	1013	77,6	56,8
Fcsb	17	0	7	880	0	166	0	0	1070	78,9	82,2
Saa	115	0	0	6	7203	15	0	1	7340	92,3	98,1
Fg	0	0	159	157	208	1191	0	3	1718	66,3	69,3
Agg	147	17	0	1	0	0	180	0	345	51	52,2
Pe	0	0	0	0	342	5	0	146	493	97,3	29,6
Total	2156	88	741	1115	7805	1796	353	150	**14204**	**78,7**	**63,9**
Indice Kappa										**0,78**	

Cja : Champs et Jachères ; Sn : Sols nus et Roches exposées ; Fd : Forêt dense ; Fcsb: Forêt claire et Savane boisée ; Saa: Savane arborée arbustive ; Fg : Forêt galerie;
Agg: Agglomération ; Pe : Plan d'eau.
IPC: Indice de Pureté des Classes, **IVC**: Indice de Validation Cartographique

Les confusions observées au niveau du résultat de la classification résultent de la qualité de cette image qui est moyenne par rapport aux images Landsat utilisées en 1986 et 2000. La confusion au niveau des formations végétales s'explique par l'état de la biomasse à cette période de l'année (novembre 2006) qui est le début de la saison sèche.

Des erreurs d'omission sont très élevées avec les sols nus et les plans d'eau (tableau XXV). Dans l'analyse de la matrice de confusion, il a été remarqué qu'une grande partie des sols nus est allée dans les agglomérations à cause de la ressemblance dans les signatures spectrales. Le niveau d'erreur d'omission relevée au niveau des plans d'eau (plus de 70%) s'explique par la confusion avec les savanes arborées et arbustives qui, une fois brûlées par les feux de végétation, présentent une signature spectrale qui s'apparente plus ou moins à celle des plans d'eau troubles.

De façon générale, la précision cartographique est évaluée à près de 64%, l'indice Kappa 78%, ce qui indique que le niveau de fiabilité de la classification est acceptable.

Tableau XXV: Erreur d'omission et de commission de la classification de NigeriaSat1 2006

Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de commission ou de confusion (%)
Cja	5,3	14,2
Sn	71,5	7,3
Fd	43,2	15,5
Fcsb	17,6	22
Saa	1,9	8,2
Fg	30,7	35,5
Agg	47,8	50,1
Pe	70,3	0,8

Le niveau de fiabilité a été amélioré par les travaux de terrain au cours desquels trente points GPS de confirmation ont été pris au niveau de chaque unité de l'occupation des terres, pour atténuer les confusions observées. Par conséquent, les unités d'occupation des terres ont été acceptées et leur superficie dérivées et utilisées pour l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres.

4.2. Analyse de la dynamique de l'occupation des terres

Les informations sur la dynamique de l'occupation des terres sont présentées sur des cartes du secteur d'étude extraites des feuilles topographiques au 1/200000. Ainsi pour chaque période à savoir 1986, 2000 et 2006, neuf (9) cartes d'occupation des terres sont produites à des échelles de 1/500000 pour certaines cartes et de 1/600000 pour d'autres, les superficies couvertes par chaque carte n'étant pas les mêmes. De même, les superficies des unités de l'occupation des terres ont été évaluées, et les taux de changement calculés sur deux périodes de temps (1986 à 2000 et de 2000 à 2006).

4.2.1- Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Savè

Dans la partie Nord Est de la feuille de Savè, l'analyse de l'évolution des unités de l'occupation des terres révèle que de 1986 à 2000, il y a eu une évolution des agglomérations, champs et jachères, des forêts claires et savanes boisées et de la savane arborée arbustive. Par contre la superficie des unités comme les forêts denses, les forêts galeries, a considérablement été réduite. Entre 2000 et 2006, les

mêmes observations ont été faites, à l'exception des forets claires et savanes boisées qui ont régressé de 1,85%. La moyenne du taux de changement annuel de cette partie du secteur d'étude est estimée à -3,69% (tableau XXVI).

Tableau XXVI: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Nord Est

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	336	939	1349	6,85	5,18
Champs et Jachères	18180	58961	60039	7,84	0,26
Forêt Claire/ Savane boisée	4267	58013	50952	17,40	-1,85
Forêt dense	81905	8011	5847	-15,50	-4,50
Plan d'eau	276	198	95	-2,21	-10,49
Savane arborée et arbustive	28355	27676	38674	-0,16	4,78
Sols nus et roches exposées	7695	3192	133	-5,87	-45,40
Forêt galerie	17970	1994	1895	-14,66	-0,73
Total	158984	158984	158984	-6,3	-52,76
Moyenne				-0,79	-6,59

Sup = Superficie

La feuille de Savè NE couvre le Nord Est de la Commune de Ouèssè et le Sud Est de celle de Tchaourou (figure 38).

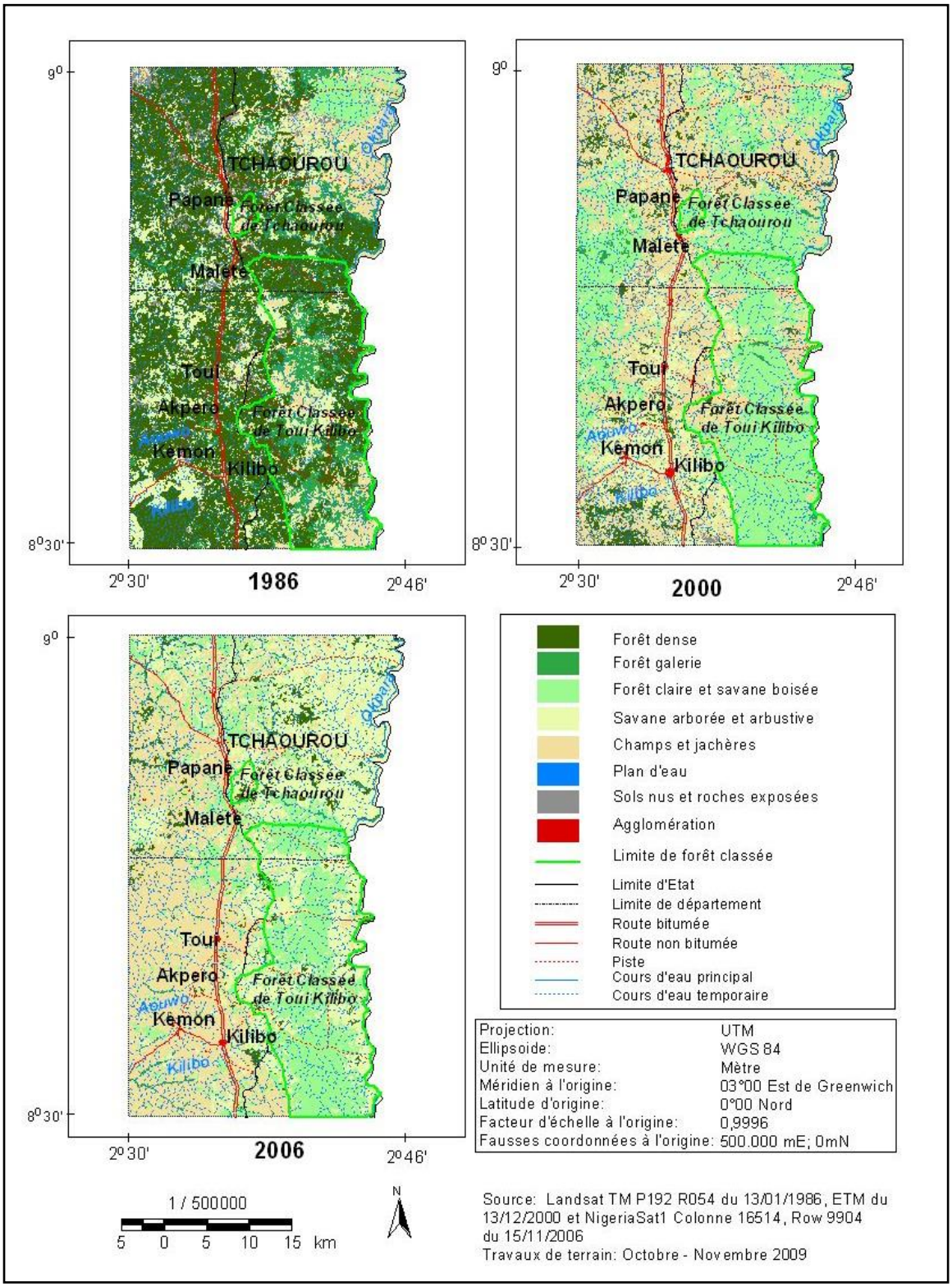


Figure 38: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Nord Est en 1986, 2000 et 2006

Au Nord Ouest de Savè, l'analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, révèle une extension des agglomérations, des champs et jachères et des savanes arborées et arbustives entre 1986 et 2006. Par contre la forêt dense et la

forêt galerie ont connu une régression sans interruption. Ces observations expliquent les taux de changement de 3,14% pendant la première période, et de -9,21% pour la deuxième période, soit un taux de changement moyen estimé à -3,04% (tableau XXVII).

Tableau XXVII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Nord Ouest

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	706	812	929	0,93	1,92
Champs et Jachères	6322	118712	124534	19,55	0,68
Forêt Claire/ Savane boisée	904	112023	13778	32,13	-29,94
Forêt dense	181338	13590	14557	-17,27	0,98
Plan d'eau	933	2011	2238	5,12	1,53
Savane arborée et Arbustive	57171	41877	144039	-2,08	17,65
Sols nus et roches exposées	7699	4984	117	-2,90	-53,60
Forêt galerie	49322	10386	4203	-10,39	-12,92
Total	304395	304395	304395	25,10	-73,69
Moyenne				**3,14**	**-9,21**

La feuille de Savè NO couvre le Sud Est de la Commune de Bassila, le Nord Ouest de celle de Ouèssè, le Sud Ouest de celle de Tchaourou (figure 39).

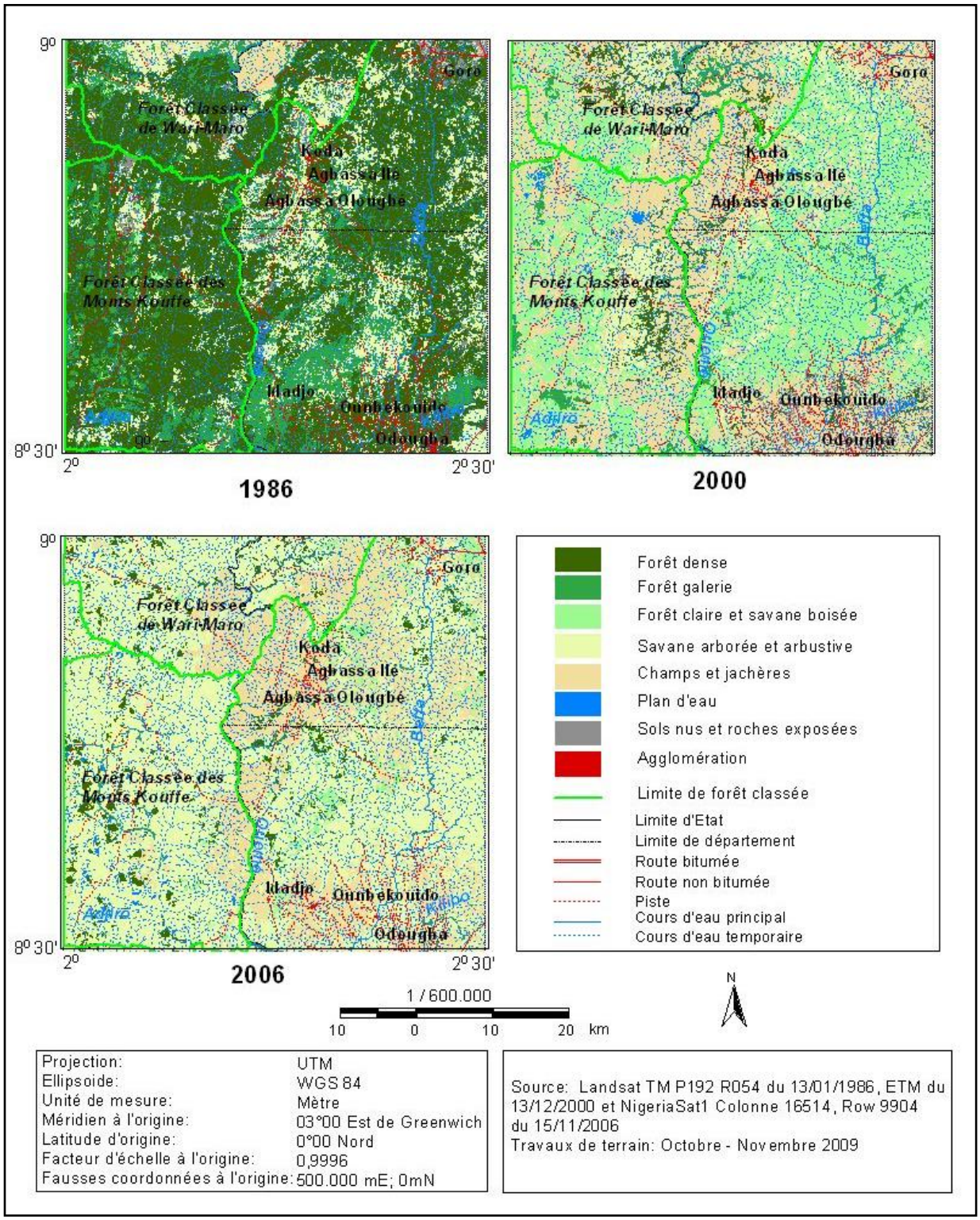


Figure 39: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006

Au Sud Est de Savè, il est observé un fort taux d'extension des espaces bâtis, de la savane arborée et arbustive, et des des surfaces cultivées, une régression des formations denses, des sols nus. Les taux de changements moyens sont positifs

pour la période allant de 1986 à 2000 et négatif pour la deuxième période (tableau XXVIII).

Tableau XXVIII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Sud Est

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	517	530	744	0,17	4,85
Champs et Jachères	26787	18167	32363	-2,59	8,25
Forêt Claire/ Savane boisée	294	68583	37340	36,35	-8,69
Forêt dense	35309	4776	3158	-13,34	-5,91
Plan d'eau	245	207	70	-1,12	-15,49
Savane arborée et arbustive	28928	36594	59711	1,57	6,99
Sols nus et roches exposées	1160	2587	61	5,35	-53,53
Forêt galerie	44562	6358	4355	-12,98	-5,41
Total	137802	137802	137802	13,40	-68,93
Moyenne				1,67	-8,62

La feuille de Savè SE couvre le Nord Est de la Commune de Savè et Sud Est de celle de Ouèssè (figure 40).

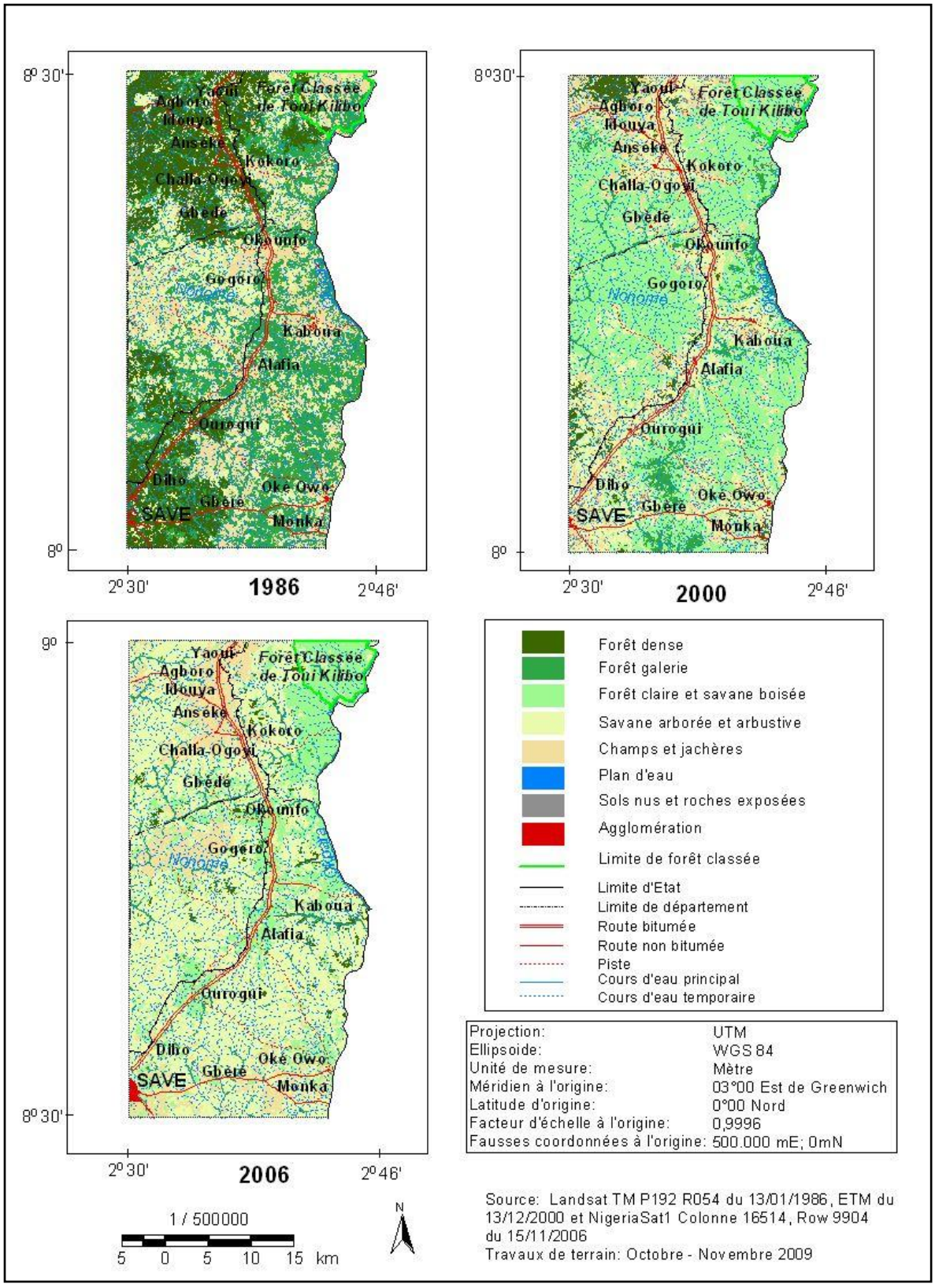


Figure 40: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Sud Est en 1986, 2000 et 2006

Au Sud Ouest de Savè, la dynamique de l'occupation des terres se caractérise par une augmentation des superficies des espaces bâtis de 1986 à 2006, des champs et

jachères, des forêts claires et savanes boisées entre 1986 et 2000, des savanes arborées et arbustives. De même, il a été observé une réduction des formations forestières comme les forêts galeries, et les forêts denses. Ainsi, cette dynamique s'est faite avec une progression de 5,2% entre 1986 et 2000 et une régression de plus de 10% entre 2000 et 2006 (tableau XXIX).

Tableau XXIX: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Sud Ouest

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	1431	1648	4731	0,94	15,07
Champs et Jachères	5888	93971	115752	18,47	2,98
Forêt Claire/ Savane boisée	585	57738	24033	30,61	-12,52
Forêt dense	228051	23120	1471	-15,26	-39,35
Plan d'eau	856	2005	341	5,67	-25,31
Savane arborée et arbustive	30754	97784	149423	7,71	6,06
Sols nus et roches exposées	19230	22536	2078	1,06	-34,05
Forêt galerie	17878	5871	6844	-7,42	2,19
Total	304673	304673	304673	41,78	-84,94
Moyenne				**5,22**	**-10,62**

La feuille de Savè SO couvre l'Est de la Commune de Bantè, le Sud Ouest celle de Ouèssè, la majeure partie de la Commune de Glazoué du nord jusqu'à la latitude de la ville de Glazoué, et puis l'Est de la Commune de Savè (figure 41).

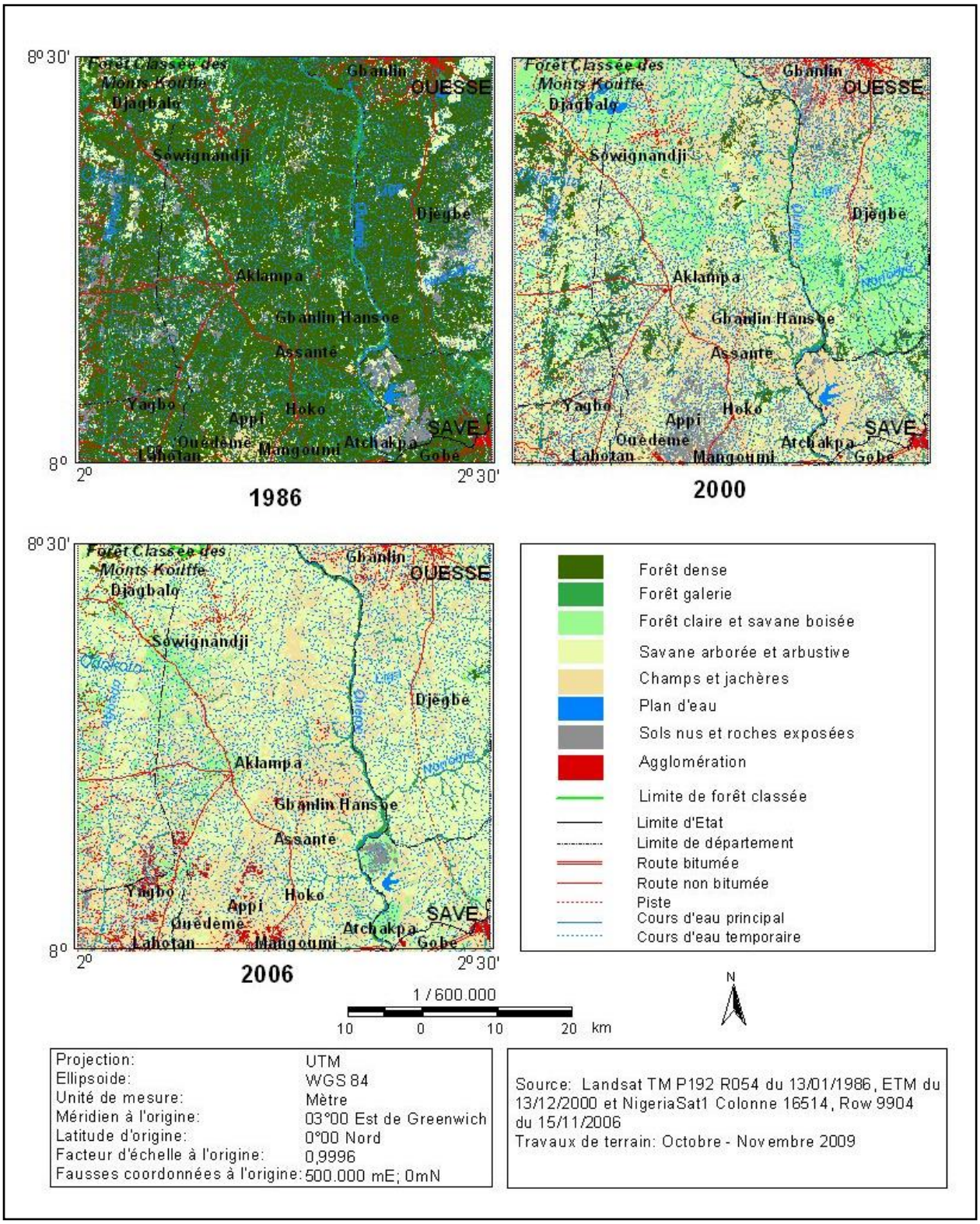


Figure 41: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Sud Ouest en 1986, 2000 et 2006

4.2.2- Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Sokodé

Sokodé Nord Est affiche une extension des agglomérations, des savanes arborées et arbustives et des espaces cultivés de 1986 à 2006. Les forêts claires et savanes boisées ont connu une regression entre 2000 et 2006. Par contre les formations denses et les sols nus ont connu une régression drastique. De façon générale sur cette partie de la zone d'étude, la tendance est à la régression des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres avec un taux moyen de régression de 0,65% entre 1986 et 2000 et 1,60% entre 2000 et 2006 (tableau XXX).

Tableau XXX: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Sokodé Nord Est

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	732	759	836	0,24	1,38
Champs et Jachères	47724	74250	82428	2,95	1,49
Forêt Claire/ Savane boisée	2844	90876	32027	23,10	-14,90
Forêt dense	63462	10133	13279	-12,23	3,86
Plan d'eau	243	455	535	4,18	2,31
Savane arborée et arbustive	49824	39078	85804	-1,62	11,24
Sols nus et roches exposées	5907	2164	421	-6,69	-23,39
Forêt galerie	52437	5458	7843	-15,08	5,18
Total	223173	223173	223173	-5,16	-12,82
Moyenne				**- 0,65**	**- 1,60**

La feuille de Sokodé NE couvre le Sud Ouest de la Commune de Bassila et le Nord de celle de Bantè (figure 42).

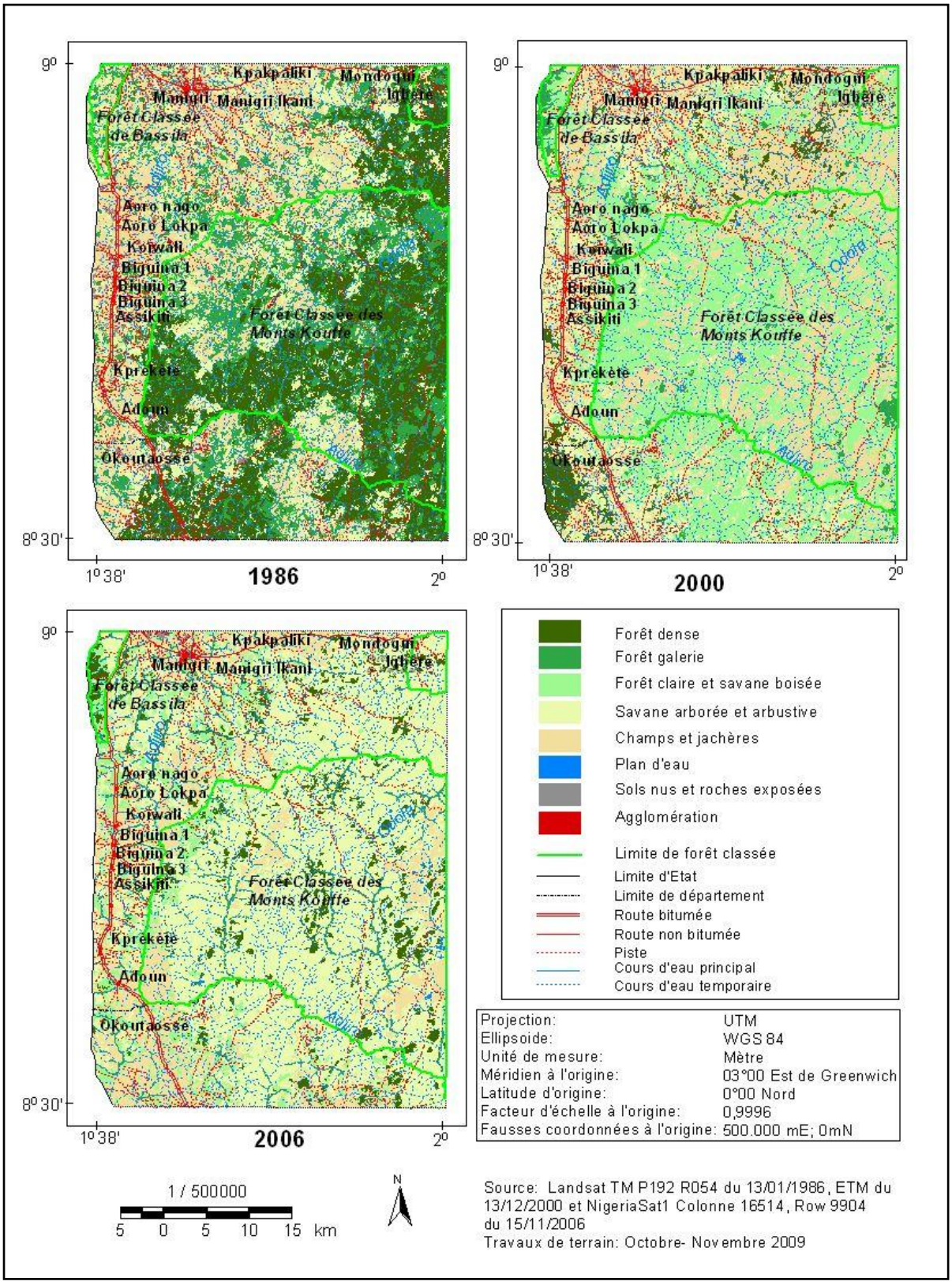


Figure 42: Occupation et utilisation des terres dans SOKODE Nord Est en 1986, 2000 et 2006

Le Sud Est de la feuille de Sokodé est caractérisé par une progression des superficies des agglomérations, des champs et jachères, des forêts claires et

savanes boisées de 1986 à 2006, une progression de la savane arborée et arbustive de 1986 à 2000. En ce qui concerne les unités comme les forêts denses, les galeries forestières et les sols nus, leur superficie a été considérablement réduite. De façon générale dans cette zone, les unités de l'occupation des terres ont légèrement régressé entre 1986 et 2000 (0,17%) mais entre 2000 et 2006 le taux de changement (régression) a été plus élevé (tableau XXXI).

Tableau XXXI: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Sokodé Sud Est

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	702	763	1450	0,56	9,17
Champs et Jachères	20046	28849	28861	2,43	0,01
Forêt Claire/ Savane boisée	3489	52823	80496	18,12	6,02
Forêt dense	101049	10796	7017	-14,91	-6,15
Plan d'eau	251	435	78	3,67	-24,55
Savane arborée et arbustive	54032	120155	105768	5,33	-1,82
Sols nus et roches exposées	18827	5001	371	-8,84	-37,16
Forêt galerie	29855	9429	4210	-7,68	-11,52
Total	228251	228251	228251	-1,34	-66,01
Moyenne				**-0,17**	**-8,25**

La feuille de Sokodé SE couvre l'extrême nord de la Commune de Savalou et la majeure partie de celle de Bantè (figure 43).

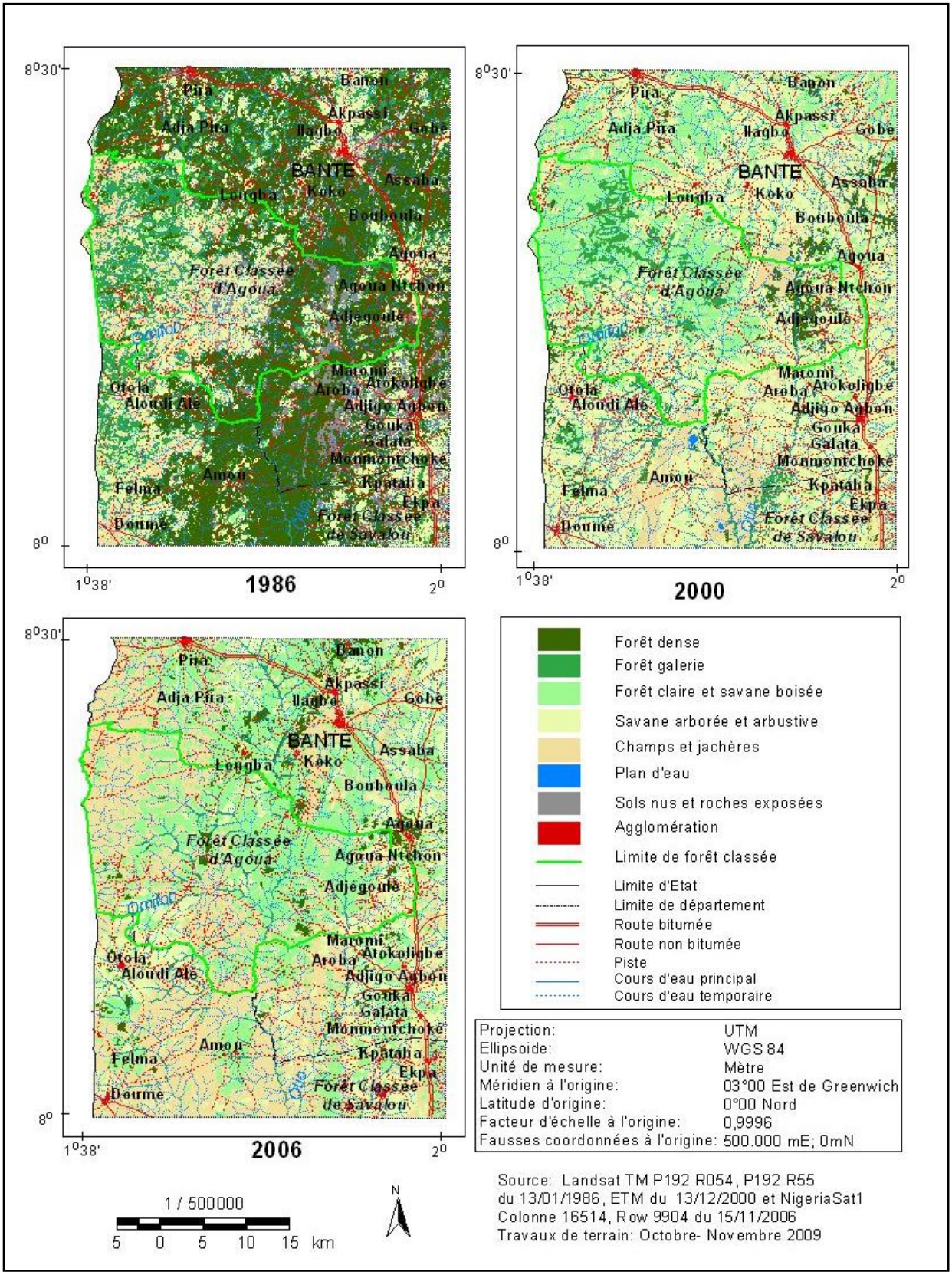


Figure 43: Occupation et utilisation des terres dans SOKODE Sud Est en 1986, 2000 et 2006

4.2.3- Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Zagnanado

Le Nord Est de la feuille de Zagnanado affiche aussi une extension des agglomérations, des champs et jachères. La savane arborée et arbustive a connu une progression entre 1986 et 2000 et a connu une légère chute de 2000 à 2006. Ce secteur présente par contre une réduction drastique de la forêt dense et de la forêt galerie. Une forte extension des sols nus en 2000 a été constatée mais ils vont chuter de près de 38% en 2006. Il importe de retenir que la dynamique de l'occupation et de l'utilisation de ce secteur de la zone d'étude est marquée par une régression considérable des formations végétales denses, une extension des savanes et des espaces cultivés. Le secteur affiche des taux de changement négatifs sur toute la période d'étude (tableau XXXII).

Tableau XXXII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Zagnanado Nord Est

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	102	182	231	3,86	3,41
Champs et Jachères	29443	46359	73432	3,03	6,57
Forêt Claire/ Savane boisée	5823	27125	5255	10,26	-23,45
Forêt dense	7446	2321	71	-7,77	-49,82
Plan d'eau	3258	384	65	-14,25	-25,38
Savane arborée et arbustive	17905	52810	51918	7,21	-0,24
Sols nus et roches exposées	248	878	63	8,43	-37,64
Forêt galerie	69342	3508	2532	-19,89	-4,66
Total	133567	133567	133567	-9,14	-131,20
Moyenne				**-1,14**	**-16,40**

La feuille de Zagnanado NE couvre le Nord de la Commune de Kétou et le Sud Est de celle de Savè (figure 44).

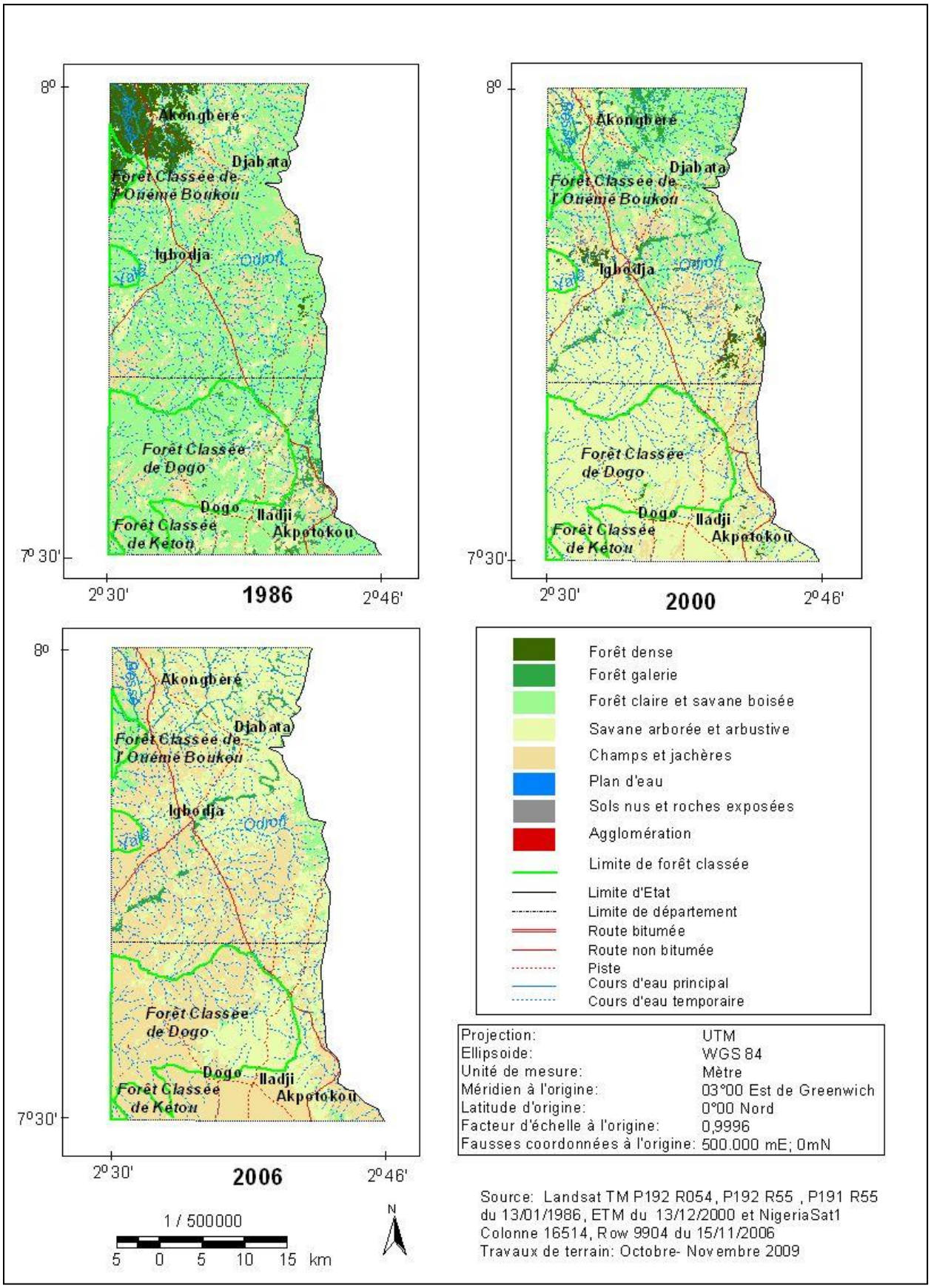


Figure 44: Occupation et utilisation des terres dans ZAGNANADO Nord Est en 1986, 2000 et 2006

Le Nord Ouest de la feuille de Zagnanado présente les mêmes tendances que le Nord Est. Les agglomérations, les champs et jachères ont connu une expansion. La forêt claire a augmenté de 1986 à 2006. La savane arborée et arbustive a connu cette même évolution entre 1986 et 2000, mais connaîtra une chute de près de 23% en 2006. Quant aux formations denses comme les forêts denses, leur superficie a connu une nette régression. Ce secteur affiche aussi des taux de changement négatifs sur toute la période d'étude (tableau XXXIII), d'où une tendance générale de régression des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres.

Tableau XXXIII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Zagnanado Nord Ouest

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	2778	3978	6840	2,39	7,74
Champs et Jachères	40055	155886	262518	9,06	7,45
Forêt Claire/ Savane boisée	506	2842	5942	11,50	10,54
Forêt dense	87911	1804	61	-25,91	-48,38
Plan d'eau	491	505	68	0,19	-28,64
Savane arborée et arbustive	39538	99164	19816	6,13	-23,00
Sols nus et roches exposées	3054	33621	1786	15,99	-41,93
Forêt galerie	128929	5462	6231	-21,08	1,88
Total	303262	303262	303262	-1,72	-114,36
Moyenne				**- 0,21**	**-14,29**

La feuille de Zagnanado NO couvre la Commune de Dassa-Zoumé, une petite partie des Communes de Savalou, de Savè, de Glazoué, et le Nord Est de la Commune de Djidja (figure 45).

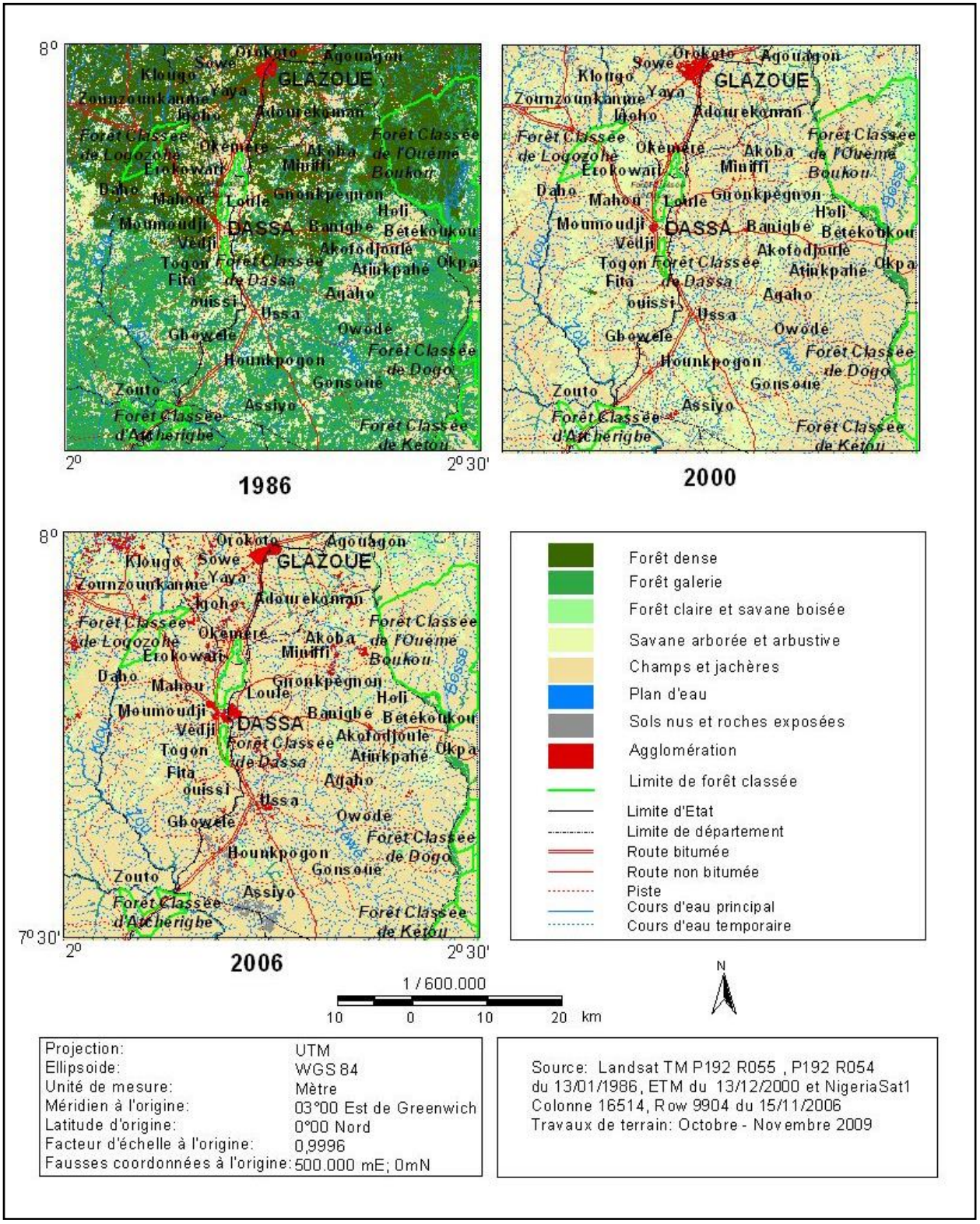


Figure 45: Occupation et utilisation des terres dans ZAGNANADO Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006

4.2.4- Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région d'Abomey

Le Nord NE de la feuille d'Abomey présente une évolution positive des agglomérations, champs et jachères et des forêts claires. La savane arborée et arbustive comme les sols nus, ont progressé entre 1986 et 2000 avant de connaître une chute en 2006. Les forêts denses et galeries, ont présenté une évolution régressive comparable à celle observée sur les autres feuilles. La dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans cette zone est régressive, en témoignent les taux de changement négatifs enregistrés (tableau XXXIV).

Tableau XXXIV: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Abomey Nord Ouest

Classes	Sup en 1986 (ha)	Sup en 2000 (ha)	Sup en 2006 (ha)	Taux de changement (1986-2000)	Taux de changement (2000-2006)
Agglomération	1127	1481	3852	1,82	13,66
Champs et Jachères	25587	78223	173589	7,45	11,39
Forêt Claire/ Savane boisée	1153	1361	22028	1,11	39,77
Forêt dense	38991	1105	118	-23,76	-31,96
Plan d'eau	368	376	128	0,14	-15,39
Savane arborée et arbustive	75240	129183	17031	3,60	-28,95
Sols nus et roches exposées	2281	6091	244	6,55	-45,96
Forêt galerie	78046	4973	5803	-18,36	2,21
Total	**222793**	**222793**	**222793**	**-21,44**	**-55,24**
Moyenne				**-2,68**	**-6,90**

La feuille d'Abomey NE couvre en grande partie la Commune de Savalou et le Nord de celle de Djidja (figure 46).

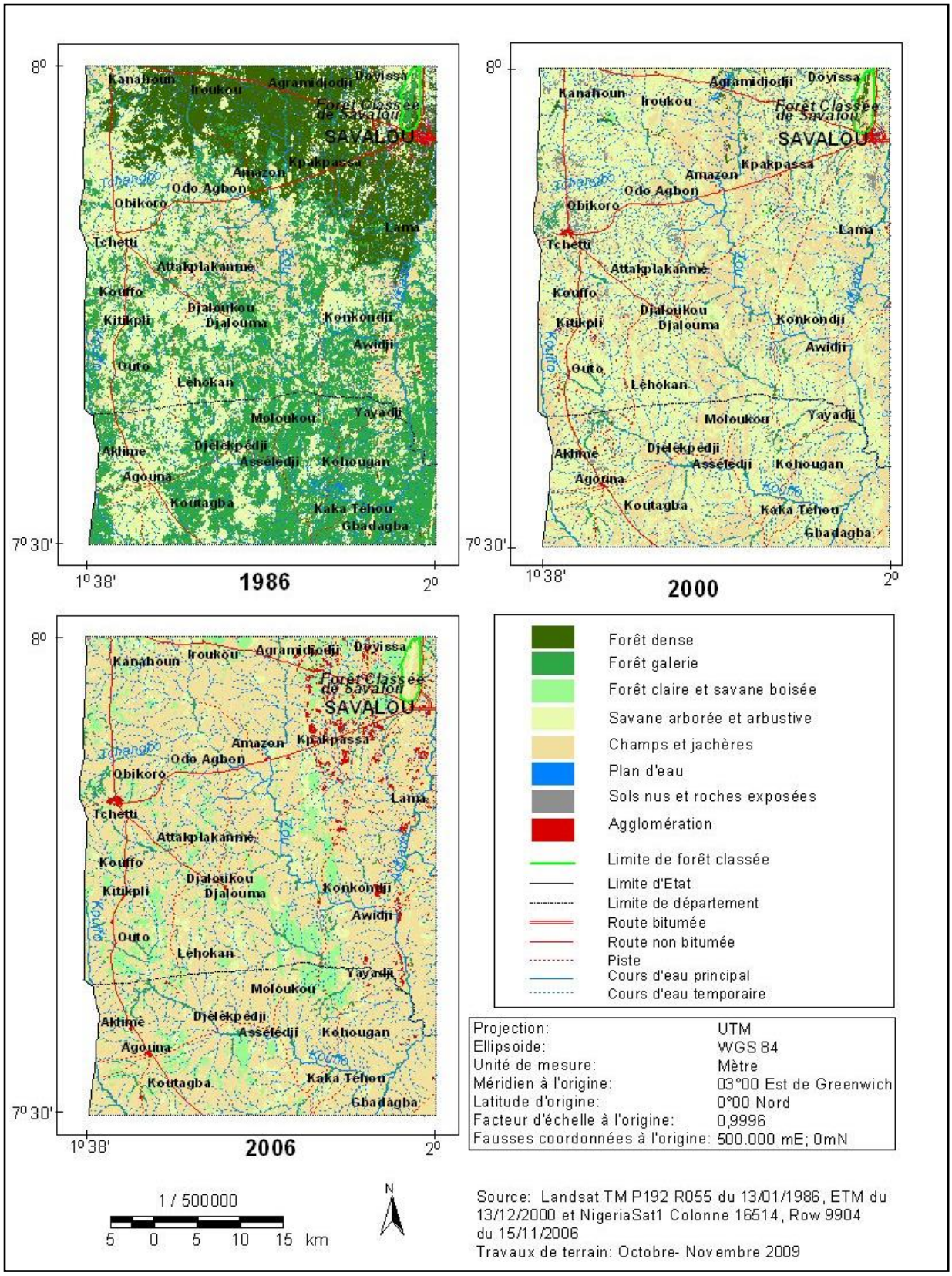


Figure 46: Occupation et utilisation des terres dans ABOMEY Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006

Au total, il importe de retenir que la dynamique de l'occupation des terres se manifeste différemment dans les différents secteurs du Centre Bénin. Toutefois,

quelques similarités ont été notées. Il s'agit de l'extension des espaces bâtis, des champs et jachères, des savanes, et de la réduction des superficies des formations végétales denses. Le taux moyen d'environ 5% entre 1986 et 2000 révèle une évolution des unités de l'occupation des terres dont une part active revient aux champs et jachères, agglomérations et savanes. La même analyse faite entre 2000 et 2006 montre une tendance moyenne à la régression des superficies des unités. La moyenne des taux de changement de 1986 à 2006 revient à plus de -4% (tableau XXXV).

Tableau XXXV: Synthèse des changements de l'occupation et de l'utilisation des terres par feuille

Feuilles	1986-2000	2000-2006	Taux moyen de changement
Abomey NE	-2,68	-6,9	-4,79
Savè NE	-0,79	**-6,59**	-3,69
Savè NO	3,14	-9,21	-3,035
Savè SE	1,67	-8,62	-3,475
Savè SO	5,22	-10,62	-2,7
Sokodé NE	-0,65	-1,6	-1,125
Sokodé SE	-0,17	-8,25	-4,21
Zagnanado NE	-1,14	-14,29	-7,25
Zagnanado NO	-0,21	-16,4	-8,77
Moyenne	**0,488**	**-9,164**	**-4,338**

4.3. Comparaison de la dynamique de l'occupation des terres entre les périodes 1986 - 2000 et 2000 - 2006

Le test de Student a été utilisé pour déterminer s'il y a une différence significative entre les taux de changement des deux périodes d'étude de la dynamique de l'occupation des terres (tableau XXXVI). Les hypothèses nulle et alternative émises se présentent comme suit :

H_o : Il n'y a aucune différence significative entre les taux de changement de l'occupation et de l'utilisation des terres des périodes 1986 - 2000, et 2000 – 2006 au Centre du Bénin.

H_1 : Il y a une différence significative entre les taux de changement de l'occupation et de l'utilisation des terres des périodes 1986 - 2000, et 2000 – 2006 au Centre du Bénin

Tableau XXXVI: Différence entre les taux de changement de l'occupation et l'utilisation des terres des deux périodes 1986-2000 et 2000-2006 (Test de Student)

Test de pair d'échantillons									
		Différences					t	df	Sig.
		Moyenne	Ecart type	Erreur stand. Moyenne	Intervalle de confiance de 95% de la Différence				
					Lower	Upper			
Pair	1986-2000 - 2000-2006	9,65222	5,23898	1,74633	5,62519	13,67926	5,527	8	,001

L'analyse des taux de changement des deux périodes (1986 -2000, et 2000 - 2006) révèle que la valeur *t* calculée (5,527) est plus élevée que la valeur t de la table (1,86) avec un intervalle de confiance de 95% et un degré de liberté de 8. Ceci implique qu'il y a une différence significative entre les taux de changement de l'occupation des terres des deux périodes au Centre du Bénin. Par conséquent, l'hypothèse H_o est rejetée pendant que l'hypothèse alternative H_1 est acceptée. Cette analyse confirme les différents taux de changement obtenus et renforce la forte régression des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres constatée entre 2000 et 2006 par rapport à la période 1986 et 2000.

4.4. Tendance générale de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le centre du Bénin

4.4.1- Transition des unités de l'occupation et de l' utilisation des terres

La dynamique du milieu a montré des transformations caractérisées par la conversion ou le changement d'état des unités de l'occupation des terres. Deux grands processus de conversion ont été constatés. Il s'agit de la savanisation et de l'anthropisation du milieu.

La savanisation s'est révélée par la transformation des formations végétales denses en forêt claire et savane boisée et en savane arborée et arbustive. Ainsi entre 1986 et 2000, près de 35% des forêts denses ont été converties en forêts claires et savanes boisées et en savane arborée et arbustive. Les forêts claires et savanes boisées ont été à leur tour transformées en champs et jachères à plus de 10% et puis en savane arborée et arbustive à près de 17% (tableau XXXVII).

Tableau XXXVII: Matrice de transition des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres de 1986 à 2000 (%)

		2000					
	Classes	**Agg**	**Cja**	**Sn**	**Fd**	**Fcsb**	**Saa**
1986	**Agg**	43,02	1,41	1,58	0,24	0,39	1,79
	Cja	16,43	38,36	34,00	7,21	6,57	24,52
	Sn	2,74	1,89	3,34	0,10	0,22	1,24
	Fd	8,09	19,13	10,23	21,19	13,22	21,71
	Fcsb	8,29	10,11	20,16	13,86	31,92	16,87
	Saa	9,89	24,10	26,81	12,70	16,61	26,96

Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Saa**: Savane arborée et arbustive; **Sn** : Sols nus et Roches exposées; **Fg** : Forêt galeries.

Entre 2000 et 2006 (tableau XXXVIII), le processus de la savanisation s'est poursuivi avec plus de 36% des forêts denses converties en forêt claire et en savanes arborées et arbustives. Par ailleurs, un début de reconversion de quelques formations denses notamment la conversion de plus de 20% des savanes arborées et arbustives en forêt dense a été constaté.

Tableau XXXVIII: Matrice de transition des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres de 2000 à 2006 (%)

		2006					
	Classes	**Agg**	**Cja**	**Sn**	**Fd**	**Fcsb**	**Saa**
2000	**Agg**	49,47	2,44	19,02	0,06	0,50	1,59
	Cja	15,78	36,76	32,05	5,73	11,89	30,71
	Sn	5,84	0,33	1,97	0,01	0,03	0,10
	Fd	0,03	0,63	5,06	23,06	15,00	21,31
	Fcsb	15,07	19,82	21,33	12,12	30,74	18,40
	Saa	5,79	37,56	20,54	20,47	32,13	25,90

Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Saa**: Savane arborée et arbustive; **Sn** : Sols nus et Roches exposées.

L'anthropisation s'est caractérisée par la transformation des formations végétales en agglomération, champs et jachères et en sols nus et roches exposées. Entre 1986 et 2000, plus de 37% des espaces de forêts denses ont été convertis en agglomération, en champs et jachères, en sols nus et roches exposées. Au cours de cette même période, plus de 38% des forêts claires et 60% des savanes arborées et arbustives ont connu une transition vers ces formations anthropiques. Puisque les forêts denses ont été largement transformées en forêts claires entre 1986 et 2000, le phénomène d'anthropisation s'est désormais dirigé vers les forêts claires et les

savanes arborées et arbustives qui se sont transformées en champs et jachères, agglomération et sols nus entre 2000 et 2006, à plus de 56% et 63% respectivement. Les fragments de formations denses restantes notamment les forêts denses n'ont connu qu'une légère pénétration anthropique de plus de 5% au cours de la même période.

L'analyse de quatre unités paysagiques choisies dans le secteur d'étude au Nord Est, au centre et au Sud Ouest (figure 47) confirme et permet d'apprécier à une échelle plus réduite, les tendances de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin. Au niveau de la première unité paysagique (UP1) située au Nord Est de la zone d'étude et dominée en 1986 par la forêt dense au sud, au centre et à l'ouest, il est observé une extension des champs et jachères et des forêts claires et savane boisée entre 1986 et 2000, un fragment de la forêt dense au centre pratiquement réduit à environ 3% en 2006 (tableau XXXIX).

Tableau XXXIX: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP1

	1986	2000	2006	Evolution (%) 1986-2000	Evolution (%) (2000-2006
Agg	0	262,98	79,46	0,45	-0,32
Cja	10605,48	26511,65	22406,45	27,41	-7,07
Fcsb	3899,63	20216,15	18059,03	28,11	-3,72
Fd	25450	2315,39	2009,43	-39,86	-0,53
Pe	33,40	58,29	11,91	0,04	-0,08
Saa	8897,81	7509,72	14945,12	-2,39	12,81
Sn	3570,88	639,81	40,04	-5,05	-1,03
Fg	5578,95	522,15	484,72	-8,71	-0,06

La deuxième unité paysagique (UP2) présente des forêts denses et des forêts galeries en 1986. Ces formations végétales seront réduites de plus de 52% pour la forêt dense et 26% pour la galerie forestière au profit des champs et jachères et des forêts claires et savanes boisées en 2000 et puis largement en savane arborée et arbustive en 2006 (tableau XL).

Tableau XL: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP2

	1986	2000	2006	Evolution (%) 1986-2000	Evolution (%) 2000-2006
Agg	18,31	103,26	335,74	0,14	0,37
Cja	0	27957,48	22776,20	44,73	-8,29
Fcsb	89,04	18841,41	11923,11	30	-11,07
Fd	36119,87	3074,74	1177,48	-52,87	-3,04
Pe	17,46	344,60	157,59	0,52	-0,30
Saa	8187,15	8041,42	24864,30	-0,23	26,92
Sn	246,69	2689,10	11,03	3,91	-4,28
Fg	17821,47	1448	1254,56	-26,20	-0,31

La troisième unité paysagique (UP3) a suivi la même tendance que la deuxième avec une transformation des formations végétales denses en savanes arborées et arbustives, mais aussi l'apparition et l'extension des agglomérations et des champs et jachères ayant évolué respectivement de 0,97% et de 18,47% entre 2000 et 2006 (tableau XLI).

Tableau XLI: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP3

	1986	2000	2006	Evolution (%) 1986-2000	Evolution (%) 2000-2006
Agg	104,37	164,83	770,02	0,10	0,97
Cja	16,41	18460,57	30006,63	29,51	18,47
Fcsb	0	9149,96	5081,01	14,64	-6,51
Fd	50618,86	5525,65	2,38	-72,15	-8,84
Pe	4,47	117,39	0	0,18	-0,19
Saa	5366,15	25139,38	25516,92	31,64	0,60
Sn	2788,56	3312,61	68,30	0,84	-5,19
Fg	3601,18	629,60	1054,72	-4,75	0,68

La quatrième unité (UP4) caractérisée en 1986 par un mélange de forêts claires et savanes boisées, de forêts denses à l'extrême nord, et par quelques forêts galeries, a été réduite en champs et jachères à plus de 44%, entrecoupés par quelques fragments de forêts claires et savanes boisées entre 2000 et 2006. Même pendant cette période, la pression a été mise sur la savane arborée et arbustive qui a connu une forte réduction de plus de 45% (tableau XLII).

Tableau XLII: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP4

	1986	2000	2006	Evolution (%) 1986-2000	Evolution (%) 2000-2006
Agg	0,00	372,79	222,02	0,60	-0,24
Cja	12592,13	21350,43	49313,39	14,04	44,83
Fcsb	356,02	372,83	3342,41	0,03	4,76
Fd	6870,58	158,35	0,00	-10,76	-0,25
Pe	0	0	0,00	0	0,00
Saa	28708,51	36426,24	8051,91	12,38	-45,49
Sn	116,69	2638,64	0,00	4,04	-4,23
Fg	13744,23	1059,73	1449,29	-20,33	0,62

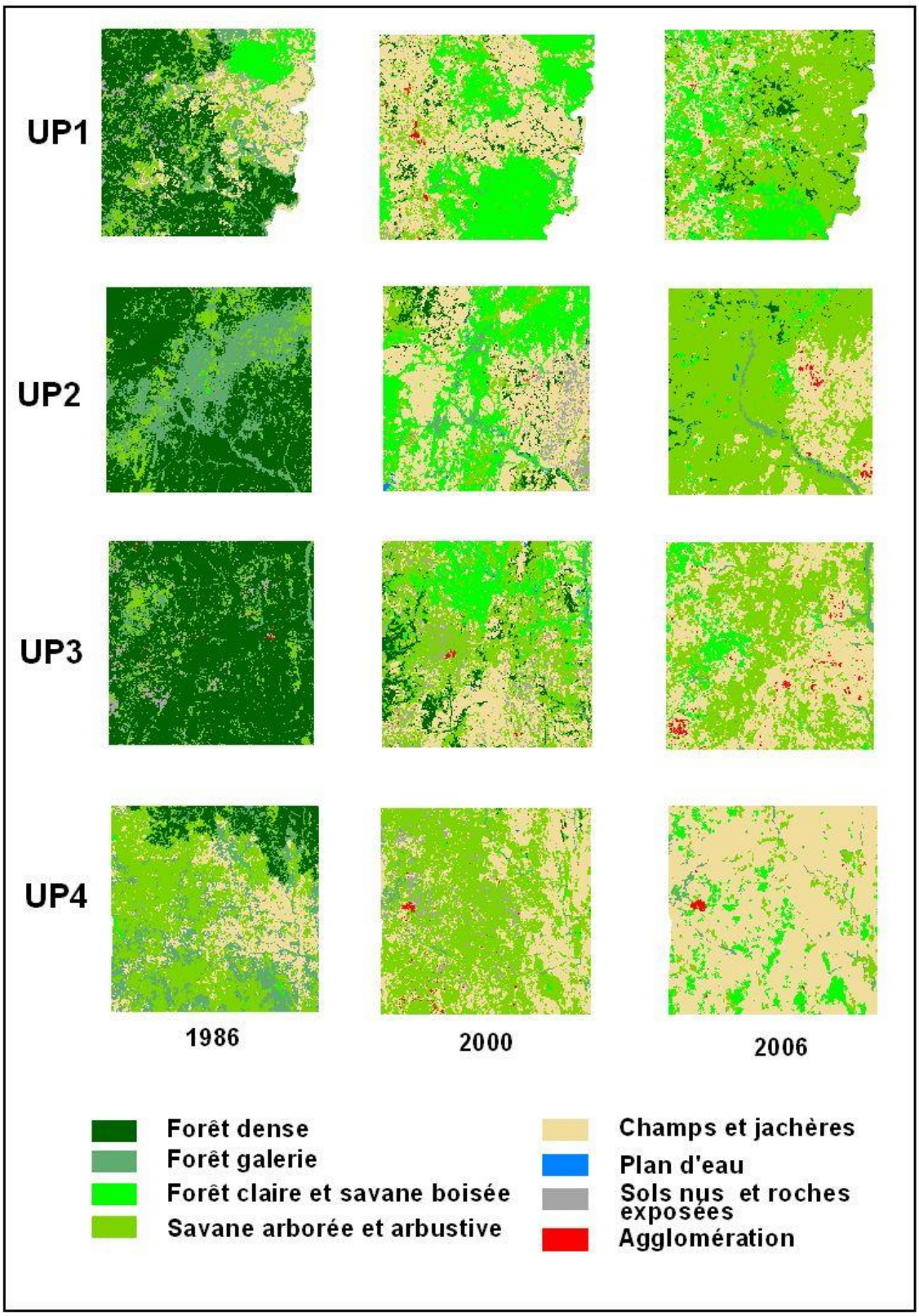
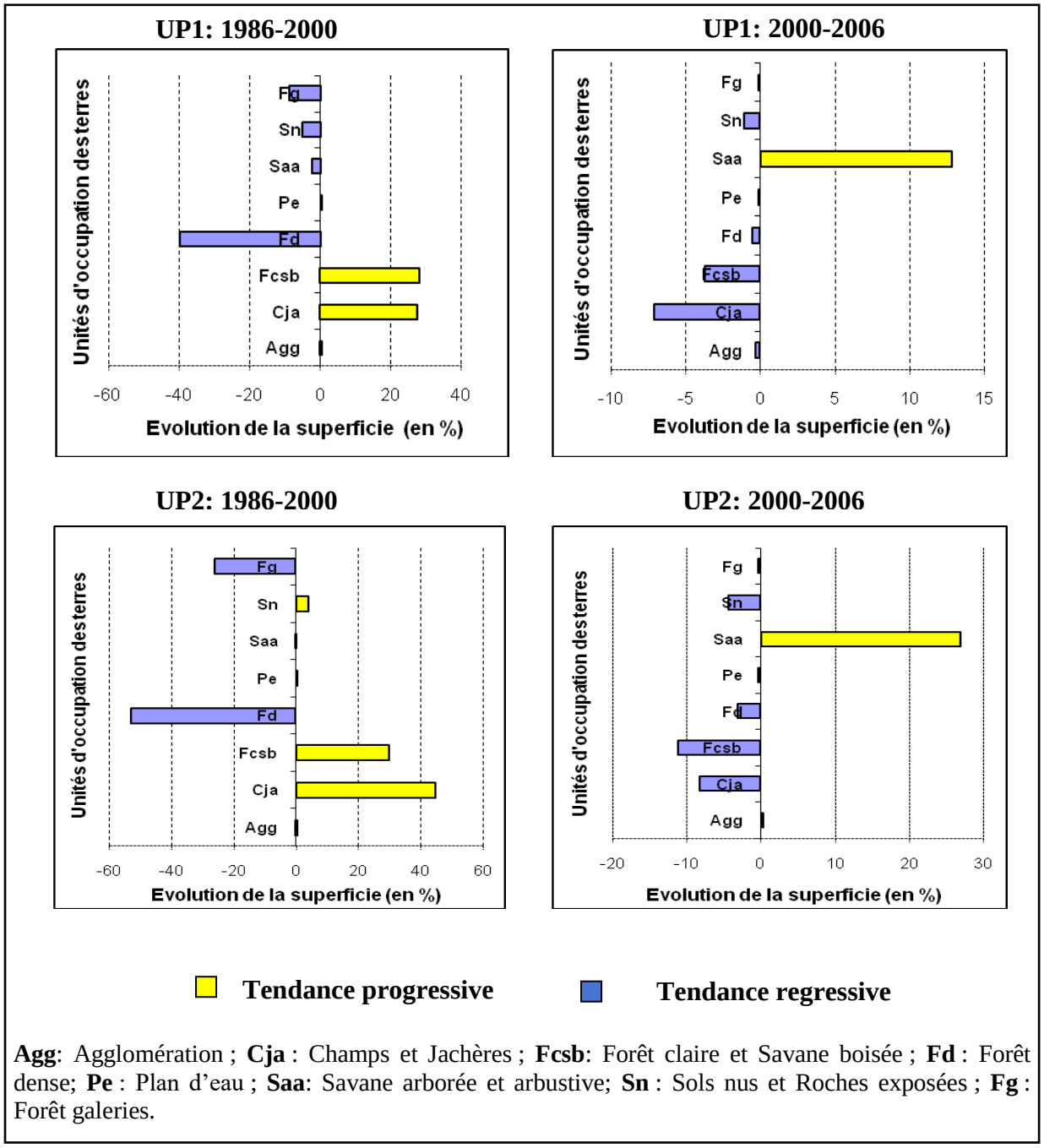


Figure 47: Unités paysagiques (U P) montrant les processus de savanisation et d'anthropisation au Centre du Bénin

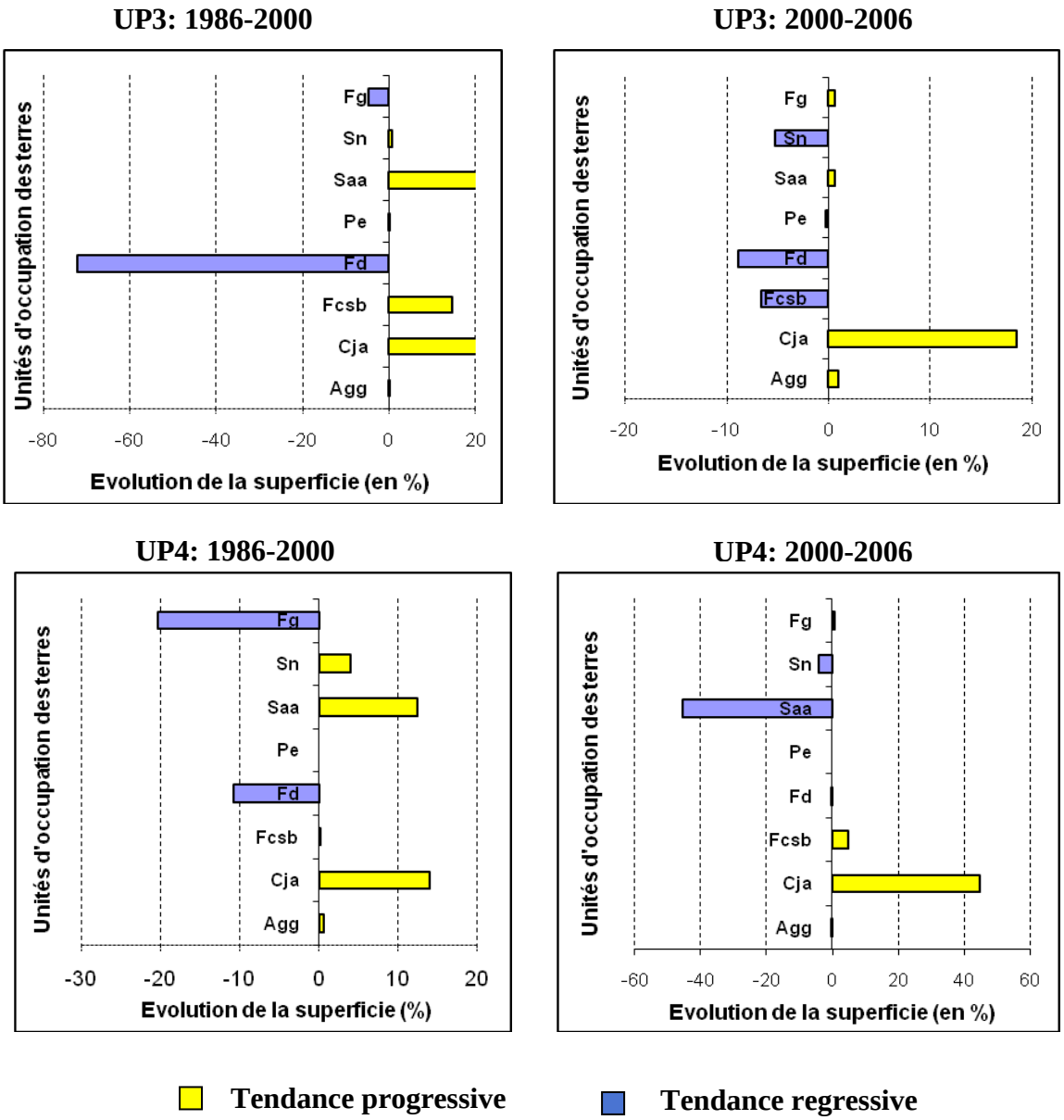
Au total, les unités qui ont connu des tendances progressives majeures sont les champs et jachères, les savanes arborées et arbustives. Les sols nus, les

agglomérations ont évolué légèrement. Quant à la forêt dense et la forêt galerie, elles présentent une tendance régressive dans les unités paysagiques sélectionnées et par extension dans tout le secteur d'étude (figure 48).



Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive; **Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galeries.

Figure 48a: Evolution des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres dans chaque unité paysagique de 1986 à 2000 et de 2000 à 2006.



Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive ; **Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galeries.

Figure 48b: Évolution des unités de l'occupation des terres dans chaque unité paysagique de 1986 à 2000 et de 2000 à 2006.

4.4.2- Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034

Sur la base des tendances observées et du scénario mis en place moyennant le modèle des automates cellulaires (le modèle Spacelle), des projections ont été faites sur les horizons 2016, 2025 et 2034 au niveau de chaque Unité Paysagique (UP).

4.4.2.1. Durée de vie des unités de l'occupation des terres

Dans un premier temps, le nombre de cellules par unités d'occupation des terres a été évalué au niveau des champs et jachères, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives, les forêts denses et les forêts galeries. Selon le principe des automates cellulaires générées dans le modèle Spacelle, les cellules (ou individus) bougent dans le temps en changeant d'état ou en maintenant leur état initial selon les forces et les pressions environnantes responsables des transitions observées dans le secteur d'étude. Ainsi les forêts denses qui présentaient un nombre élevé de cellules en 1986, en a perdu plus de 94% en 2006. Quant aux champs et jachères et aux savanes arborées et arbustives, ils en ont gagnés plus (tableau XLIII).

Tableau XLIII: Evaluation du nombre de cellules ou d'individus par unités d'occupation des terres

Occupation des terres	**Nombre de cellules ou d'individus / Unités d'occupation des terres**		
	1986	2000	2006
Champs et Jachères	4231385	12949577	14009923
Forêts Claires/ Savanes boisées	382019	9065077	5227904
Forêts denses	15874269	1454923	876519
Savanes arborées et arbustives	7341288	12390788	17253538
Forêts galeries	9391173	1027673	844538

En considérant l'évolution des cellules de 1986 à 2006, les taux d'extinctions de ces dernières ont été évalués. Ces taux ont permis de déterminer les durées de vie moyennes des cellules dans le Centre du Bénin (tableau XLIV). Ces durées de vie moyenne, de même que leur écart type ont été intégrés en valeur absolue dans le modèle en vue de projeter le comportement de chaque cellule dans le futur.

Tableau XLIV: Taux d'extinction et durée de vie des cellules

Occupation des terres	Taux d'extinction (cellules/cellule/an)			Durée de vie (ans)				
	1986-2000	2000-2006	1986-2006	|D1|	|D2|	|D3|	**Moyenne**	**Ecart type**
Champs et Jachères	-0,15	-0,014	-0,12	6,8	73	8,65	**30**	**1**
Forêts Claires/ Savanes boisées	-1,62	0,071	-0,63	0,6	14,2	1,58	**4**	**1**
Forêts denses	0,065	0,066	0,047	15,4	15,1	21,17	**17**	**4**
Savanes arborées et arbustives	-0,05	-0,065	-0,07	20,3	15	14,8	**17**	**4**
Forêts galeries	0,064	0,03	0,046	15,72	33,7	21,98	**24**	**4**

|D1| : Durée de vie entre 1986 et 2000, |D2| : Durée de vie entre 2000 et 2006, |D3| : Durée de vie entre 1986 et 2006

4.4.2.2. Scénario socio-économique ou 'tendance vers la catastrophe'

Sur la base des hypothèses émises par rapport au scénario socio-économique, et considérant aussi les durées de vie des unités de l'occupation des terres ci-dessus déterminées, le processus de projection est écrit dans *Spacelle* comme suit :

Fd>FCSB=DA(17;4)
FCSB>Saa=DA(4;1)
Saa>Cja=DA(16;4)
Cja>Agg=DA(30;1)

L'analyse de ce scénario de simulation de la dynamique de l'occupation des terres permet de faire les observations suivantes :

- les forêts denses présentent une espérance de vie de 17 ans avec un écart type de 4 ans avant de se transformer en forêt claire et savane boisée.
- Les forêts claires et savanes boisées présentent une espérance de vie moyenne de 4 ans avec un écart type de 1 an avant de se transformer en savane arborée et arbustive.
- Les savanes arborées et arbustives disposent d'une espérance de vie moyenne de 16 ans avant de se convertir en champs et jachères.
- Les champs et jachères présentent une espérance de vie moyenne de 30 ans avec un écart type de 1 an avant de se transformer en agglomérations.

La projection sur la base des simulations révèle que les formations végétales vont quasiment disparaître au profit des champs et jachères et des agglomérations (figure 49). En 2016, les champs et jachères vont s'étendre. En 2025, cette tendance va se

consolider davantage mais suivie d'une forte extension des agglomérations. Au cours de cette même année, l'extension des agglomérations diminuera progressivement au fur et à mesure que l'on évolue du Sud vers le Nord. En 2034, le phénomène d'anthropisation du milieu va davantage s'accentuer aux dépens des formations végétales denses.

Par exemple au niveau de l'UP1, la forêt dense qui occupait une proportion de 3,46% en 2006 sera réduite à 0,23% en 2025 et disparaîtra quasiment en 2034. Les forêts claires et savanes boisées vont passer de plus de 31% en 2006 à 0,91% en 2025 et à 0,11% en 2034. Les savanes arborées et arbustives seront réduites de 25,75% à environ 18,8% en 2025 puis à 4,17% en 2034. Parallèlement les agglomérations vont s'étendre de 0,14% en 2006 à 2,91% en 2025 puis à 4,34% en 2034. De même les champs et jachères pourrait s'étendre de 38,61 à 76,82% en 2025 et puis à plus de 90 % en 2034.

Au niveau de l'UP2, les forêts denses vont passer de 1,88% en 2006 à 0,10% en 2025 puis disparaître en 2025. Les forêts claires et savanes boisées seront réduites de 19,08% à 0,72% en 2025 puis à 0,18% en 2034. Quant aux savanes arborées et arbustives, leurs emprises seront réduites de près de 40% en 2006 à 7% en 2025 et puis à 2,59% en 2034. Au même moment, les agglomérations vont s'étendre respectivement de 0,54% en 2006 à 3,59% en 2025 puis à 5,32% en 2034. Quant aux champs et jachères, ils vont s'étendre de 36,44 à 87,89% en 2025 puis à près de 92% en 2034.

L'UP3 sera caractérisée par une absence des forêts denses. Les champs et jachères vont s'étendre de plus de 48% en 2006 à plus de 83% en 2025 puis à 86,22% en 2034. Les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées arbustives vont aussi connaître une régression considérable. Dans le même temps, les agglomérations pourraient s'étendre de 1,23% en 2006 à 8,56% en 2025 puis à plus de 12% en 2034.

Les mêmes observations sont faites au niveau de l'UP4 où quasiment les formations végétales seront réduites drastiquement voire disparaître pour certaines aux horizons 2025 et 2034. Mais ici, contrairement aux autres unités, les champs et jachères verront leur superficie se stabiliser autour de 79% en 2025 et 2034. Les agglomérations pourraient s'étendre de 0,36% en 2006 à 12,72% en 2025 puis à 18,67% en 2034 (tableau XLV).

Tableau XLV : Projection de la proportion (en %) des unités de l'occupation des terres aux horizons 2025 et 2034 selon le scénario *'tendance vers la catastrophe'*

	UP1				UP2			
UOS	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***
Agg	0,14	1,52	2,91	4,34	0,54	2,13	3,59	5,32
Cja	38,61	49,95	76,82	91,28	36,44	61,80	87,89	91,59
Fcsb	31,12	1,57	0,91	0,11	19,08	0,97	0,72	0,18
Fd	3,46	1,98	0,23	0,00	1,88	0,82	0,10	0,00
Saa	25,75	44,40	18,83	4,17	39,78	32,82	7,03	2,59
	UP3				**UP4**			
UOS	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***
Agg	1,23	5,04	8,56	12,13	0,36	6,55	12,72	18,67
Cja	48,01	69,01	83,37	86,22	79,05	79,42	79,07	79,25
Fcsb	8,13	0,33	0,33	0,14	5,36	0,50	0,47	0,21
Saa	40,83	24,46	7,24	1,39	12,91	12,10	7,14	1,84

UOS : Unités d'occupation et d'utilisation des terres ; **Agg**: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Saa**: Savane arborée et arbustive.

Extension aux horizons 2025 et 2034

Forte regression ou même disparition aux horizons 2016, 2025 et 2034

L'implication des résultats de ce scénario développé est que dès à présent, il faudrait mettre en place une politique dynamique et volontaire de l'aménagement rationnel du territoire. Le pays doit s'engager dans une vaste campagne de reboisement ou de reforestation qui ne se limitera pas seulement aux forêts classées, mais s'étendra aussi dans les domaines ouverts et naturels.

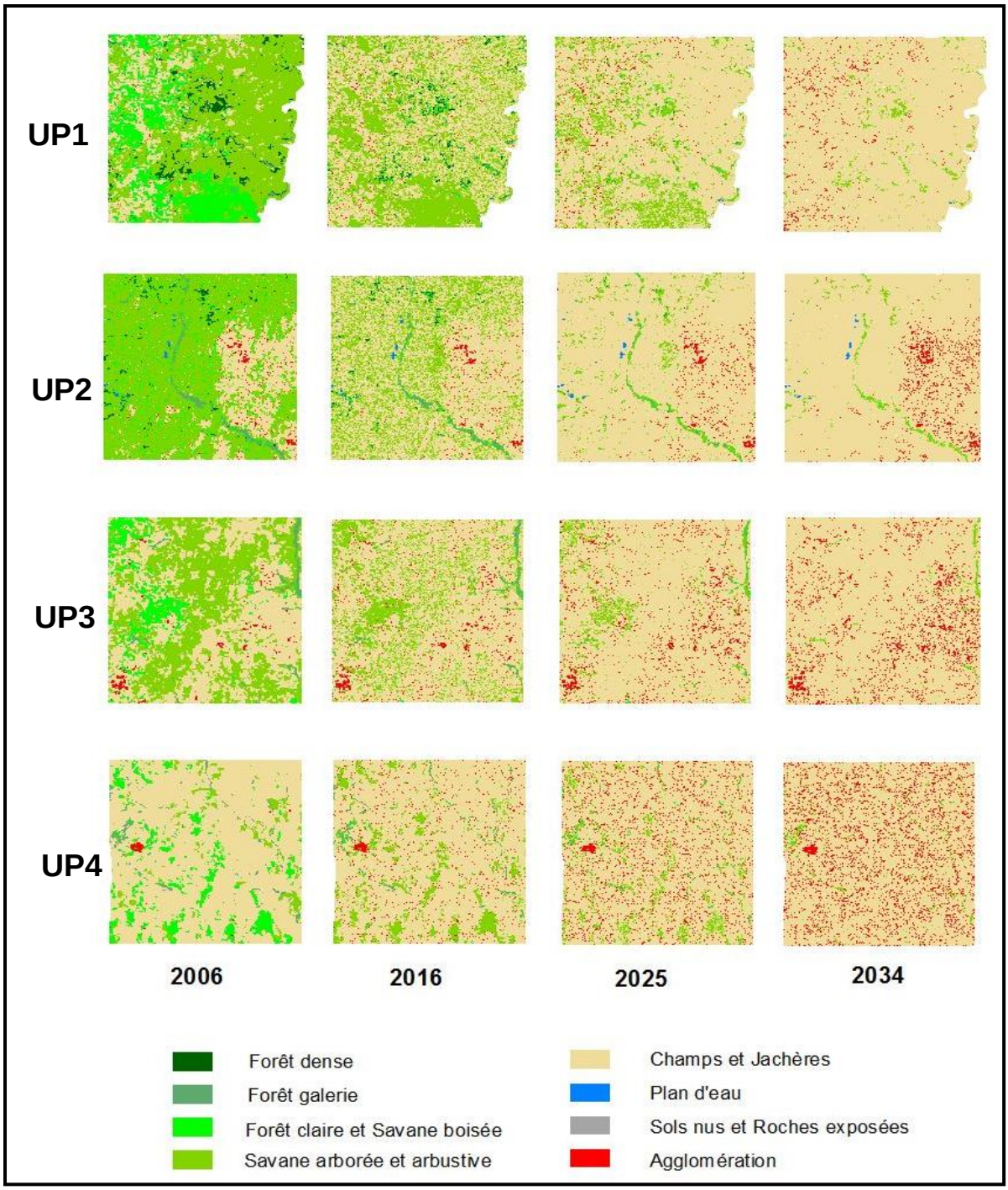


Figure 49: Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario *'tendance vers la catastrophe'*

4.4.2.3. Scénario écologique ou stabilité environnementale

Les hypothèses émises par rapport au scénario écologique ont conduit à la réécriture du processus de simulation en revoyant la durée de vie des cellules. Ainsi, considérant que ces hypothèses priorisent la préservation et une gestion contrôlée des ressources environnementales, il est supposable que certaines unités de l'occupation des terres pourraient voir leur durée de vie doubler ou tripler. Le

scénario développé en vue de projeter la dynamique de l'occupation des terres aux horizons 2025 et 2034, se présente comme suit :

Fd>FCSB=DA(51;12)
FCSB>Saa=DA(12;3)
Saa>Cja=DA(48;12)
Cja>Agg=DA(90;3)

L'analyse de ce scénario de simulation de la dynamique de l'occupation des terres permet de faire les observations suivantes :

- La forêt dense aura une espérance de vie de 51 ans et un écart type de 12 ans avant de se transformer en forêt claire;
- De même, la forêt claire et savane boisée aura une durée de vie de 12 ans et un écart type de 3 ans avant de se transformer en savane arborée et arbustive;
- La savane arborée et arbustive présente une espérance de vie de 48 ans et un écart type de 12 ans avant de se transformer en champs et jachères ;
- Les champs et jachères présentent une durée de vie de 90 ans et un écart type de 3 ans avant de se transformer en agglomération.

Présenté comme un scénario écologique visant une réduction des pressions sur les ressources végétales, ce scénario a tourné à un scénario de stabilité environnementale car la plupart des unités d'occupation des terres, notamment les formations végétales, ont présenté un état de régression ou de progression très peu sensible (figure 50).

Au niveau de l'UP1, il est observé que la forêt dense, bien qu'en légère régression (passant de 3,46% en 2006 à 2,81% en 2025), pourrait être conservée jusqu'en 2034. La même observation est faite pour la forêt claire et les champs et jachères. Par contre, la savane arborée et arbustive connaîtra une progression entre 2006 et 2016 mais elle se stabiliserait à partir de 2016 autour des 60%.

L'UP2 présente presque les mêmes caractéristiques que l'UP1 en termes d'évolution des unités. La seule différence se situe au niveau de forêts claires et savanes boisées dont la proportion va se stabiliser autour de de 21% entre 2025 et 2034.

L'UP3 sera caractérisée par une progression des agglomérations passant de 1,23 en 2006 à 8,61% en 2025, une stabilisation des forêts claires et savanes boisées

autour des 11% à partir de 2025. Les savanes arborées et arbustives seront autour de 37%.

L'UP4 présente la même tendance que l'UP1 car les agglomérations ont évolué (passant de 0,36% en 2006 à 9,37% en 2025). Les savanes arborées et arbustives qui ont connu aussi une légère extension allant d'environ 13% en 2006 à près de 14% en 2025. Quant aux champs et jachères, ils pourraient connaître une légère régression, passant de 79,05% en 2006 à 70,15% en 2025 et 66,92% en 2034 (tableau XLVI).

Tableau XLVI: Projection de la proportion (en %) des unités de l'occupation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario '*écologique' ou 'stabilité environnementale'*

	UP1				UP2			
UOS	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***
Agg	0,14	1,58	2,97	4,42	0,54	3,22	3,46	5,14
Cja	38,61	17,53	16,13	14,68	36,44	17,73	17,48	15,80
Fcsb	31,12	16,90	16,72	16,53	19,08	15,87	21,81	21,51
Fd	3,46	3,64	2,81	1,97	1,88	1,22	1,16	0,83
Saa	25,75	59,57	60,67	61,79	39,78	60,18	54,35	55,27
	UP3				**UP4**			
UOS	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***	***2006***	***2016***	***2025***	***2034***
Agg	1,23	4,87	8,61	12,26	0,36	3,48	9,37	12,60
Cja	48,01	45,35	41,61	37,96	79,05	76,03	70,15	66,92
Fcsb	8,13	10,05	11,84	11,60	5,36	6,72	5,17	4,50
Saa	40,83	38,20	36,63	37,03	12,91	11,76	13,59	14,58

UOS : Unités d'occupation et d'utilisation des terres ; **Agg**: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Saa**: Savane arborée et arbustive.

Légère progression ou même stabilisation aux horizons 2016, 2025 et 2034

Légère régression ou même stabilisation aux horizons 2016, 2025 et 2034

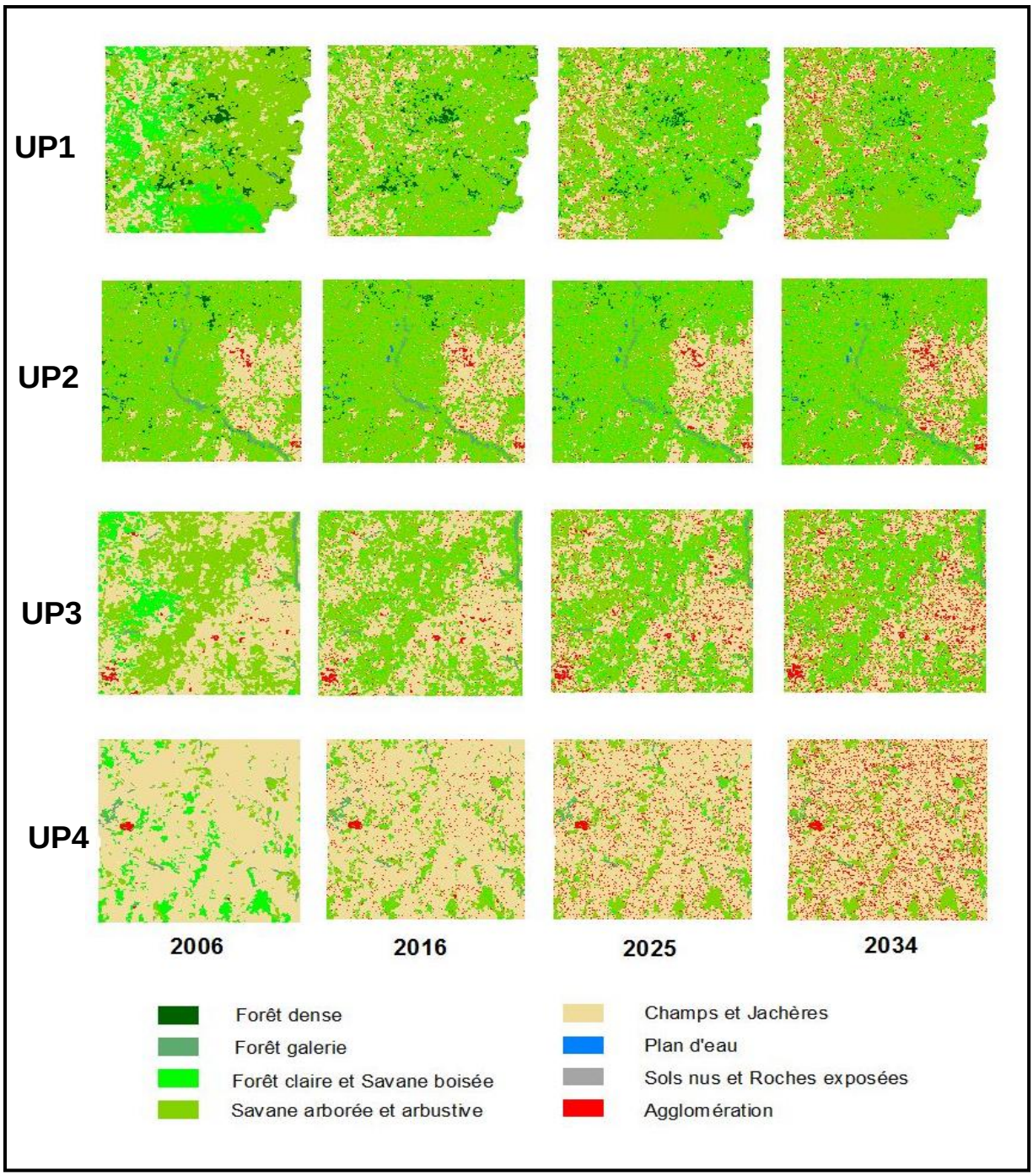


Figure 50: Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario écologique ou *'stabilité environnementale'*

D'après ce scénario de la stabilité, seulement les agglomérations progresseront au niveau des quatre unités paysagiques. Quant aux autres unités, il y aura une dynamique mais elle conservera les ressources surtout les formations végétales car leur degré de dégradation ne sera pas aussi élevé.

CHAPITRE CINQUIEME

OCCURRENCE SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX DE VEGETATION ET IMPACT SUR L'OCCUPATION DES TERRES

Le présent chapitre examine l'ampleur des feux de végétation et son impact sur l'occupation et l'utilisation des terres. De même, il sera analysé la tendance et l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation au Centre du Bénin et les unités de l'occupation et de l'utilisation des terres les plus affectées par les feux seront identifiées.

5.1. Tendance et occurrence spatio-temporelle des feux de végétation dans le Centre du Bénin

Le Centre du Bénin est le théâtre des feux de végétation annuels et saisonniers. L'analyse des données de MODIS sur les points de feux révèle une distribution spatiale annuelle de ces feux avec une légère variation selon les années. Les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008 et 2009 ont enregistré un nombre de feux de végétation largement supérieur à la moyenne annuelle estimée à 4411 hotspots. Le pic de la période d'étude (novembre 2000 à décembre 2010), se retrouve en décembre 2002 (figure 51).

La tendance logarithmique montre un doux accroissement de ces hotspots jusqu'en décembre 2010 avec une évolution en dents de scie, ce qui explique la faible valeur du coefficient de détermination R^2 (figure 51). Cette variation révèle que les facteurs explicatifs des feux de végétation ne sont pas constants au fil des années. D'après les variations mensuelles décennales montrées dans la figure, les feux s'intensifient pendant les mois de décembre et de janvier, autrement dit, le phénomène des feux de végétation est lié à la saison sèche qui généralement s'étend de novembre à mars dans le Centre du Bénin.

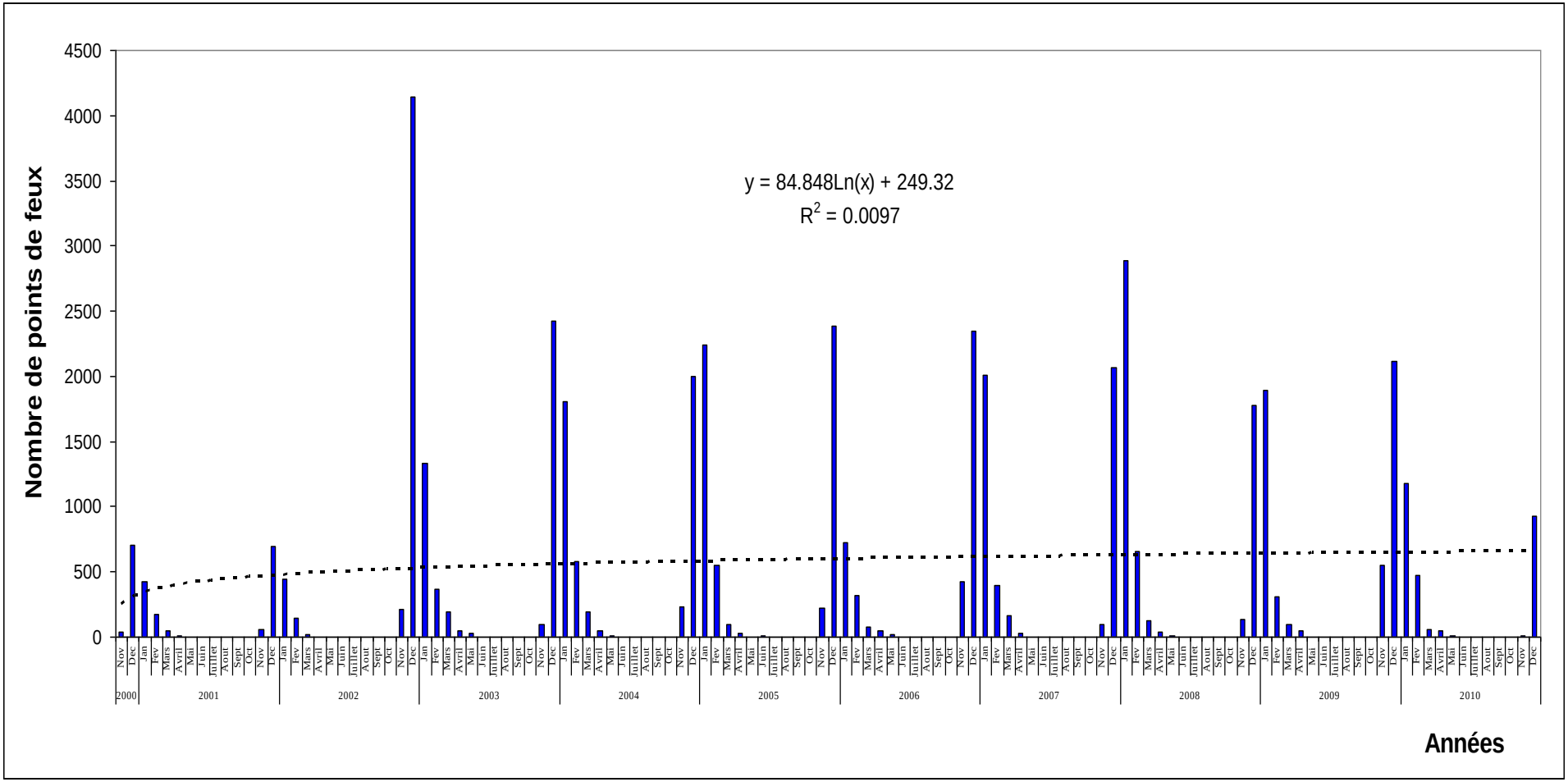


Figure 51: Evolution temporelle des points de feu de Novembre 2000 à Décembre 2010

Selon les opinions des acteurs actifs ou passifs sur la période des feux recueillies sur le terrain, l'unanimité se fait autour de la période sèche comme période d'intensification de ce phénomène, ce qui est évident car les conditions climatiques de cette période de l'année sont favorables à l'inflammabilité de la végétation (figure 52).

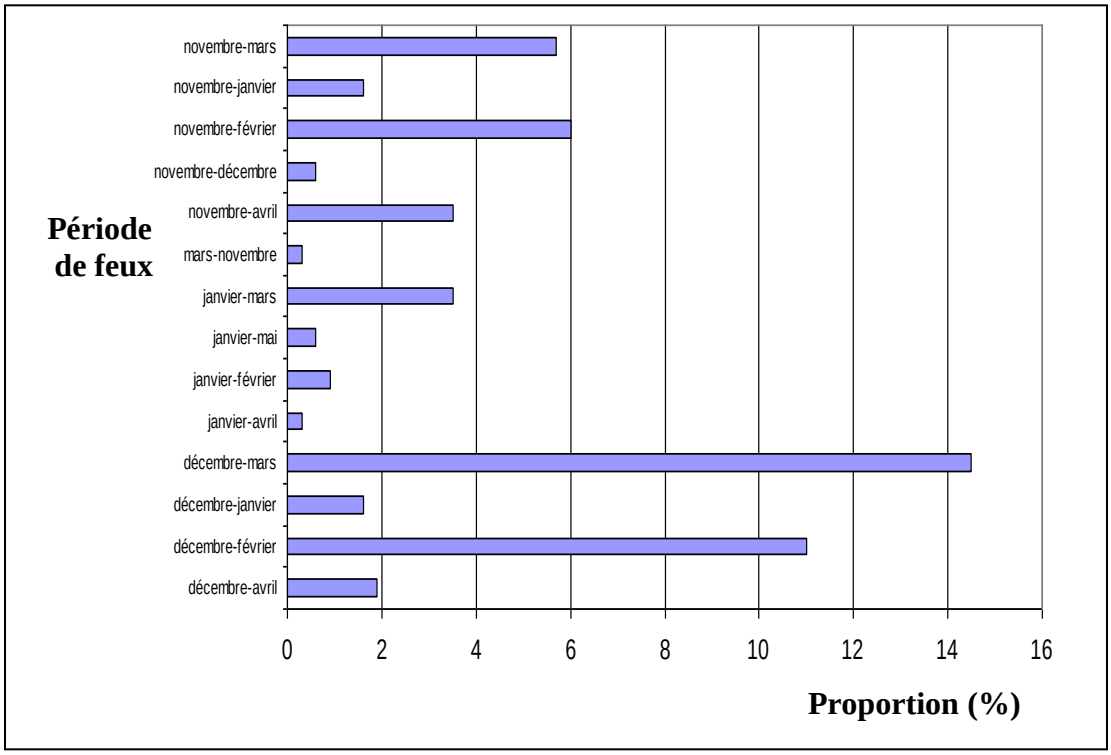


Figure 52: Période de feux de végétation dans le Centre du Benin selon les populations
Source: Enquêtes de terrain, Octobre – Novembre 2009

Les résultats du test de Dickey-Fuller Augmenté révèlent que les fréquences des points de feu (FPF) ne sont pas stationnaires dans le temps (le Z calculé en effet est inferieur aux Z critiques quel que soit le seuil) (tableau XLVII).

Tableau XLVII: Test de Stationnarité de Dickey-Fuller Augmenté et test d'existence de tendance

Test statistique	Dickey-Fuller Interpolé		
	Valeur critique à 1%	Valeur critique à 5%	Valeur critique à 10%
Z(t) ***-6,309***	-4,036	-3,448	-3,148

Test d'existence de Tendance

D Freq	Coefficient	Erreur d'écart type	t	P> |t|	Intervalle de Confiance à 95%	
L1	-0,758569	0,1202422	-6,31	0,000	-0,9969351	-0,5202029
L2	0,31472	0,1014908	3,10	0,002	0,1135263	0,5159137
L2D	0,0545981	0,0965349	0,57	0,573	-0,136771	0,2459673
Tendance	1,343444	1,973266	***0,68***	0,497	-2,568327	5,255214
Constance	206,7966	134,4577	1,54	0,127	-59,75016	473,3434

En effet les pratiques de feux de végétation ne sont pas uniformes dans le temps. Ce résultat est confirmé par le test d'existence de la tendance. Bien que la tendance existe, elle évolue de manière non significative (t=0,68 largement inferieur à 1), ce qui confirme la tendance logarithmique douce observée au niveau de la figure 51.

La figure 53 montre les densités et les zones de concentration des feux dans le secteur d'étude. L'analyse de la distribution spatiale révèle que les feux s'intensifient au fur et à mesure que l'on évolue vers le Nord Ouest. Le détail des observations par année se présente comme suit :

- En 2000 – 2001, les feux se sont concentrés dans la Commune de Bassila, le Nord de la Commune de Glazoué, l'Ouest de la Commune de Tchaourou et de Ouèssè, le secteur défini par le triangle Savalou – Tchetti et Doumè, et le Sud de la Commune de Savè.
- En 2002, la densité de ces feux est plus forte dans la Commune de Bassila, le Nord Ouest de Ouèssè et l'Ouest de la Commune de Tchaourou.

- En 2003, il y a eu un corridor ardent plus dense, orienté SE – NW toujours dans l'Ouest de la Commune de Bassila. En 2004, le corridor ardent s'est élargi et a occupé pratiquement tout l'Ouest de la Commune de Bassila.
- En 2005 et 2006, la tendance est la densification de ces feux dans la Commune de Bassila, avec une seule poche dense apparue en 2005 au Sud Ouest de la Commune de Ouèssè.
- En 2007 et 2008, le phénomène des feux de végétation s'était également densifié dans la Commune de Bassila. En 2008, en plus de cette observation, des poches ont été relevées au Sud précisément à l'Ouest de Paouignan dans la Commune de Dassa-Zoumé, et au Sud de la Commune de Savè, vers la frontière avec la Commune de Kétou
- En 2009, la tendance à la densification du Nord Ouest est maintenue. Quant à la période 2010, la densification a été plus forte à l'Est de la Commune de Bassila, au Sud et au Nord de Pira.

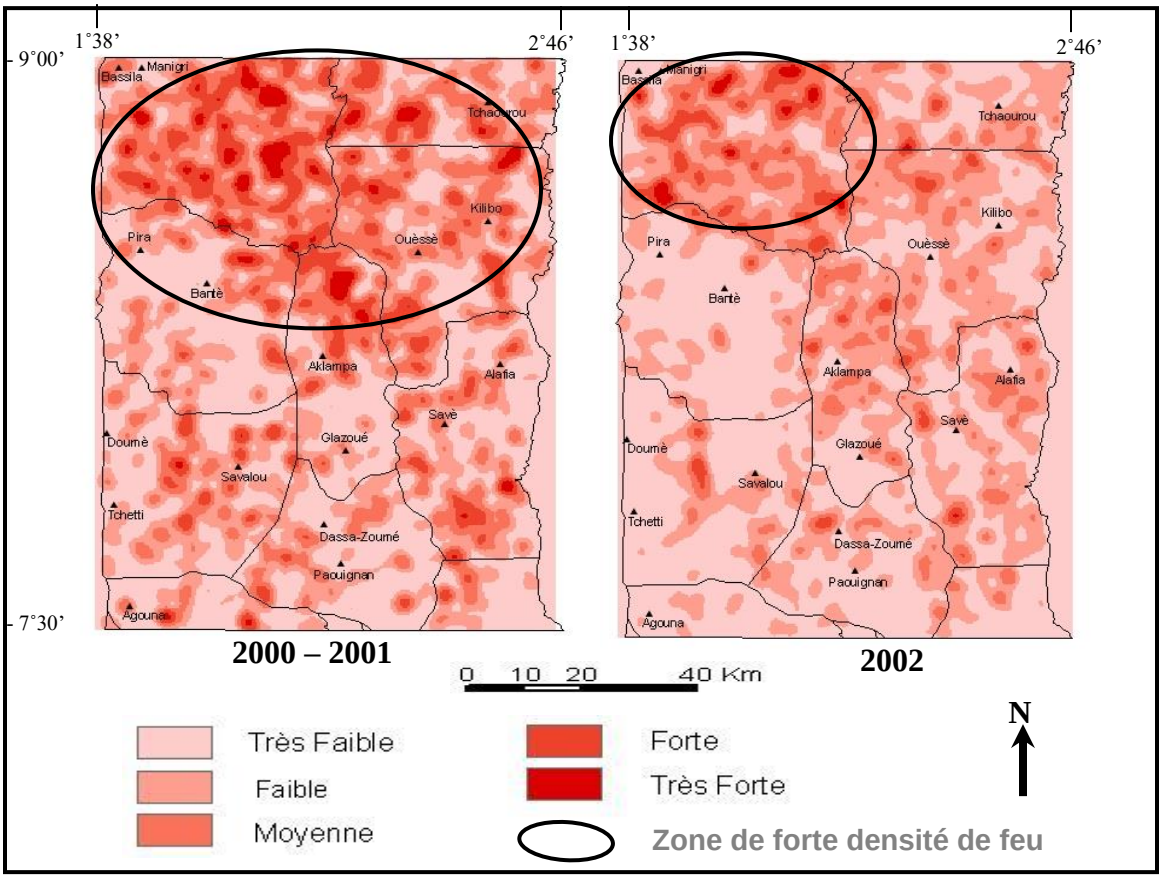


Figure 53a : Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (Nov 2000 à 2002)

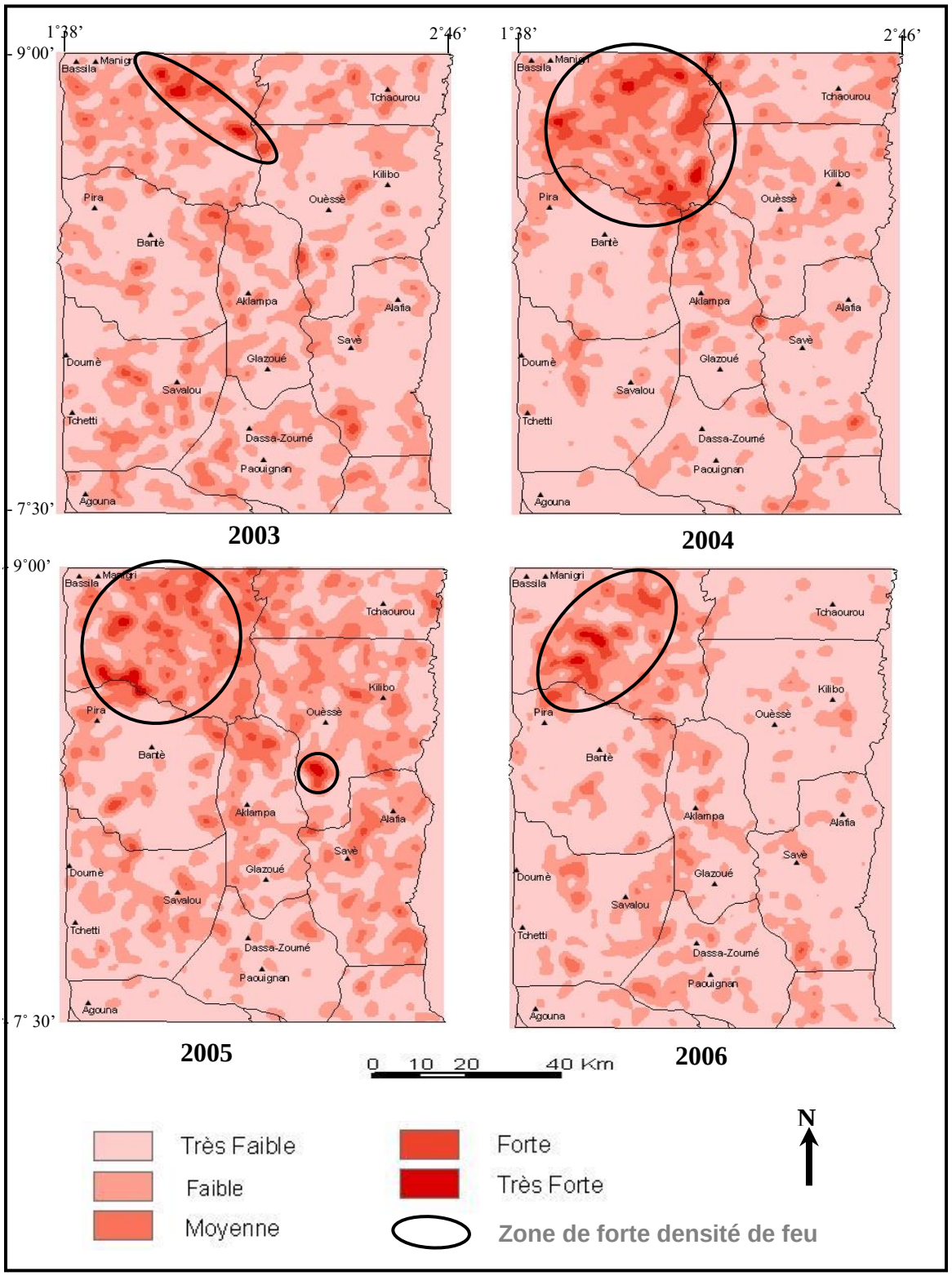


Figure 53b: Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (2003 à 2006)

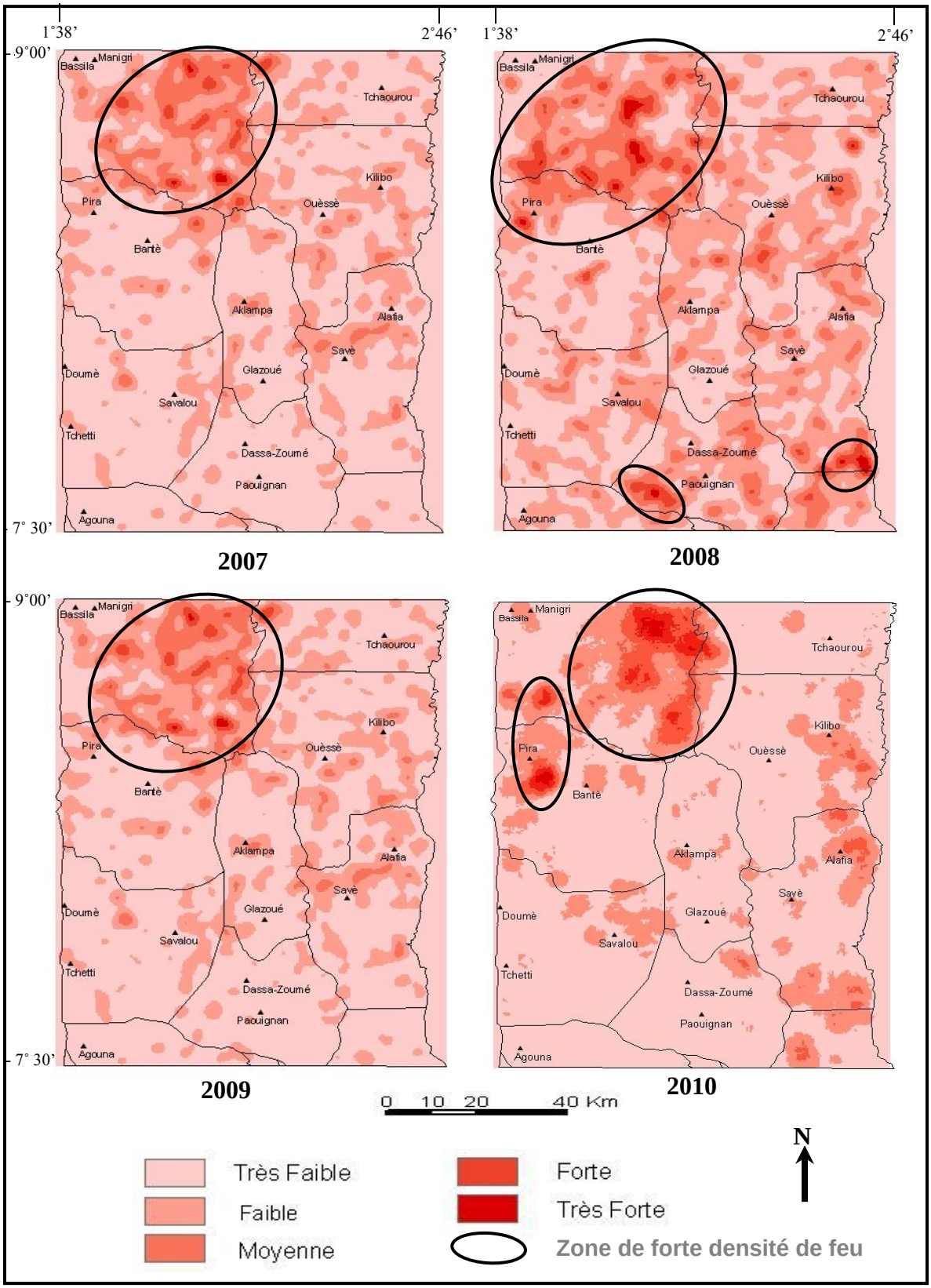
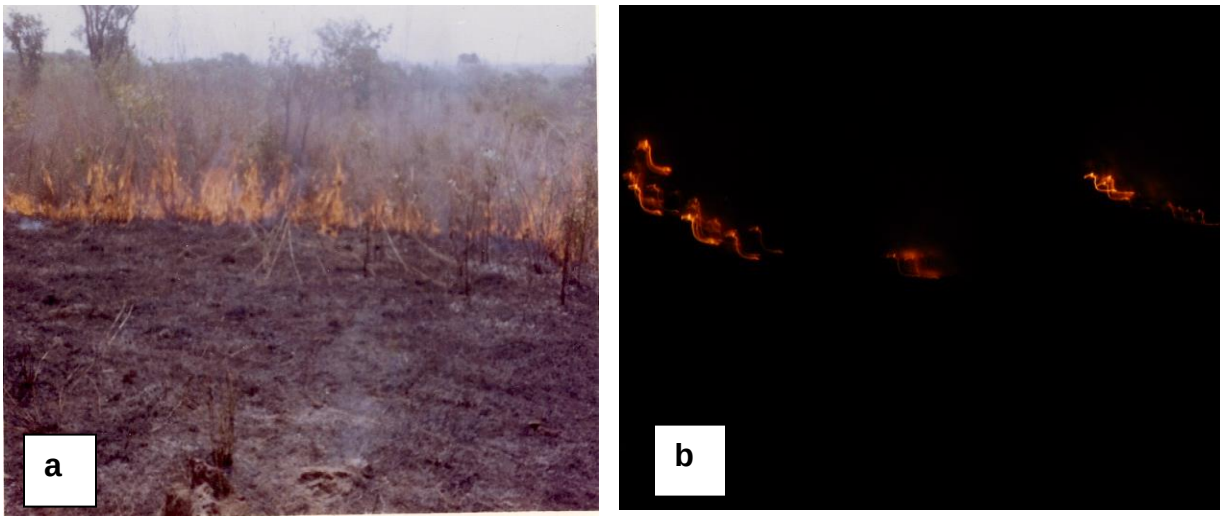


Figure 53c: Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (2007 à 2010)

L’analyse de la variabilité spatio-temporelle révèle que la Commune de Bassila, reste la zone où le phénomène est plus intensifié dans le secteur d’étude.

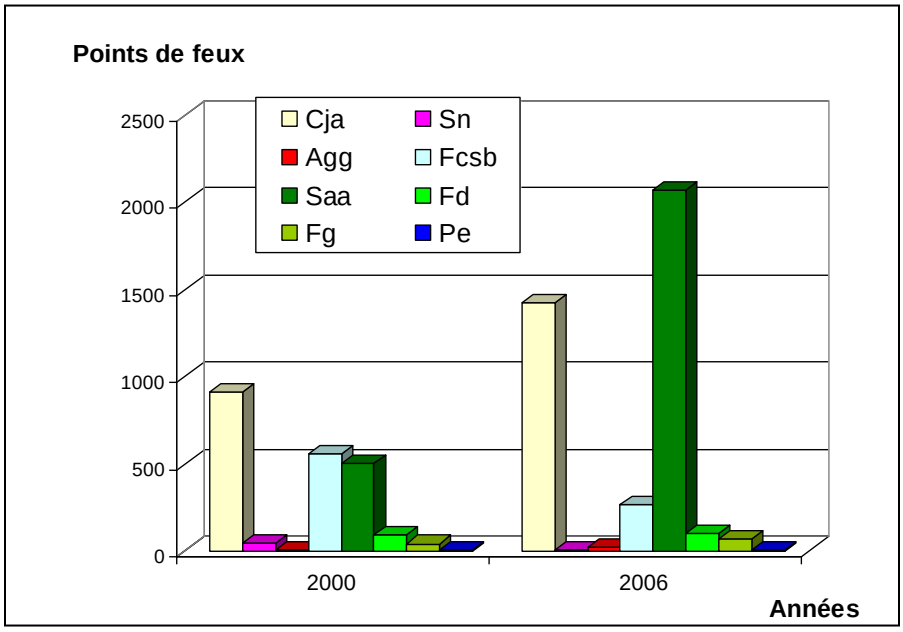
5.2. Analyse des feux par unités d’occupation des terres et superficies brûlées

L’étude de la répartition des feux par unités de l’occupation des terres a montré que les feux sont généralement plus intenses dans les jachères et champs, les savanes arborées et arbustives et les forêts claires et savanes boisées. Par exemple, en 2000, les champs et jachères ont été les plus affectés suivis de la forêt claire et savane boisée et de la savane arborée et arbustive. Par contre en 2006, la concentration des feux s’est faite dans les savanes arborées et arbustives, suivies des champs et jachères et des forêts claires et savanes boisées (figure 54). Ces feux parcourent chaque annee ces formations vegetales y compris les jacheres et sont allumés de jour comme de nuit (photos 3).



Photos 3: Feux allumés de jour parcourant une savane (a) vers Igbéré dans la commune de Savè et de nuit (b) dans la périphérie de Savalou, à Dohissa en allant vers Bantè (Cliché Oloukoi, Janvier, 2010)

Ainsi, les feux sont remarqués beaucoup plus dans les unités de formations végétales, expression de l’activité chlorophyllienne dans le milieu.



Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive ; **Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galeries.

Figure 54: Unités d'occupation des terres les plus affectées par les feux

En terme de surfaces brûlées (Photo 4), il est remarqué une variation selon les années (figure 55). En effet, les feux ont été beaucoup plus intenses en 1986 qu'en 2000 et 2006. Cela est dû à la spontanéité et à la saisonnalité des causes qui occasionnent ces feux. Par exemple, il a été remarqué qu'en 1986, les terres brûlées ont été plus considérables et éparpillées sur la zone d'étude mais avec une légère concentration vers le sud (figure 56). Les terres brûlées extraites de l'imagerie satellitale prise en pleine saison sèche, témoignent le fait qu'en 1986, la politique de gestion des feux n'était pas aussi rigide. La loi et le décret qui interdisent systématiquement les feux de végétation sur toute l'étendue du territoire datent de 1993 et 1996 respectivement.

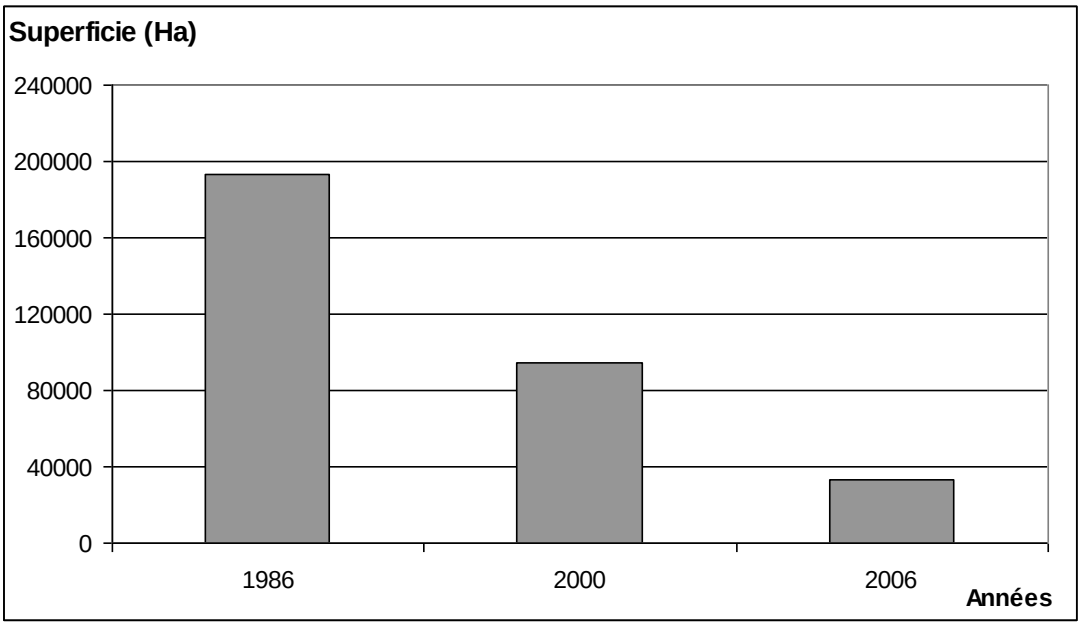


Figure 55: Evolution des superficies brûlées (1986, 2000 et 2006)

Entre 2000 et 2006, les superficies des terres brûlées ont connu graduellement une réduction (figures 57; 58), preuve que les campagnes de sensibilisation, ajoutées aux différents projets de restauration forestière, ont laissé des impacts non négligeables.

Par ailleurs, en novembre 2006, il importe de signaler que l'imagerie satellitale NigeriaSat1 n'a pas détecté des zones brûlées dans certaines Communes du secteur d'étude notamment vers le sud. Il est possible qu'à cette période de l'année où la saison sèche venait à peine de commencer que l'activité des feux n'ait pas totalement commencé dans ces Communes. Mais il est observé que les feux précoces avaient déjà commencé dans la Commune de Bassila, précisément dans les forêts classées de Wari Maro et des Monts Kouffé. Ces feux pourraient être des feux de gestion de ces forêts en vue de leur protection contre des feux dévastateurs observés en pleine saison sèche.

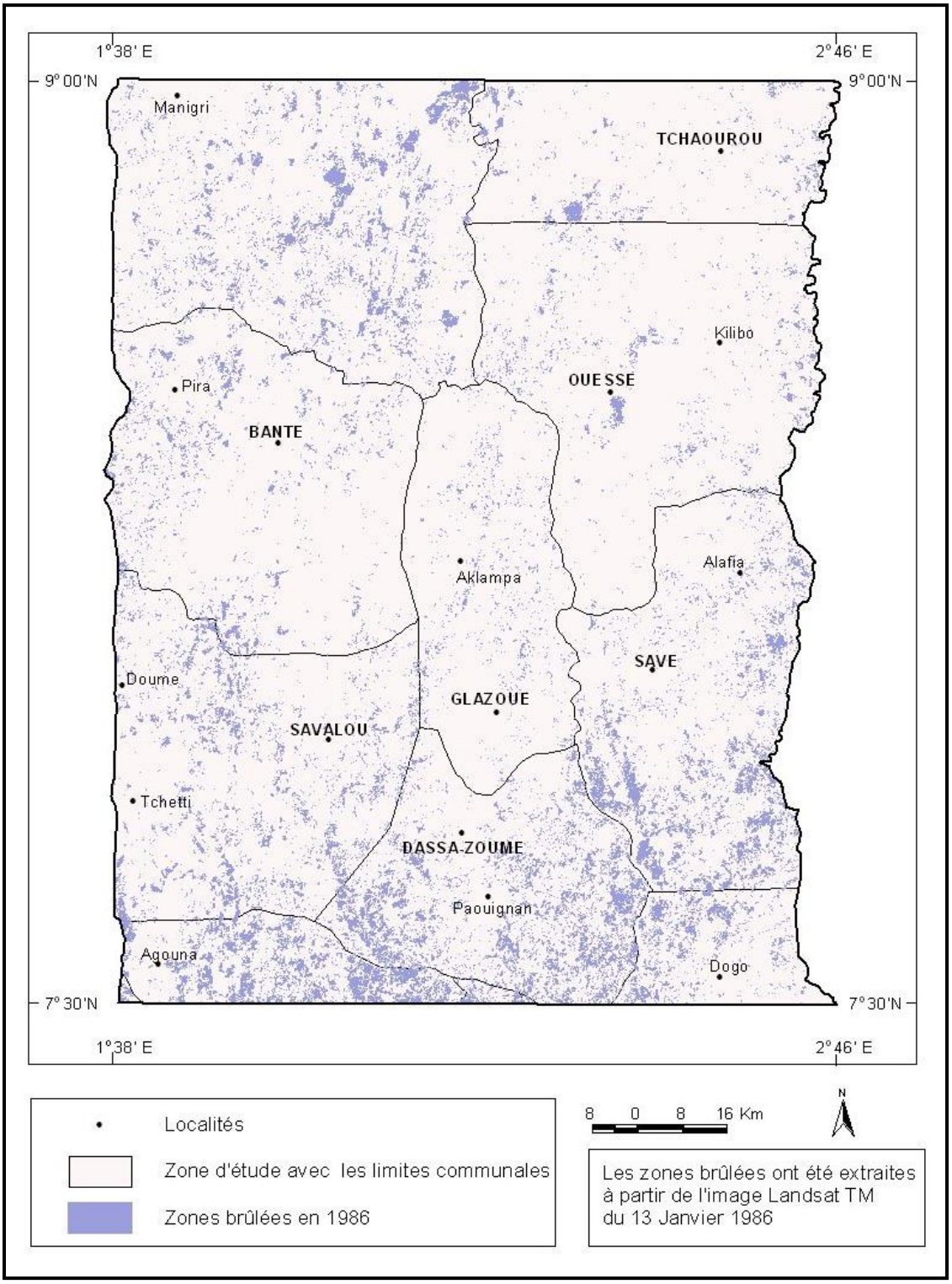


Figure 56: Répartition spatiale des terres brûlées en Janvier 1986

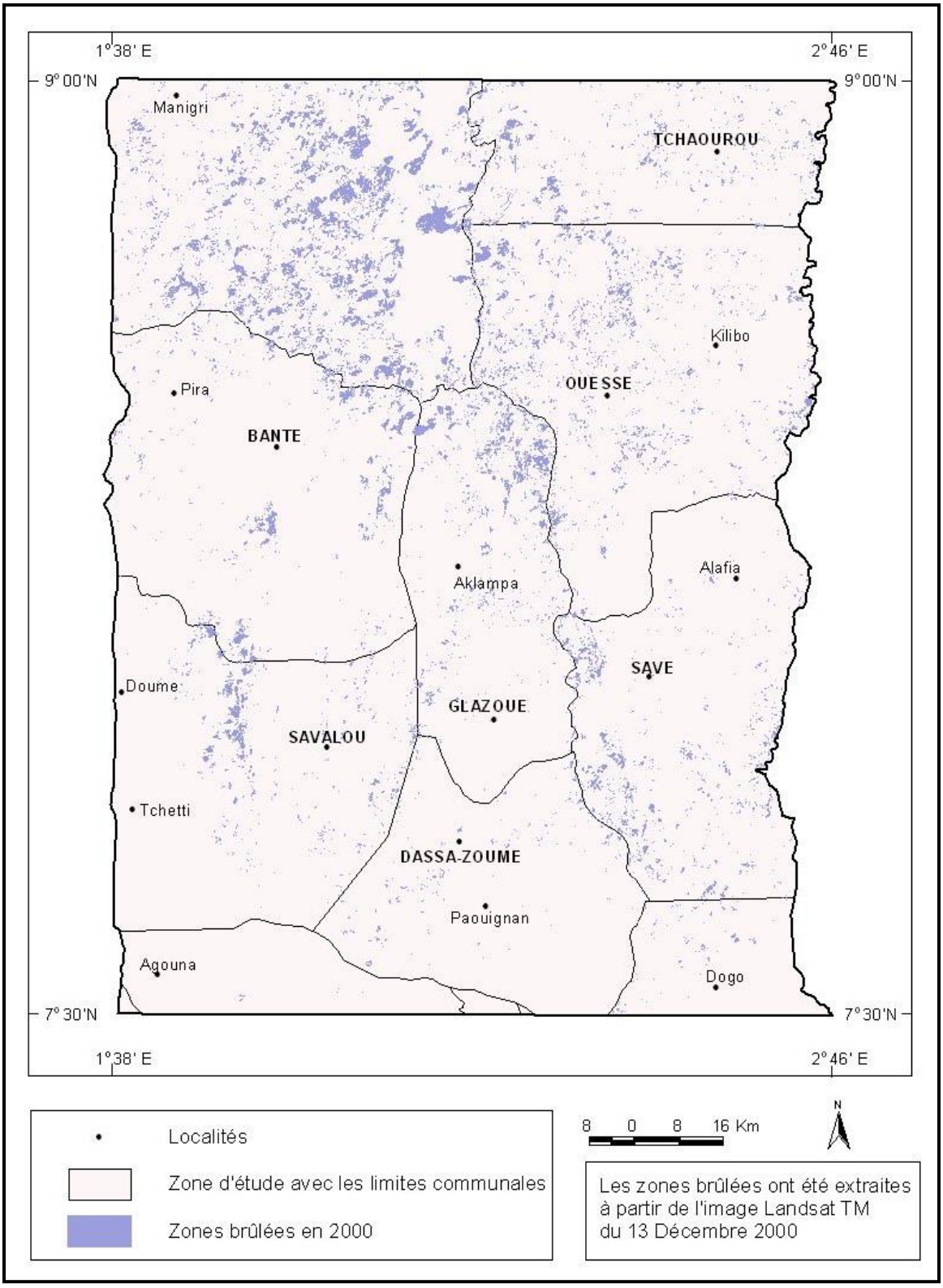


Figure 57: Répartition spatiale des terres brûlées en Décembre 2000

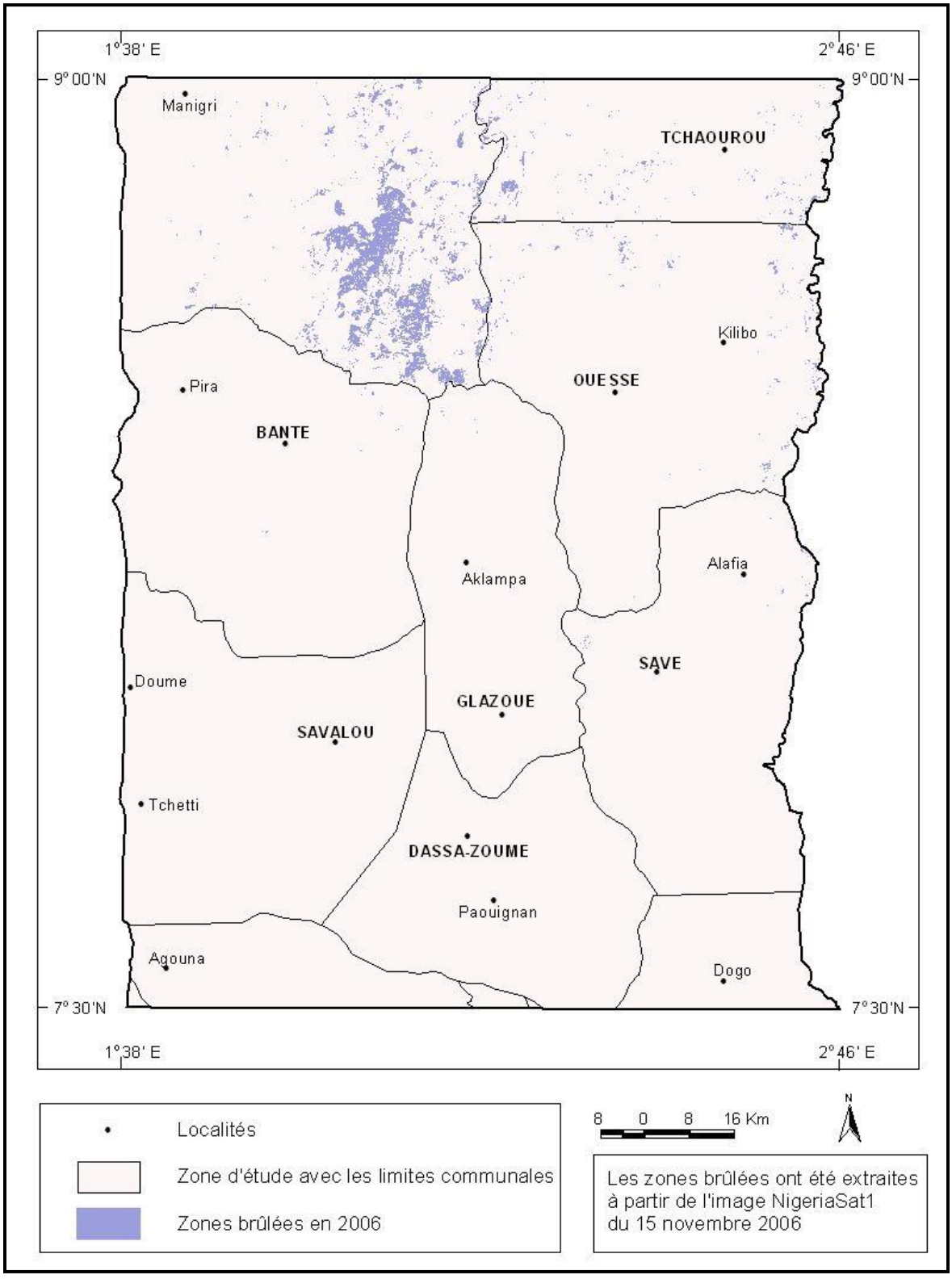


Figure 58: Répartition spatiale des terres brûlées en Novembre 2006



Photo 4: Jeune plantation de Teck brûlée jusqu'au sous-bois exposant le sol aux effets du rayonnement incident à la périphérie de Savalou (Cliché Oloukoi, Janvier, 2010)

Après le passage de feu, le sol devient nu et sombre. Au niveau de ce sol, il sera observé une absorption du rayonnement incident alors que la réflexion va être réduite, entraînant un faible albédo.

5.3. Analyse de l'intensification des feux sur la végétation

Cette section analyse l'existence d'une probable corrélation entre les feux et la végétation à travers l'indice de végétation normalisée (NDVI) et le Pouvoir Radiatif des Feux (PRF en Mégawatts) en décembre 2000 et en novembre 2006. Il s'agira de voir si l'intensification des feux a une corrélation avec la dynamique de la végétation.

5.3.1. Analyse spatiale du NDVI et du pouvoir radiatif des feux

L'indice de Végétation Normalisée (NDVI) générée en décembre 2000 et en novembre 2006 montre une disparité dans l'apparence de la végétation au niveau des deux périodes. En 2000, la végétation présentait encore des plages de formations denses montrées par le vert foncé même en saison sèche, alors qu'en novembre 2006, début de la saison sèche dans le milieu, ces plages de vert foncé n'ont été réduites qu'à

quelques rares poches, d'où encore une confirmation de la dégradation de la végétation montrée dans les chapitres précédents.
Les points de feu superposés sur les différents indices de végétation (figure 59) montrent une densification de ces feux en décembre, contrairement à novembre 2006 où quelques points se sont concentrés vers le sud de la zone d'étude. Les pouvoirs radiatifs (en MW) de ces feux montrant la quantité de chaleur ou d'énergie combustible libérée sur la végétation ou encore l'intensité du feu, sont spatialement représentés par la figure 60.

Le pouvoir radiatif du feu est plus intense en décembre 2000 qu'en novembre 2006. En témoigne la concentration des valeurs radiatives les plus élevées au nord de la carte de 2000, alors que cette concentration est moindre avec la carte de 2006 qui présente juste quelques poches de densité notée.

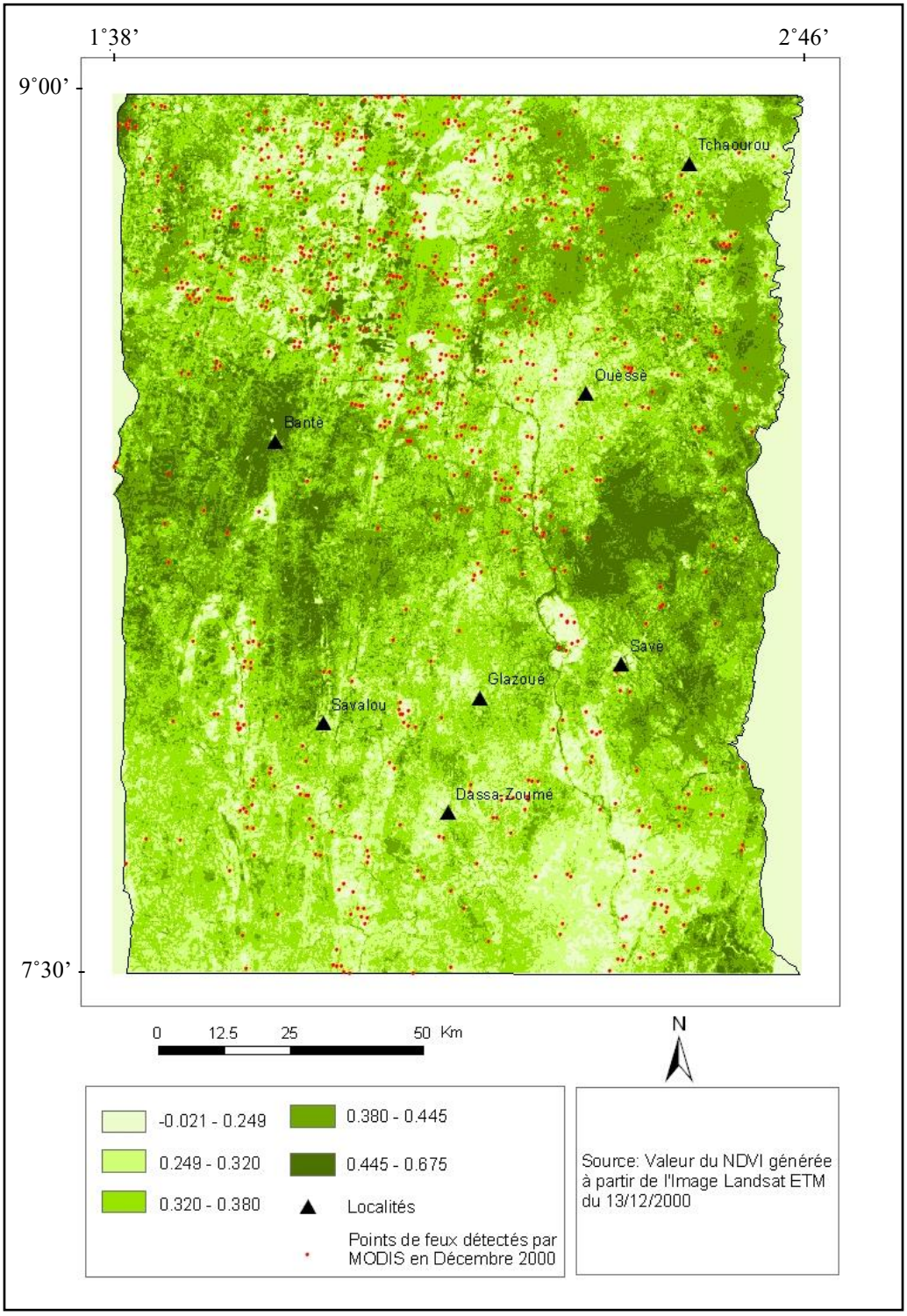


Figure 59a: Indice de Végétation Normalisé (NDVI) et points de feux de décembre 2000

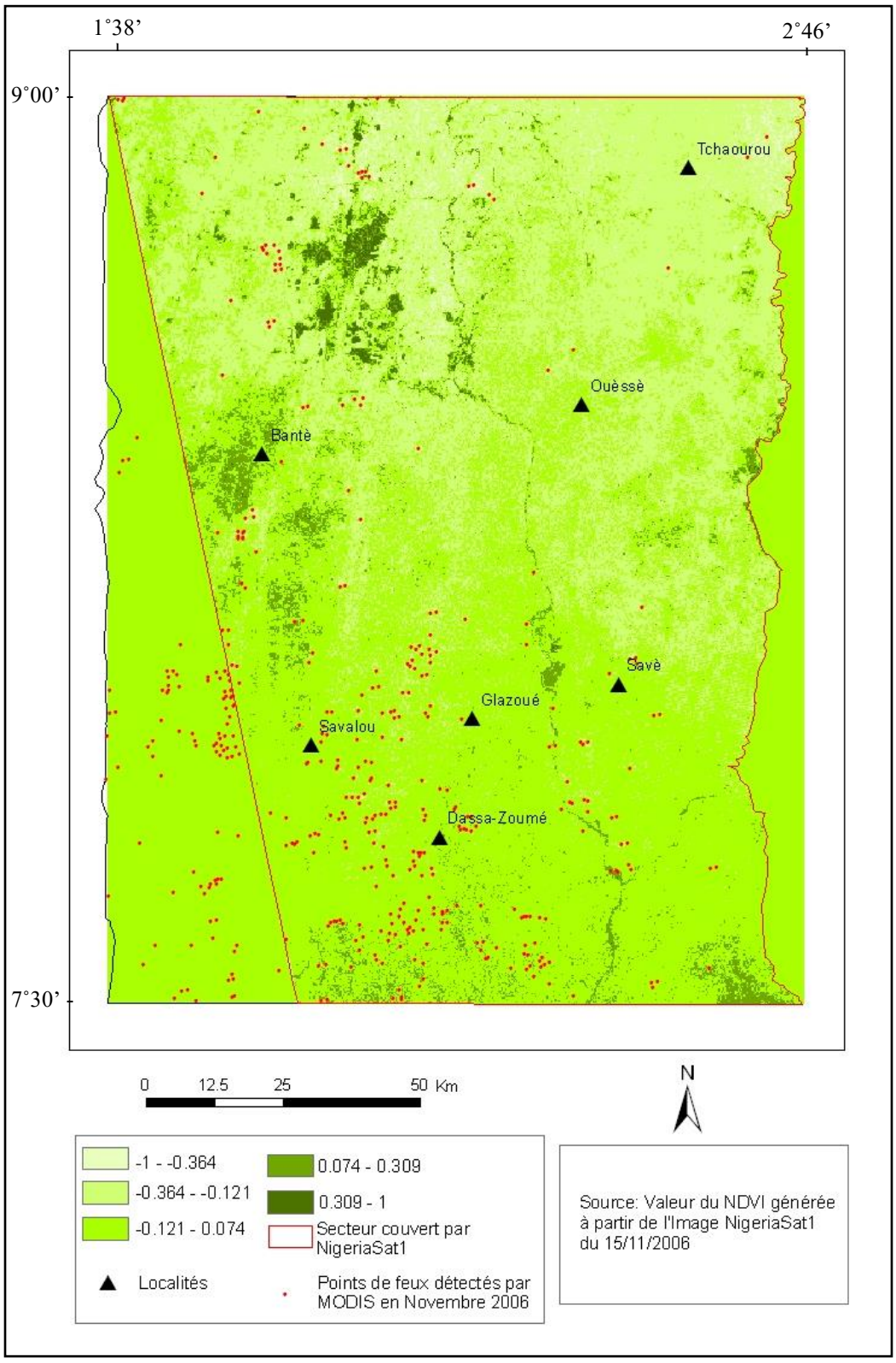


Figure 59b: Indice de Végétation Normalisé (NDVI) et points de feux de Novembre 2006

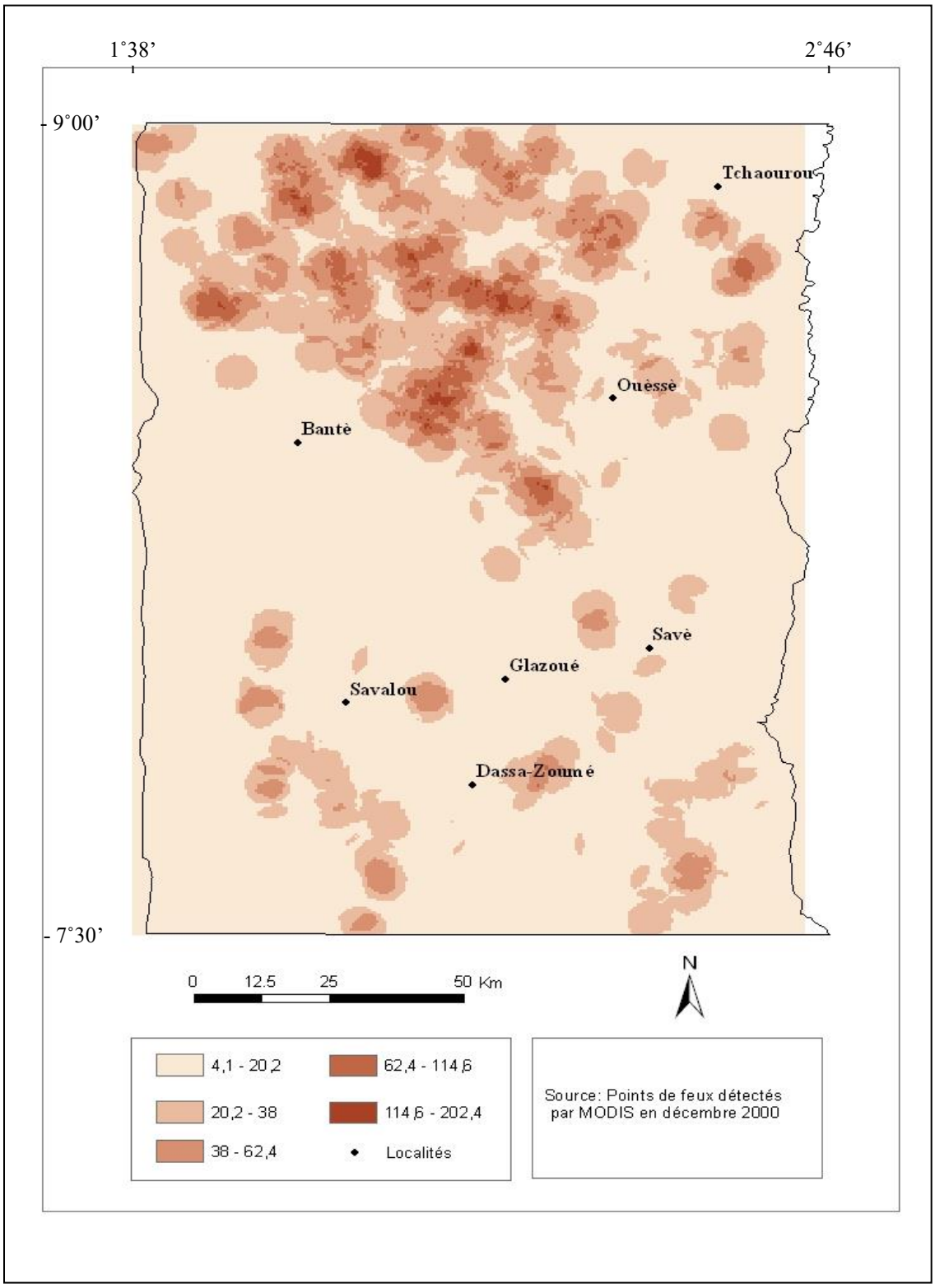


Figure 60a: Pouvoir radiatif des feux de végétation (en MégaWatt) en décembre 2000

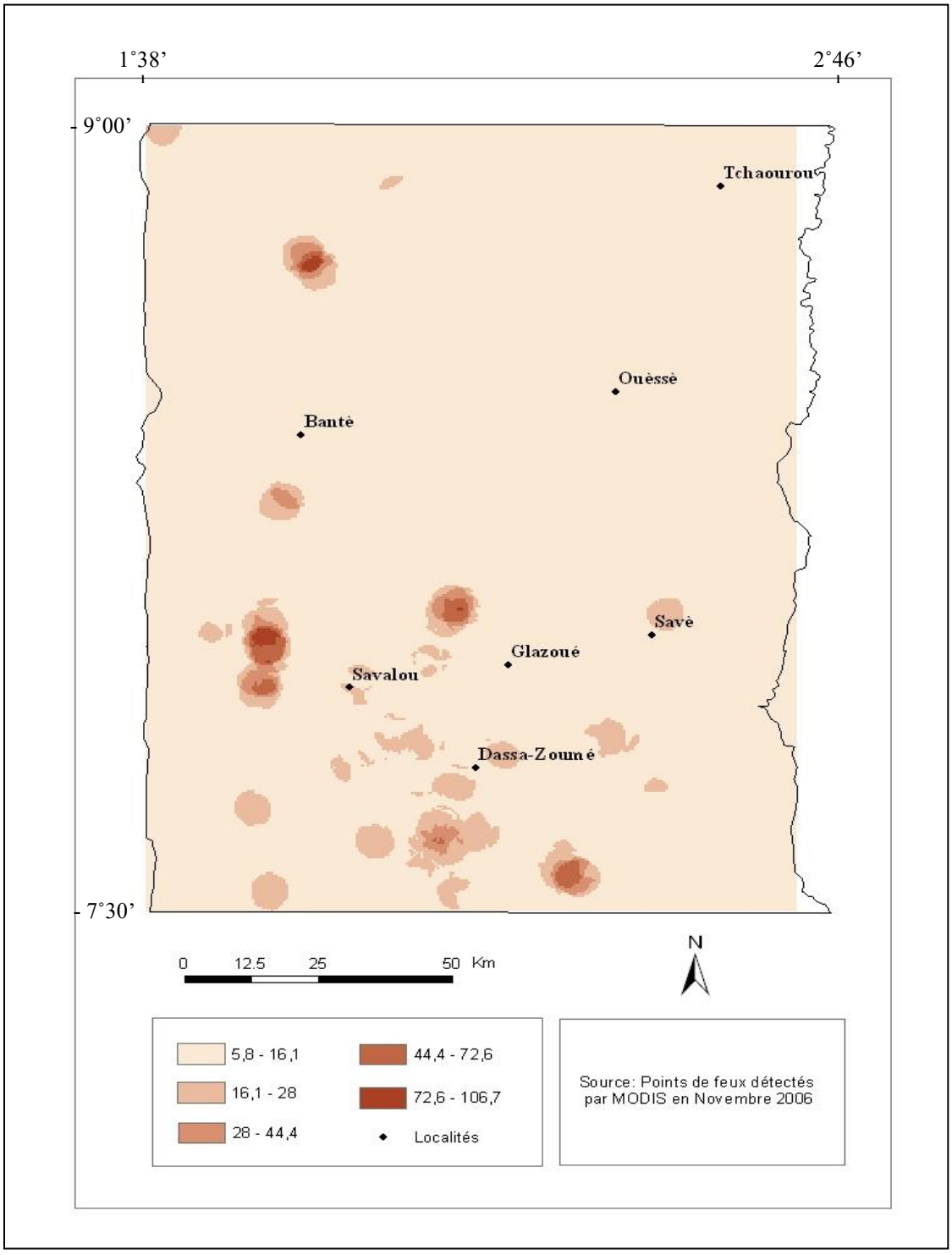


Figure 60b: Pouvoir radiatif des feux de végétation (en MégaWatt) en novembre 2006

5.3.2. Analyse statistique de la végétation et du Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) : Corrélation de Pearson

Les données ou variables utilisées pour cette analyse de corrélation sont le NDVI et le Pouvoir Radiatif des Feux. Les PRF sont obtenus avec les données MODIS acquises par les satellites Terra et Acqua depuis 2000. Ces points de feux ont été superposés à la carte du NDVI généré. Ensuite l'algorithme *'Extract Value to point'* dans ArcGIS a été utilisé pour extraire les valeurs du NDVI qui correspondent à chaque localisation de points de feu détectés.

Dans le cadre de cette étude de la relation entre l'occupation des terres et les feux de végétation, l'analyse statistique est fondée sur deux hypothèses de base. Il s'agit de l'hypothèse nulle (Ho) et de l'hypothèse alternative (H1) formulées comme suit :
Ho : Il n'y a aucune corrélation significative entre le NDVI et le Pouvoir Radiatif des feux
H1 : Il y a une corrélation significative entre le NDVI et le Pouvoir Radiatif des feux

5.3.2.1. Analyse de la corrélation en décembre 2000

Variable dépendante: Y= Valeurs du NDVI
Variable indépendante : X = Pouvoir radiatif des feux

Le coefficient de corrélation R de -0,089 obtenu en décembre 2000 entre les deux variables, indique qu'il existe une corrélation entre les feux et la végétation. Cette corrélation, bien que faible, est négative et significative à 0,05 de niveau alpha (tableau XLVIII). Alors, cela indique que lorsque le pouvoir radiatif des feux augmente, la valeur du NDVI diminue, évidence de la réduction de la densité de verdure de la végétation.

Tableau XLVIII: Test de corrélation effectué pour les données de décembre 2000 : Mesures symétriques

	Valeur	Erreur standard asymptotique [a]	T[b] Approx	Sig. Approx.
R de Pearson	-0,089	0,042	-2,455	0,014[c]
Corrélation de Spearman	-0,083	0,37	-2,278	0,023[c]
N de cas valides	751			

a. Hypothèse Ho non prise en compte
b. Erreur standard asymptotique utilisée pour prendre en compte Ho
c. Basée sur l'approximation normale

Un test plus avancé en vue d'apprécier la part du NDVI qui est expliquée par le pouvoir radiatif des feux a été réalisé. Une régression linéaire simple a été faite en utilisant l'Analyse de la Variance (ANOVA). Avec un degré de liberté de 1, la valeur F calculée de 6,028 en 2000, confirme l'existence d'une corrélation entre les deux variables en 2000, et aussi le coefficient de corrélation est significatif à 0,05 de niveau alpha (tableau XLIX). Par conséquent, l'hypothèse nulle Ho est rejetée pendant que l'hypothèse alternative H1 est acceptée.

Tableau XLIX: Analyse de la variance (ANOVA), 2000

Modèle	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré de la moyenne	F	Sig.
Régression	0,039	1	0,039	6,028	0,014
Résidus	4,827	749	0,006		
Total	4,866	750			

Sig. : Seuil de sgnificativité

Il existe une corrélation entre la végétation et les feux mais le niveau de cette corrélation est faible. D'après les analyses, les feux ne sont pas les seuls facteurs explicatifs de la dégradation ou de la dynamique de la végétation. La participation des feux, bien qu'elle soit évidente, est faible.

L'équation linéaire pour cette période est de la forme Y = a + bx + e, avec Y la variable dépendante (Indice de végétation normalisée en 2000) et x le pouvoir radiatif des feux en 2000). L'équation est donc 0 = 0,330 - (0,089b). Cette équation indique que les feux de végétation expliquent à environ 8,9% les faibles valeurs du NDVI au mois de décembre.

5.3.2.2. Analyse de la corrélation en Novembre 2006

Les mêmes variables utilisées pour la période 2000, ont été aussi utilisées en novembre 2006.

Variable dépendante: Y= Valeurs du NDVI
Variable indépendante : X = Pouvoir radiatif des feux

Il importe de noter qu'en novembre 2006, la contrainte majeure est la réduction de l'échantillon comparé à celui de décembre 2000. Cette réduction s'explique par le fait que le mois de novembre n'est que le début des activités de feux. On assiste à des feux ciblés, précoces qui sont allumés à quelques endroits pour protéger des champs et plantations contre des feux dévastateurs. Les feux de végétation ne sont pas aussi intenses qu'en pleine saison sèche.

La valeur R calculée de -0,008 indique qu'en novembre 2006, la corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et l'Indice de végétation normalisé est négative et très faible (tableau L). En ce moment de l'année, le coefficient de corrélation indique que la relation entre les deux variables, bien qu'existante, est négligeable.

Tableau L: Test de corrélation effectué pour les données de novembre 2006 : Mesures symétriques

	Valeur	Erreur standard asymptotique [a]	T[b] Approx	Sig. Approx.
R de Pearson	-0,008	0,064	-0,147	0,884[c]
Corrélation de Spearman	0,057	0,056	1,031	0,304[c]
N de cas valides	329			

d. Hypothèse Ho non prise en compte
e. Erreur standard asymptotique utilisée pour prendre en compte Ho
f. Basée sur l'approximation normale

Une analyse de régression linéaire simple, par l'intermédiaire de F ANOVA a été aussi réalisée. Avec un degré de liberté de 1, la valeur F de 0,21 en novembre 2006, indique que la corrélation entre les deux variables est significative à 0,05 de niveau alpha (tableau LI). Par conséquent, l'hypothèse nulle (Ho) est rejetée et l'hypothèse alternative H1 est acceptée. Ainsi, il y a une corrélation significative entre le pouvoir radiatif des feux et l'indice de végétation normalisée en novembre 2000.

Tableau LI: Analyse de la variance (ANOVA), 2006

Modèle	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré de la moyenne	F	Sig.
Régression	0,001	1	0,001	0,021	0,884
Résidus	8,744	327	0,027		
Total	8,744	328			

Sig. : Seuil de sgnificativité

L'équation linéaire pour cette période est de la forme Y = a + bx + e, avec Y la variable dépendante (Indice de végétation normalisée en 2006) et x le pouvoir radiatif des feux en 2006). L'équation est donc -7E-005 = - 0,077 - (0,008b), indiquant que les feux de végétation explique à environ 0,8% les faibles valeurs du NDVI en novembre.

En somme, il importe de remarquer qu'il existe une corrélation entre le comportement de la végétation et le feu. Lorsque le pouvoir radiatif des feux augmente, la densité et la verdure de la végétation exprimée par l'indice de végétation normalisé (NDVI) diminue. Néanmoins cette corrélation négative, bien qu'effective, est faible et est plus active en pleine saison sèche qu'à son début. Cette analyse révèle que les feux jouent un rôle partiel dans la dynamique de l'occupation des terres et surtout la dynamique des formations végétales. Cela sous-entend, qu'il y a d'autres facteurs explicatifs prépondérants dans la dynamique de l'occupation des terres.

5.4. Risque de feu dû aux facteurs climatiques

5.4.1. Analyse de la corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et les paramètres climatiques

L'analyse de la régression linéaire entre le pouvoir radiatif des feux (PRF) et les différents paramètres climatiques évoqués plus haut, montrent que réellement ces paramètres contribuent à des niveaux différents à la propagation des feux au Centre du Bénin (tableau LII).

Tableau LII: Corrélation entre le Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) et des facteurs climatiques

Variables	B	Coefficient de correlation (Pearson)	R^2	Test de Student	Sig.	F values
PRF et Humidité relative	33,580	-0,032	0,001	-1,483	0,138	2,199
PRF et Insolation	-35,043	0,054	0,003	2,529	0,012	6,396
PRF et Vitesse du vent	27,918	0,003	0,000	0,159	0,874	0,025
PRF et Temperature maximale	303,815	0,059	0,003	2,761	0,006	7,623

Sig. : Seuil de sgnificativité, F values : Valeurs statistiques de Fisher

Le coefficient de corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et l'humidité relative révèle une corrélation négative indiquant que lorsque l'humidité relative diminue, le pouvoir radiatif des feux augmente. Ce coefficient est de -3,2%.

La corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et l'insolation est positive. En effet le coefficient de corrélation, de 5,4%, indique que plus longue est la durée de l'ensoleillement, plus violent devient le feu de végétation.

De même, entre la vitesse du vent et le pouvoir radiatif des feux, la corrélation est positive avec un coefficient faible de 0,3%. Lorsque la vitesse du vent augmente, le pouvoir radiatif des feux s'intensifie.

La corrélation entre la température maximale et le pouvoir radiatif des feux est aussi positive avec un coefficient de corrélation de 5,9%.

De tous ces paramètres climatiques corrélés avec le pouvoir radiatif des feux, seules l'insolation et la température maximale sont significatives à 0,05 de niveau alpha.

5.4.2. Analyse de la corrélation du pouvoir radiatif des feux et la topographie du milieu

L'influence de la pente et de l'altitude a été analysée aussi par une régression linéaire avec la corrélation de Pearson (tableau LIII).

Tableau LIII: Corrélation entre le Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) et la pente et l'altitude de terrain

Variables	B	Coefficient de corrélation (Pearson)	R^2	Test de Student	Sig.	F values
PRF et Pente	28,84	0,005	0,000	0,224	0,823	0,050
PRF et Altitude	24,723	0,047	0,002	2,208	0,027	4,877

Sig. : Seuil de sgnificativité, F values : Valeurs statistiques de Fisher

Il ressort des analyses que la corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et la pente est positive avec un coefficient de Pearson de 0,5%. Plus la pente est élevée, plus le feu s'accélère et devient violent. En effet, l'angle entre le feu et son combustible se trouve réduit en montée et la vitesse de propagation de feu augmente. Par ailleurs, suivant le même principe, l'altitude influence aussi positivement le feu. La corrélation avec l'altitude est aussi positive et significative avec un coefficient de corrélation de 4,7%. Au fur et à mesure que l'on évolue vers les zones d'altitudes plus élevées, les feux deviennent intenses. Cela confirme aussi en partie le déséquilibre qu'il y a entre les activités de feu au Sud et celles du Nord. Généralement les activités de feux de végétation sont plus intenses vers le Nord.

5.4.3. Corrélation entre la température de surface et l'Indice de Végétation Normalisée (NDVI) : Analyse de l'indice de sécheresse de la végétation

Le niveau de risque de feu selon l'indice de sécheresse est établi en fonction des intervalles des valeurs ajustées de la pente m entre la température et le NDVI.

La pente entre la température de surface et le NDVI est de -2,4% montrant une corrélation négative entre ces deux paramètres (tableau LIV).

Tableau LIV : Corrélation entre la température de surface Ts et le NDVI

Variables	B	Coefficient de corrélation (Pearson)	R^2	Test de Student	Sig.	F values
Température maximale et NDVI	50,525	-0,024	0,001	1,355	0,176	1,826

Sig. : Seuil de sgnificativité, F values : Valeurs statistiques de Fisher

L’équation de la régression linéaire est de la forme $Ts = m \cdot NDVI + n$, avec Ts la température de surface, m la pente, NDVI l’indice de la végétation normalisée et n l’interception.

Connaissant la valeur de la température et celle du NDVI à chaque point de feu détecté par MODIS, la valeur ajustée de m a été déterminée. L’interpolation de ces points en utilisant les nouvelles valeurs de *m* a permis de réaliser la carte de risque de feu suivant l’indice de sécheresse de la végétation (figure 61). Ainsi des zones à risque faible, à risque élevé et à risque très élevé ont été identifiées entre novembre et février. Il ressort que tout point de la zone d’étude où existe du combustible dont la végétation sèche, en cette période précise de l’année peut être affectée par le feu, mais à des niveaux différents selon l’envergure de la température de surface qui assèche l’humidité de la végétation et par conséquent réduit l’indice de la végétation normalisée (NDVI).

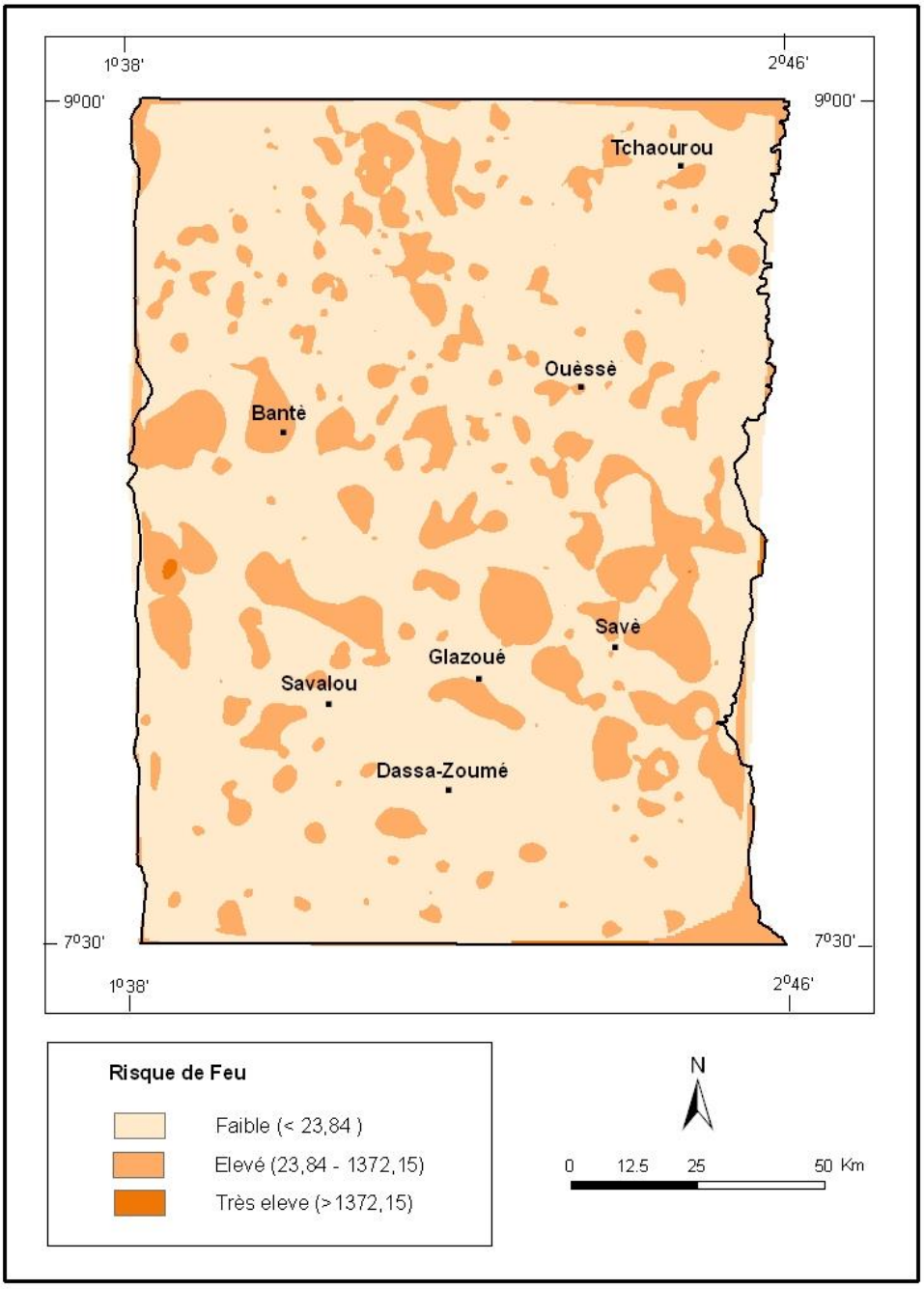


Figure 61: Niveau de risque de feu de végétation selon l'indice de sécheresse de la végétation

Au total, il importe de retenir que les facteurs climatiques et topographiques du milieu préparent l'environnement au feu qui est déclenché par l'homme à travers ses activités.

5.5. Facteurs humains de départ et de propagation des feux au Centre du Bénin

En dehors des facteurs climatiques et ceux du milieu qui participent à la propagation des feux, l'homme y joue un rôle de choix. Il s'agit dans cette section d'inventorier les causes socio-économiques qui sont à la base du départ et de la propagation des feux au Centre du Bénin. De ces facteurs socio-économiques, une typologie des feux de végétation au Centre du Bénin est faite.

5.5.1. Causes des feux de végétation dans le Centre du Bénin

Selon les personnes interviewées, les acteurs à la base du phénomène des feux de végétation dans le Bénin central sont variés. Les acteurs majeurs sont les chasseurs, les paysans et les peulh transhumants généralement en provenance du Nigeria. Ces trois acteurs sont à près de 80% responsables des actes de feux. Mais en première position figurent les chasseurs (29,8%) suivis des transhumants (29%) et des paysans (20,6%). En dehors de ces acteurs, environ 20% considèrent que les feux de végétation sont l'œuvre de petits enfants et des fumeurs, mais aussi des personnes animées de haines envers leurs prochains (tableau LV).

Tableau LV: Facteurs humains responsables des feux de végétation au Centre du Bénin

Facteurs identifiés	Fréquence %
Chasse	29,8
Elevage transhumant	29
Techniques culturales	20,6
Petits enfants et fumeurs	16
Actes de Haine	4,6
Total	**100**

Source : Enquête de terrain, Octobre et Novembre 2009

Les feux de végétation engendrent chaque année des dommages et conséquences socio-économiques et environnementales au niveau des Communes de la zone d'étude. Les dommages restent les mêmes dans toutes les localités parcourues. En effet plus de 46% des personnes interviewées considèrent que le plus grand dommage

est la dévastation des champs et plantations par les feux soit par inattention ou actes de haine de la part des auteurs. Selon les perceptions paysannes enregistrées sur le terrain, les dommages sont aussi écologiques partant de la déforestation, l'appauvrissement des terres agricoles, la fuite des animaux sauvages, l'incendie des habitations surtout pour celles construites en pailles et qui ne sont pas loin des zones de végétation, et la pollution due à l'épaisse fumée qui monte dans l'atmosphère chaque fois que les feux sont allumés (tableau LVI).

Tableau LVI: Dommages crées par les feux de végétation

Dommages selon les populations	Fréquence %
Dévastation des champs et plantations	46,6
Appauvrissement du sol	26,7
Déforestation	13,7
Fuite des animaux (ce qui affecte la chasse)	7,1
Incendie des habitations (surtout celles en pailles)	3,1
Aucun dommage	1,9
Pollution de l'atmosphère (les fumées)	0,9
Total	**100**

Source : Enquête de terrain, Octobre et Novembre 2009

De ces différents facteurs humains déclenchant les feux, il découle la typologie des feux présentée dans la section qui suit.

5.5.2. Typologie des feux de végétation au Centre du Bénin

Le Centre du Bénin est le théâtre de plusieurs types de feu dont les plus importants sont : les feux agricoles, les feux de chasse, les feux de renouvellement du pâturage, les feux criminels, les feux de protection des biens et personnes et des feux d'aménagement et de gestion des aires protégées.

5.5.2.1. Feux agricoles

Il s'agit généralement des feux de défrichement agricole fortement pratiqués dans tout le Centre du Bénin. Plus de 20% des personnes interrogées sur le terrain estiment que ces feux sont à la base des feux de végétation observés au Centre du Bénin. Ils sont liés au système d'agriculture itinérante que pratique la majeure partie des paysans dans

le Centre du Bénin. Ces feux sont allumés en pleine saison sèche jusqu'à l'orée des premières pluies entre février et mai. Le cultivateur effectue le brûlage en groupe d'entraide avec le soutien de ces membres de famille, ce qui lui permet de maîtriser tout débordement. Ce type de feu n'est pas perçu comme un fléau par les agriculteurs, mais est plutôt nécessaire dans la conquête de nouvelles zones agricoles. Le brûlage de la biomasse contribue à l'enrichissement du sol en cendre et par ricochet à l'amélioration de la fertilité agricole, notamment pour la culture d'igname. En dehors des feux allumés après défrichement à la machette, il existe une autre pratique de feux agricoles avant défrichement, qualifiée de feux agricoles à l'aveuglette. Avec cette pratique, la végétation est mise à feu sans délimitation, ni défrichement préalable du domaine à cultiver. C'est une technique culturale utilisée en vue de l'installation de nouveaux champs dans des vieilles jachères ou sur des sites de végétation naturelle dense.

5.5.2.2. Feux de chasse

Ils sont les premières sources de feux de végétation qui occasionnent d'importants dégâts matériels chaque année, selon plus de 29% des opinions recueillies sur le terrain. Dans certaines localités du Centre du Bénin notamment dans les villages reculés, les feux de chasse constituent une institution socio-culturelle très vivace et sont pratiqués de façon récurrente sur les mêmes espaces durant toute la saison sèche. Considérant le mode d'organisation de la chasse moyennant le feu comme outil de gestion, deux types de chasse sont distingués dans le Centre du Bénin : la petite chasse et la grande chasse ou chasse communautaire.

Les feux de petite chasse sont allumés généralement aux heures les plus chaudes généralement vers 14 heures, jusqu'au soir. Ils sont des fois abandonnés à leur course incontrôlée à la tombée du jour jusqu'aux jours suivants, où ils se propagent ardemment aux heures chaudes de la journée, catalysés par le vent sec. Ces feux connaissent la participation des élèves pendant les weekend ou congés. En dehors de l'usage de feu, de jeunes gens se déplacent à pieds avec des chiens, et sont munis de gourdin, de bâtons, de machettes, d'arcs et flèches, etc. Les feux de grande chasse sont des feux tardifs allumés au niveau de chaque village ou groupes de villages de janvier à mai. Ils sont l'œuvre de groupes de jeunes hommes dirigés par des chasseurs

«professionnels» locaux. Ces jeunes gens reçoivent l'aval ou les bénédictions du Baalè (Chef de terre), du Balodè (Chef des chasseurs). Les groupes partent, soit à bord de camions ou sur des motocyclettes, ou même à pieds, armés de fusils, de machettes, de bâtons, de flèches et carquois, de chiens et de provisions alimentaires et peuvent séjourner quelques jours en forêts. La grande chasse est une pratique culturelle très organisée par des institutions traditionnelles et engendre un engouement populaire dans les villages. Les chasseurs reviennent avec des gibiers tués comme des rongeurs, des serpents, des oiseaux et quelques fois des antilopes. Ces gibiers sont répartis suivant des règles bien établies entre les chasseurs et les autorités traditionnelles compétentes, notamment le baalè et les chefs chasseurs. Pendant la grande ou la petite chasse, les chasseurs brûlent les espaces délaissés lors des feux précoces, les forêts galeries, pour y débusquer le gibier, ou pour les rabattre vers un lieu où ils pourront être massacrés collectivement. Des plantations qui servent de lieu de refuge pour les animaux sont aussi affectées par des feux allumés à proximité par les chasseurs. Ainsi, chaque jour, pendant au moins trois mois en période sèche, les chasseurs brûlent à plusieurs reprises des espaces tant qu'ils portent des combustibles.

5.5.2.3. Feux de renouvellement du pâturage

Ces feux sont l'œuvre des pasteurs transhumants et des bouviers locaux. En effet les troupeaux bovins transhumants sont exclusivement conduits par des pasteurs peulh transhumants et des bouviers peulh locaux. Ces derniers précèdent le passage de leurs troupeaux pour repérer leur parcours et brûlent les végétations sèches rencontrées afin de stimuler la régénération naturelle du fourrage frais et tendre. Cette technique de régénération du pâturage par les feux intervient essentiellement en saison sèche et touche toutes les réserves forestières du Centre du Bénin. Selon les investigations faites sur le terrain, ces feux contribuent à 29% aux feux de végétation annuels observés au Centre du Bénin. Des fois, ces feux pastoraux sont incontrôlés et constituent la source de conflit avec les agriculteurs locaux. Avec cette pratique, de vastes superficies de savanes, de forêts et de jachères sont consumées chaque saison sèche pour produire le fourrage aux bovins. Les transhumants séjournent notamment

dans les forêts classées de Wari-Maro, des Monts-Kouffé, d'Agoua, de Toui-Kilibo etc., et contribuent fortement à leur incendie annuel.

5.5.2.4. Feux de protections des champs, plantations et des biens ou feux de renvoie

Ce sont des feux précoces allumés dès le début de la saison sèche. Ils permettent de brûler toute biomasse de la végétation spontanée susceptible de devenir des combustibles attisant les incendies accidentels. Ces feux sont allumés dans les abords des cases isolées ou des villages, des pistes d'accès au village, les greniers, des infrastructures socio-collectifs tels que les magasins de stockage. Egalement, ils sont utilisés pour protéger les plantations d'*Elaeis guineensis*, de *Tectona grandis*, des vergers de *Mangifera Indica*, et d'*Anacardium occidentale*, contre tout feu destructeur et accidentel. C'est le cas de la technique de protection des jeunes régénérations assistées, utilisée par les organisations communautaires de gestion participative des forêts classées de Dogo au Nord de la Commune de Kétou. Selon les acteurs rencontrés sur le terrain, au moins 3 paysans sur 4 pratiquent les pare-feux de protection des plantations. Les plus évidents et réguliers sont ceux autour des plantations d'*Anacardium occidentale* (Yabi, 2007).

5.5.2.5. Feux accidentels

Ces feux ne présentent aucun mobile préalable mais sont le fruit de hasard par suite d'un usage imprudent de feu en amont. Les feux accidentels sont généralement causés par le brûlage incontrôlé des débris d'entretiens routiers par les tâcherons, le rejet de mégots de cigarette par les fumeurs dans la nature, l'abandon de torches de feu ayant servi à la récolte de miel, des feux de veille et de gardiennage des véhicules en panne sur les voies de circulation, etc. De même, l'activité de production du charbon de bois est une importante cause de feux accidentels. En effet, la pleine période de production de charbon se situe en saison sèche. Lors de la carbonisation, il arrive souvent que les fours de terre utilisés s'effondrent et laissent échapper des braises et flammes qui entraînent l'incendie qui se propage rapidement dans les formations végétales environnantes. Selon 16% des personnes interrogées sur le terrain, ces feux ont une part considérable dans les feux dévastateurs observés au Centre du Bénin.

5.5.2.6. Feux criminels

Ces types de feu sont rares, mais existent au Centre du Bénin. Environ 4,6 % des personnes interrogées ont confirmé la réalité de ces feux au Centre du Bénin. Ils sont déclenchés avec une intention préméditée de nuire aux intérêts d'un individu, d'une communauté ou institution, en brûlant ses ou leurs biens les plus exposés tels que les plantations, les champs, les récoltes, les habitations. Ces feux sont souvent reconnaissables par leurs sources de départ situées à l'intérieur ou à proximité de l'infrastructure ou des plantations sabotées, malgré les mesures de protection mises en place par les propriétaires. La jalousie ou des conflits fonciers en seraient les principaux mobiles des auteurs qui très souvent visent les plantations d*'Anacardium occidentale* au Centre du Bénin.

Au total, qu'ils soient accidentels ou criminels, il a été remarqué qu'entre 30 et 100 ha de plantations privées d'anacardiers sont brûlés par Commune du Centre du Bénin chaque année. Cela occasionne ainsi, une perte provisoire de revenu aux propriétaires de l'ordre de 1 800 000 à 6 000 000 FCFA par Commune et par an (Alimi, 2010).

CHAPITRE SIXIEME

FACTEURS, IMPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES TERRES

Considérant l'ampleur des changements évidents mis en exergue dans le chapitre précédent, le présent chapitre examine les facteurs ou causes fondamentaux des changements observés dans l'occupation des terres par la mise en place d'un modèle statistique et spatial des causes immédiates des changements observés. Il s'agit d'une analyse multicritères qui a intégré les feux de végétation parmi les facteurs qui *à priori* influencent la dynamique de l'occupation des terres. Dans un deuxième temps, les implications environnementales et socio-économiques de ces changements seront aussi analysées.

6.1- Modèle statistique et spatial des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres dans le Centre du Bénin

6.1.1. Modèle de Régression multiple de la contribution de chaque facteur à la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin

Le modèle de régression multiple est adopté pour tester la relation entre la variable dépendante à savoir le taux de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres (TDYNA) entre 1986 et 2006, et les 17 variables indépendantes. TDYNA est une variable catégorique dans l'étude, d'où l'utilisation de la régression multiple linéaire (RML) car la variable ne peut pas être dichotomisée.

Dans le modèle, la valeur F calculée de ANOVA (4,692) (tableau LVII) montre une contribution significative de toutes les variables indépendantes à 0,05 de niveau alpha. Le R^2 ajusté de 0,437 indique que toutes les variables indépendantes expliquent à environ 43,7 % le taux de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres (TDYNA) avec un degré de liberté (Df) de 17. Ainsi, l'hypothèse nulle est rejetée pendant que l'hypothèse alternative est acceptée car toutes les variables

indépendantes expliquent de façon significative le taux de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres (TDYNA).

Tableau LVII: Résumé du Modèle et estimation de ANOVA pour la Régression Multiple Linéaire

R	R^2	R^2 ajusté	Erreur Std.	Modèle	Somme des carrés	Df	Carré moyen	Valeur F	Sig.
0,745[a]	0,555	0,437	1,02936	Régression	84,522	17	4,972	4,692	0,000[a]
				Résidus	67,814	64	1,060		
				Total	152,335	81			

a Predictifs: (Constant), S_IGNAME, ALT, FFTRAQ, SDE_MOY, abat, ACRED, VARI_PLUIE, IMPAG, dterre, HFTRAVQ, DenPop2, DIST_MAR, FERSOL, accev, Pente, S_COTON, Nbre_Feux
b Variable dépendante: TDYNA

Dans la régression multiple linéaire, les variables explicatives sont considérées en utilisant la procédure ''Entrer'' (*ENTER*) de SPSS. La valeur des coefficients des variables indépendantes avec une constante négative de -1,034 est l'interception du modèle d'équation.

Certaines variables indépendantes présentent une corrélation positive avec la variable dépendante, comme indiquée dans leurs coefficients. Ainsi une augmentation de ces variables entraîne la probabilité d'augmentation du taux de la dynamique d'occupation des terres (TDYNA). Par exemple une augmentation de 0,019 unités de la variable Disponibilité de la terre (DTERRE) entraîne une augmentation d'une unité de la variable TDYNA. Les autres variables explicatives avec des valeurs de coefficient positives sont les forces de travail masculines et féminines (HFTRAVQ, FFTRAQ), l'altitude (ALT), la distance par rapport au marché le plus proche (DIST_MAR), la superficie moyenne défrichée (SDE_MOY), la variation pluviométrique (VARI_PLUIE) (tableau LVIII).

Les variables indépendantes ayant montré une corrélation négative avec la variable dépendante (TDYNA) sont l'accessibilité des villages (Accev), la place de l'agriculture dans les sources de revenu (IMPAG), la superficie annuelle moyenne défrichée pour la culture d'igname (S_IGNAME), l'abattage des arbres (abat), l'accès au crédit (ACRED), la densité de la population (DenPop2), la fertilité des sols (FERSOL), la pente (Pente), la superficie annuelle moyenne défrichée pour la culture de coton (S_COTON) et le nombre de points de feux de végétation détectés (Nbre_Feux). Par exemple, une

augmentation de 0,491 unités de la densité de population (DenPop2) explique une diminution d'une unité de TDYNA. La conclusion est que cette augmentation de la densité de population est inversement proportionnelle au taux de la dynamique de l'occupation des terres.

Tableau LVIII: Coefficients des différentes variables indépendantes

Variables		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
	(Constant)	-1.034	2.949		-.350	.727
	ALT	.003	.005	.091	.594	.555
	Pente	-.058	.126	-.060	-.462	.646
	FERSOL	-.120	.181	-.068	-.660	.512
	accev	-.646	.311	-.237	-2.076	.042
	dterre	.165	.885	.019	.187	.852
	IMPAG	-.030	.421	-.007	-.071	.943
	ACRED	-.293	.435	-.060	-.674	.503
	FFTRAQ	.126	.109	.106	1.151	.254
	HFTRAVQ	.147	.086	.160	1.721	.090
	SDE_MOY	.225	.134	.184	1.674	.099
	Nbre_Feux	-7.926E-5	.000	-.047	-.192	.849
	S_IGNAME	-7.105E-5	.000	-.259	-1.357	.180
	S_COTON	.000	.000	-.407	-1.503	.138
	DenPop2	-.036	.013	-.491	-2.823	.006
	VARI_PLUIE	.426	.572	.067	.744	.459
	abat	-.113	.817	-.013	-.138	.891
	DIST_MAR	.004	.013	.030	.297	.767

Correlation positive
Correlative négative

En considérant le niveau de significativité des valeurs des coefficients de la corrélation des variables indépendantes, les valeurs Sig. indiquent que seules les variables Accev, DenPop2 sont significatives à 0,05 de niveau alpha.

6.1.2. Revue des facteurs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

Les facteurs influençant positivement la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres par ordre de contribution sont : la superficie moyenne défrichée par an (0,184), la

force de travail masculine (0,160), la force de travail féminine (0,106), l'altitude (0,091), la perception endogène ou paysanne de la variation pluviométrique (0,067), la distance par rapport au marché d'écoulement des produits (0,030) et enfin la disponibilité en terre (0,019).

Selon les investigations faites sur le terrain, la superficie moyenne annuelle défrichée varie entre 0 et 5,33 ha. La majorité des exploitants (plus de 65%) défriche entre 0 et 1 ha, confirmant la présence remarquée de petits exploitants au Centre du Bénin. Environ 33 % défrichent annuellement une superficie comprise entre 1 et 5 ha. Seulement 2% emblavent une superficie supérieure à 5 ha (figure 62). Toutefois selon les acteurs, cette variable est celle qui influence le plus la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Bénin.

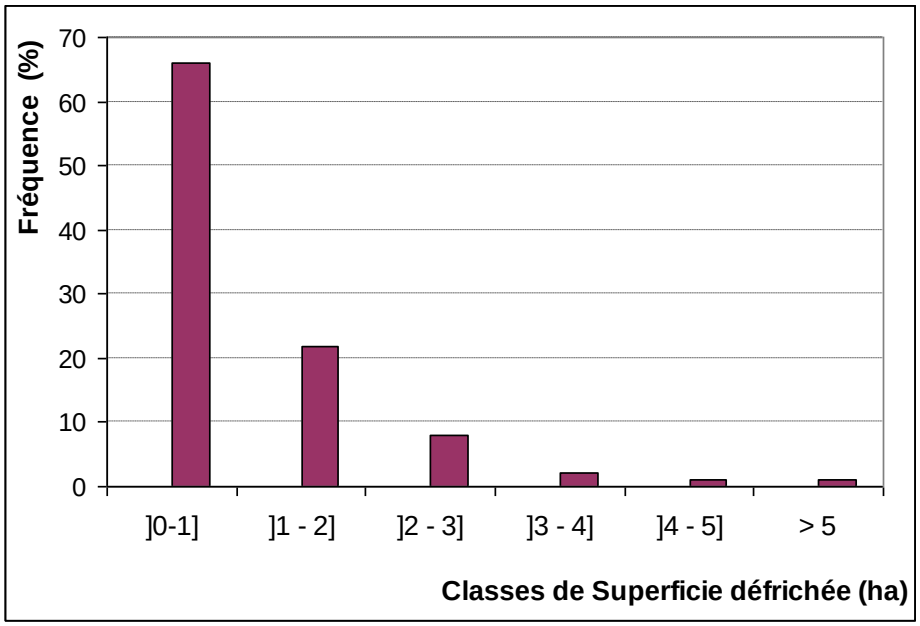


Figure 62: Superficie moyenne défrichée par an
Source : Enquête de terrain, Octobre – Novembre 2009

La force de travail masculine comprenant les personnes actives ayant un âge compris entre 15 et 60 ans constitue aussi un des facteurs les plus prépondérants en matière de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. En effet, chaque ménage peut avoir entre 0 et 7 personnes dans cette fourchette d'âge, travaillant sous l'autorité du chef de ménage. Quant à la force de travail féminine, leur âge est compris entre 0 et 60 ans et chaque ménage peut avoir entre 0 et 5 femmes actives travaillant surtout dans le

ménage agricole. La présence de ces facteurs comme prenant une part active au processus de la dynamique du milieu indique que la disponibilité de la main d'œuvre est un paramètre de choix dans la transformation du milieu, en l'occurrence dans l'extension des terres agricoles.

Concernant la disponibilité des terres, l'opinion endogène dans le Centre du Bénin estime qu'il y a encore suffisamment de terres. Plus de la moitié des personnes interviewées considèrent que la terre est encore très abondante (figure 63). Mais est - ce la raison pour exploiter la terre et ses ressources sans souci de préservation ?

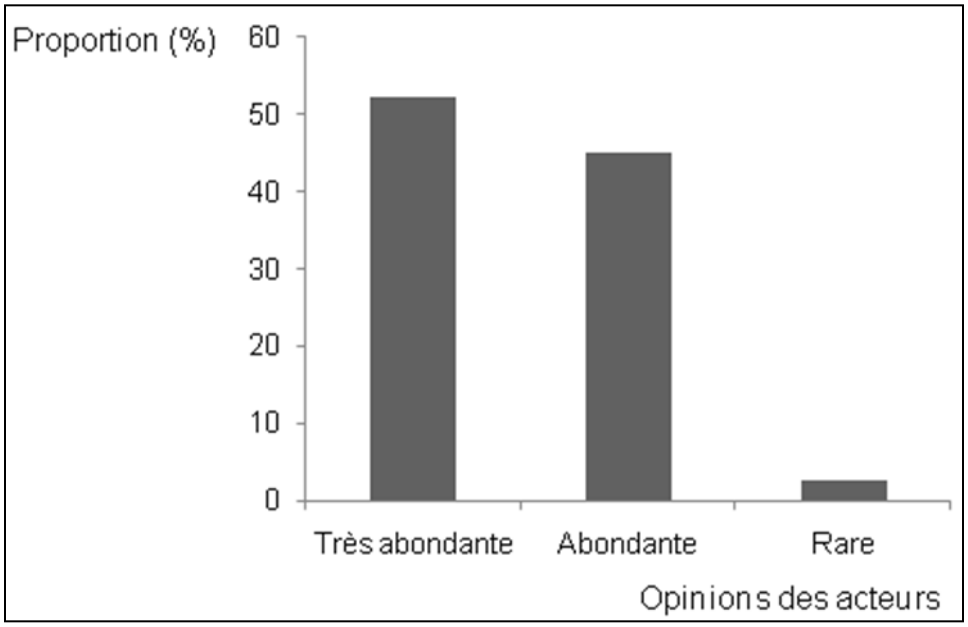


Figure 63*:* Opinion endogène des acteurs sur la disponibilité des terres

Source : Enquête de terrain, Octobre et Novembre 2009

La variation pluviométrique indique que l'agriculture est toujours pluviale dans le Centre du Bénin. Une perturbation du cycle pluviométrique affecte le système de culture comme l'expriment plus de 97% des acteurs. Certains ont relevé que cette variation présente des impacts sur leur système de culture, ce qui a nécessité des stratégies locales d'adaptation. Les opinions exprimées par la population révèlent que les cinq dernières années (2004-2009) ont été plus sèches que pluvieuses tandis que les dix et quinze dernières années (1999-2009 ; 1994-2009) ont été pluvieuses. Selon les mêmes

perceptions, les vingt dernières années (1989-2009) ont été plus pluvieuses (tableau LIX).

Tableau LIX: Perceptions paysannes sur la variabilité pluviométrique

Opinions des acteurs	Fréquence (%)			
	2004-2009	1999-2009	1994-2009	1989-2009
Plus sèche que pluvieuse	67,38	15,60	11,43	5,71
Pluvieuse	24,11	68,09	55	35
Plus pluvieuse	8,51	16,31	33,57	59,29
Total	100	100	100	100

Source : Enquête de terrain, Octobre et Novembre 2009

Les conséquences de cette variation pluviométrique selon les perceptions paysannes se traduisent par la baisse de la productivité et du rendement agricole, le bouleversement et la non maîtrise du calendrier agricole, l'affectation de la germination. Les stratégies d'adaptation varient, et les plus remarquables sont la reconversion dans d'autres secteurs d'activités (exploitation forestière, artisanat, élevage, pèche, production du charbon de bois etc.), la migration de certains acteurs vers d'autres régions, le déplacement du front des activités agricoles vers les bas-fonds ou zones humides, l'attente de la pluie après imploration des dieux, l'adoption des semences de variétés à cycle court.

La proximité du marché d'écoulement des produits agricoles et forestiers est un paramètre qui oriente aussi les acteurs dans l'exploitation des ressources du milieu. En effet, plus de 60% des personnes interviewées parcourt entre 0 et 10 km pour atteindre le marché d'écoulement de leurs produits (figure 64). Plus le marché est proche, plus motivés sont ces acteurs dans l'exploitation des ressources car ils ne perdront pas assez de temps pour atteindre le lieu de vente. Néanmoins certains vont au delà de 10 km et même à une distance de plus de 300 km. Il s'agit de gros exploitants qui exportent leurs produits vers les grands centres commerciaux du pays à savoir Cotonou, Bohicon, Porto-Novo, Parakou, Glazoué etc.

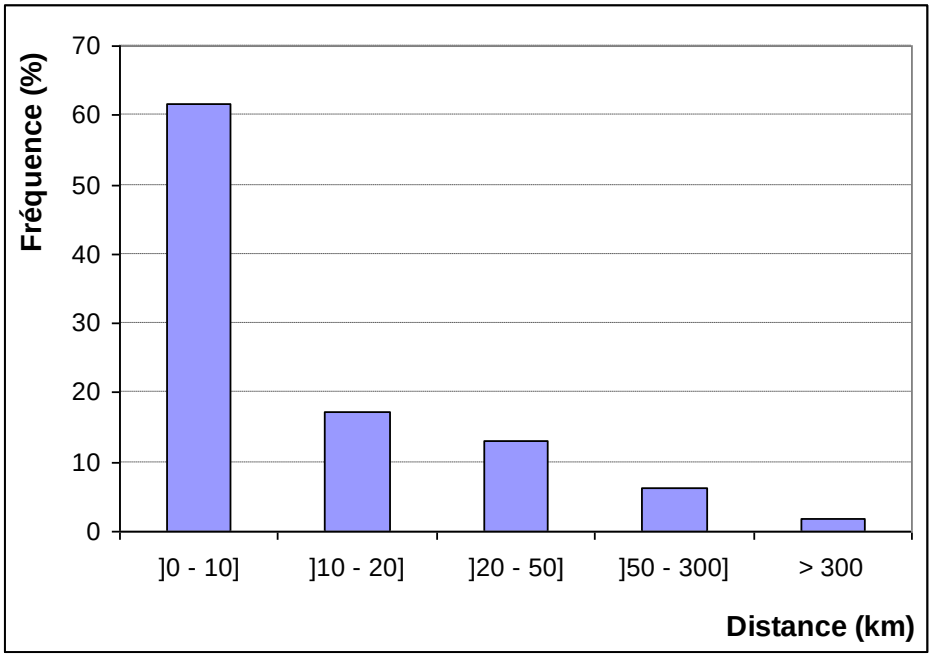


Figure 64: Distance par rapport au marché d'écoulement des produits
Source : Enquête de terrain, Octobre – Novembre 2009

Des facteurs qui influencent négativement la dynamique de l'occupation des terres, par ordre de contribution sont : la densité de la population (-0,491), la superficie annuelle moyenne défrichée pour la culture de coton (-0,407), la superficie annuelle moyenne défrichée pour la culture d'igname (-0,259), l'accessibilité des villages (-0,237), la fertilité des sols (-0,068), la pente de terrain (-0,060), l'accès au crédit (-0,060), les feux de végétation (-0,047), l'abattage des arbres (-0,013), la place de l'agriculture dans les sources de revenu (-0,007).

La densité moyenne est de 49 habitants au km^2 avec un écart type estimé à 31,20, indiquant une hétérogénéité des densités au Centre du Bénin. Une augmentation de cette densité entraine une régression de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres.

Les superficies moyennes défrichées annuellement pour les cultures de coton et d'igname contribuent à la régression du taux de la dynamique de l'occupation des terres. Mais bien que ces facteurs influencent négativement l'occupation des terres, il importe de souligner que les cultures concernées ont évolué différemment depuis 1998. En effet la superficie défrichée pour la culture du coton a connu une chute (figure 65). Selon les agriculteurs, ce désintérêt face à cette culture autrefois prisée, vient de son

exigence en engrais chimique, de sa forte sollicitation en main d'œuvre, mais aussi du revenu généré qui n'est plus à la hauteur des efforts consentis compte tenu de la pratique des prix sur le marché international. La filière coton participe pour 10 à 15 % au Produit Intérieur Brut (PIB) et représente 90% des exportations agricoles, constituant du coup une ressource vitale pour l'économie béninoise. Elle fournit des revenus monétaires à quelques 325.000 familles paysannes, mais elle a aussi une grande importance pour d'autres branches économiques comme les transports, la construction routière, l'égrenage, la recherche et la vulgarisation (Burmann, 2005). Quant à la culture d'igname, la superficie défrichée annuellement connaît actuellement une tendance linéaire progressive. La superficie emblavée pour cette culture croît chaque année mais depuis la saison 2007-2008, elle a connu une stabilité.

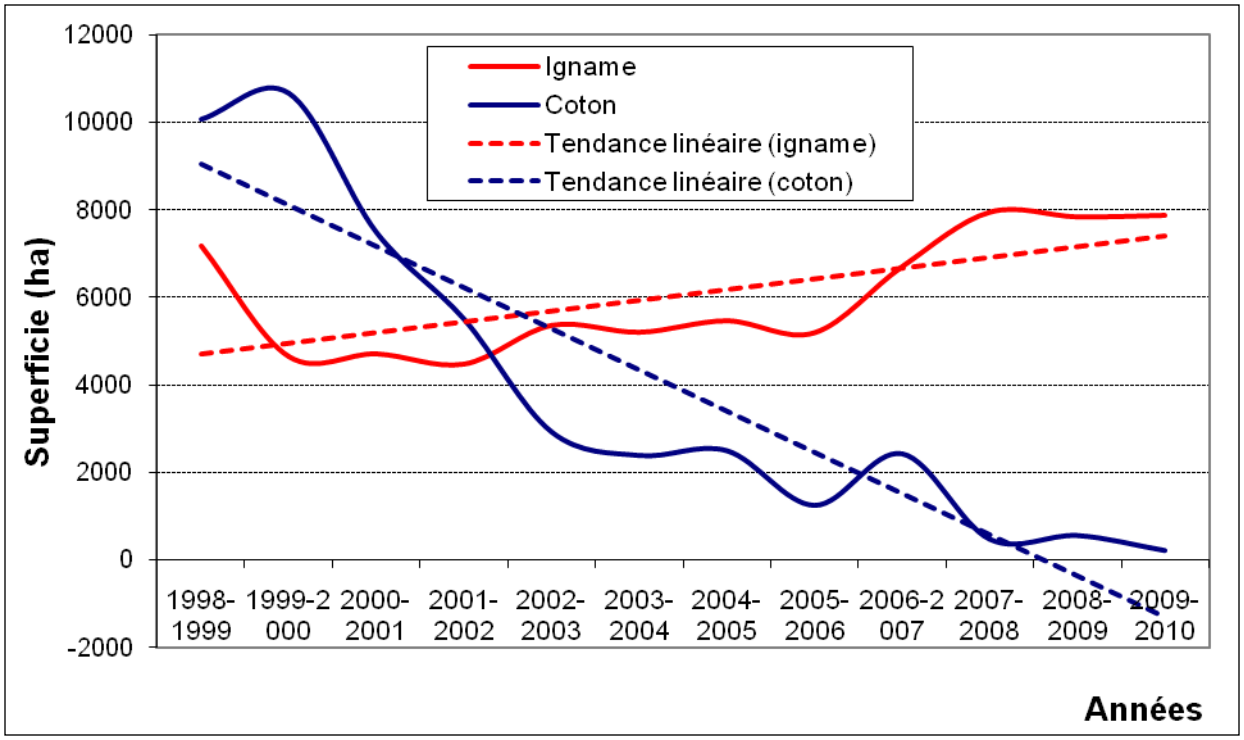


Figure 65: Evolution de la superficie du coton et d'igname entre 1998 et 2010
Source : MAEP (2010): Direction de la programmation et de la prospection, Service statistique : Annuaire statistique campagne agricole 2009-2010

Au total, il importe de retenir que depuis la saison 2001-2002, la culture du coton bien que dégradant l'environnement, n'est plus la culture la plus consommatrice de l'espace au Centre du Bénin. La culture d'igname dont l'évolution de la superficie emblavée

présente une tendance linéaire positive, consomme plus d'espace et par conséquent influence la dynamique de l'occupation des terres que le coton.

Pour la culture du coton, les paysans coupent systématiquement tous les arbres qui pourraient empêcher le soleil de bien atteindre les plants car le coton est une plante héliophile ayant besoin de la lumière pour assurer sa croissance. Ainsi le champ de coton est généralement dénudé, tous les arbres ayant été abattus (photo 5).



Photo 5: Au premier plan, Champs de Coton dans lequel on note l'absence d'arbre à Anihingbé dans l'arrondissement de Monkpa dans la Commune de Savalou (Cliché Oloukoi, Avril, 2011)

L'igname est par essence une culture exigeante qui nécessite un sol très riche pour sa croissance. Elle se cultive lorsque les substances nutritives du sol sont encore intactes. Elle présente deux exigences : la première exigence est la terre vierge c'est-à-dire une terre neuve qui n'avait reçu aucune culture auparavant ou une terre ayant bénéficié d'une longue jachère, permettant ainsi une importante accumulation de la matière organique pour une bonne reconstitution du sol. La deuxième exigence est d'ordre hygrométrique c'est-à-dire une quantité d'eau suffisante. Ainsi les paysans sont contraints de défricher de nouveaux espaces en l'occurrence sur des sols

hydromorphes. Le système de buttage est consommateur de l'espace car les champs sont organisés en des buttes isolées avec chaque butte amassant une quantité des fois excessive de matières nutritives (photo 6). Il s'agit de grosses buttes de forme conique à base large qui peuvent dépasser 1m de hauteur. Par cette méthode, la partie superficielle du sol, riche en humus se trouve entasser sur une surface réduite. Les plants d'igname trouvent de ce fait des réserves nutritives nécessaires à leur croissance. Les buttes sont construites avec des houes à grande lame (daba) qui pénètrent profondément dans le sol et arrachent sur tout leur passage le système racinaire des végétaux en place. Cette opération étant répétée chaque année, la régénération de certaines espèces végétales qui devraient protéger les sols contre l'érosion, est rendue difficile.

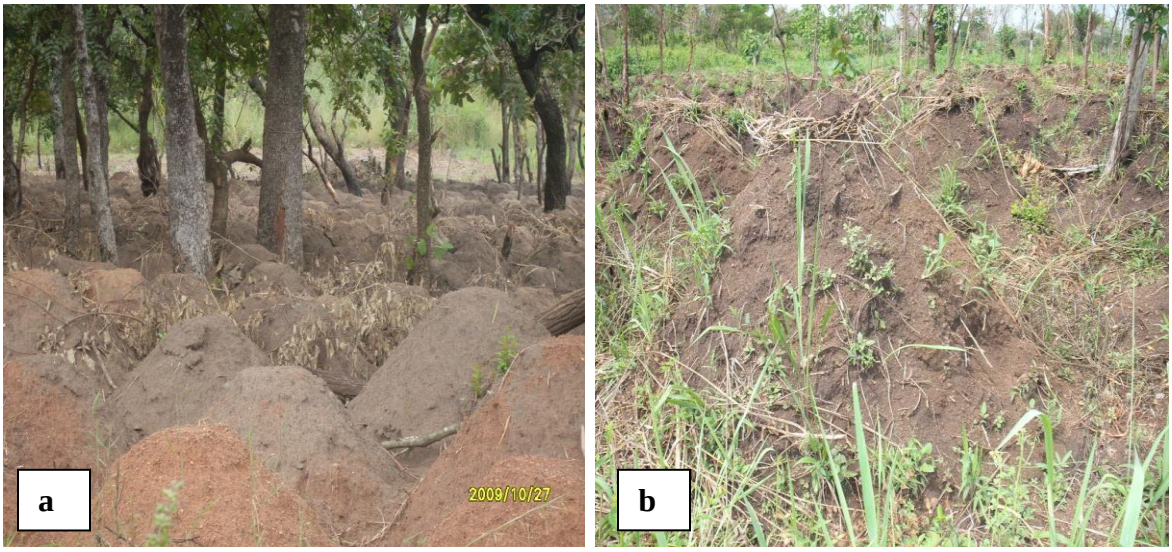


Photo 6: Champs nouvellement préparés et labourés pour la culture d'igname à Gbéré (a) dans la Commune de Savè et à Monkpa (b) dans la Commune de Savalou (Cliché Oloukoi, octobre 2009 et avril, 2011)

Cette photo 6 illustre la technique de buttage caractéristique de la culture d'igname généralement en tête de friche, sur des espaces nouvellement défrichés. On y observe quelques pieds de grands arbres non encore détruits (a), mais des fois ces arbres sont systématiquement abattus (b)

Le système de culture à base 'igname' est pratiqué par des groupes socioculturels parmi lesquels on retrouve principalement les Yoa-Lokpa, les Yom, les Baatombu et Nagot. Par ailleurs certains groupes notamment les Fons abandonnent de plus en plus

la culture d'igname comme tête de rotation, au profit du maïs et de l'arachide. En effet, la culture d'igname était jadis (jusqu'en 1988), la culture principale culture chez les groupes socioculturels Fons notamment ceux venus de Djidja. Cette culture était destinee non seulement à l'autoconsommation mais aussi à la vente. Elle est aujourd'hui pratiquée à une échelle moins grande dans les fermes où il n'y a plus assez de terres vierges. Deux raisons majeures expliquent cette régression de la culture d'igname dans les fermes Fons visitées lors des travaux de terrain. La première est la réduction voire la disparition des terres vierges au niveau de certaines fermes comme Bossikpon, Sévéringon, Katakou et Ayikofoyè. La deuxième raison est liée à la variabilité pluviométrique observée ces dernières années et qui selon les producteurs ne favorise pas la culture d'igname.

Nonobstant ces contraintes, les systèmes agricoles sont en extension, de nouvelles terres sont emblavées et la durée de la jachère se réduit de plus en plus allant de 5 à 7 ans pour les autochtones et de 3 à 4 ans pour les colons agricoles dans les Communes de Savè, Ouèssè et Tchaourou. Certains exploitants ont indiqué que parfois il n'y a pas de retour sur les terres laissées en jachères tant qu'ils ont encore des terres vierges disponibles. Avec cette introduction de nouveaux systèmes de culture, la durée moyenne d'exploitation d'un espace agricole est aussi réduite. Elle est réduite d'environ 10 à 6 ans pour les autochtones et de 6 à 3 ans pour les colons agricoles.

L'accessibilité des villages est aussi un facteur qui influence négativement la dynamique de l'occupation des terres. L'accessibilité d'un lieu est considérée comme étant la facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux, par un ou plusieurs individus susceptibles de se déplacer à l'aide des moyens de transport. Compris sous cet angle, l'accessibilité ne renvoie pas uniquement à la seule possibilité d'atteindre ou non un lieu donné, mais elle traduit également la pénibilité du déplacement, la difficulté de la mise en relation appréhendée le plus souvent par la mesure des contraintes spatiotemporelles. De ce fait, l'accessibilité va dépendre non seulement de la position géographique respective des lieux d'origine et de destination, mais également du niveau de service offert par le ou les systèmes de transport utilisés pour accomplir le déplacement.

En effet l'état des voies qui mènent aux villages oriente les acteurs. Il est considéré dans ce volet, la praticabilité saisonnière des voies depuis les lieux de production jusqu'au village et du village jusqu'aux lieux de vente (figure 66).

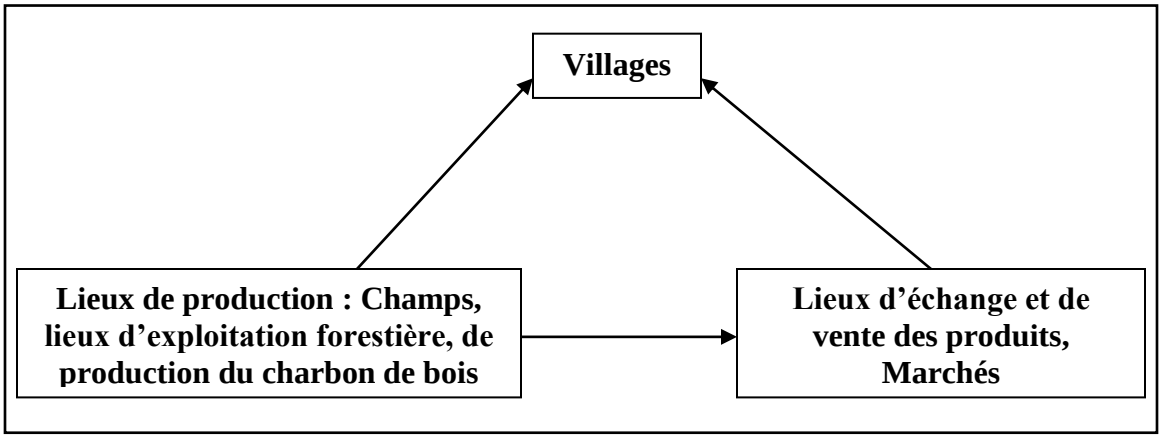


Figure 66: Triangle d'accessibilité des villages par rapport aux lieux de production et de vente des produits

La pertinence de ce triangle réside dans le fait que les producteurs dépendent de trois lieux principaux : leurs lieux de résidence représentés par le village, leurs lieux de production qui sont des champs ou des lieux d'exploitation forestière ou de production du charbon de bois, et ensuite les lieux de vente des produits qui sont en réalité des marchés d'écoulement. L'état des voies de transport et la distance entre ces lieux est très déterminant dans le choix des producteurs, ce qui a indirectement un impact sur l'exploitation des ressources. Par exemple, le producteur peut quitter directement son lieu de production pour accéder au marché d'écoulement de ses produits. Si les conditions de transport sont optimales (routes praticables, disponibilité des moyens de transport etc.), le producteur est encouragé à produire davantage et ainsi il exerce une pression sur les ressources du milieu. Il peut aussi transporter une partie de ses produits à son lieu de résidence (village) juste pour la subsistance ou aussi tous les produits si les conditions de transport entre le lieu de production et le lieu d'écoulement des produits ne sont pas adéquates. Tout ce circuit (village – lieu de production – lieu de vente) est conditionné par l'état des voies et leur praticabilité.

Près de 50% des exploitants estiment que les routes qui mènent à leurs villages sont en bon état et que les localités sont accessibles en toute saison, d'où l'importance de

l'accessibilité dans les facteurs de la dynamique du paysage au Centre du Bénin. Une proportion de 24% des personnes interviewées estime que les routes ne sont pas en bon état mais les localités sont accessibles en toute saison, tandis que 22% considèrent que les routes ne sont pas en bon état et leurs localités ne sont pas accessibles en toute saison. Par ailleurs une proportion de 6% a observé que malgré le bon état des voies, leurs localités ne sont pas accessibles en toute saison (figure 67). La raison fondamentale évoquée est d'ordre cultuel car il arrive qu'au cours de l'année notamment pendant la saison sèche, le village sacrifie à la tradition en organisant des cérémonies traditionnelles où seuls les initiés sont autorisés à pénétrer le village. Pendant ces périodes, les villages ne sont pas accessibles à tous. C'est le cas par exemple des villages Sandéhou, Gbédé, Akon, etc. lors de la cérémonie de ''*Oro''.* Certains ont aussi révélé qu'il peut avoir des aléas exceptionnels comme par exemple des pluies qui peuvent affecter l'état des voies.

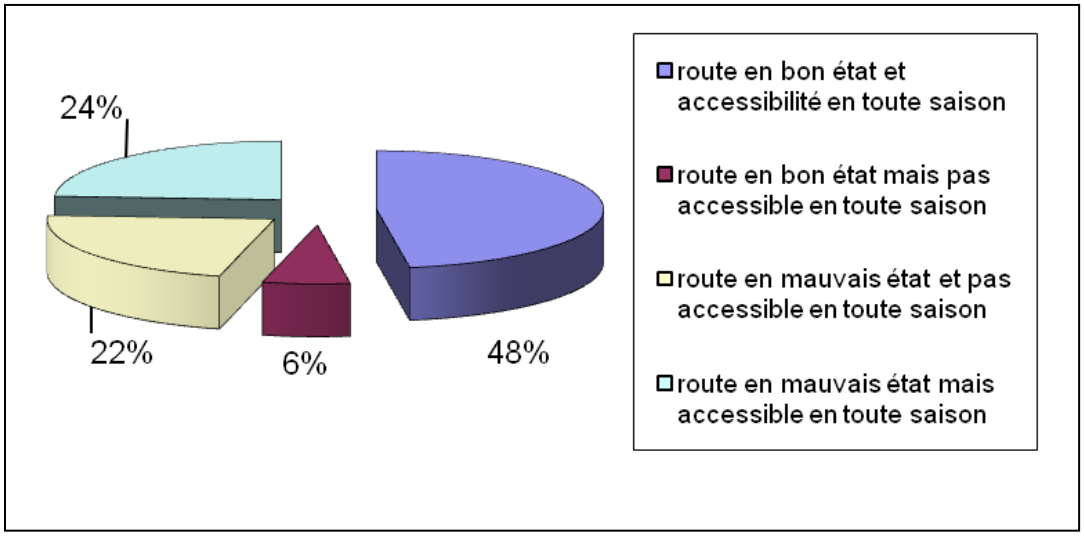


Figure 67: Opinion endogène sur l'accessibilité des villages sur la base de l'état des routes

Source : Enquête de terrain, Octobre – Novembre 2009

Toutes les variables utilisées se sont révélées comme des facteurs potentiels qui contribuent soit positivement ou négativement à la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Bénin. Mais les variables significatives qui ont

présenté un niveau de significativité acceptable sont la densité de population et l'accessibilité.

6.1.3. Part des feux de végétation dans la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin

L'analyse du modèle de régression multiple des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres, a révélé que le nombre de feux de végétation vient à la septième position des facteurs qui influencent négativement l'occupation des terres avec une valeur de -0,047. Du point de vue de la significativité, cette variable occupe la huitième place et n'est même pas significative à 0,05 de niveau alpha. De cette observation, il ressort que le feu de végétation pris singulièrement a un effet mineur sur l'occupation et l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin. Cette analyse implique deux hypothèses en matière de la dynamique du milieu. Dans un premier temps, l'on peut supposer qu'il y a une reconstitution naturelle partielle ou entière de la végétation chaque fois après le passage des feux. Deuxièmement il est aussi pensable que la culture de reboisement et aussi celle des feux précoces soit entrée dans les habitudes dans le milieu d'étude.

La première hypothèse est en partie justifiable compte tenu du fait que la végétation se reconstitue effectivement lorsque les pluies commencent. Les éleveurs transhumants utilisent cette technique lors de leur déplacement en vue de produire de fourrages verts et frais au bétail transhumant. Les espèces qui se reconstituent sont celles qui sont plus ou moins pyrophiles comme par exemple *Cussonia arborea*, *Steganotaenia araliacea*, *Vitellaria paradoxa* et *Cochlospermum planchonii*, pour lesquelles le feu joue un rôle bénéfique. Mais toute la végétation ne se reconstitue pas. Il y a certaines plantes dont l'activité biologique est brutalement réduite par la chaleur. Ces plantes sensibles sont progressivement éliminées par les feux successifs. Il s'agit des espèces vulnérables au feu comme par exemple *Afzelia africana, Crassocephalum rubens, Ceratotheca sesamoides*, et des annuelles comme *Aspilia angustifolia, Bidens pilosa*, etc.

La deuxième hypothèse est très peu probable, car malgré les campagnes de reboisement et les sensibilisations au niveau national, des efforts individuels de

reboisement et de mise en place de plantation sont moins visibles. Les acteurs interviewés sur le terrain s'adonnent plus à de petites plantations dont celles d'*Anacardium occidentale*, de *Mangifera indica*, etc. Une grande partie de ces plantations occupe une superficie comprise entre 0,25 et 10 ha (tableau LX). Mais avec l'intervention des projets comme le projet PAMF, des sensibilisations ont amené certains à avoir plus d'intérêt au reboisement, introduisant d'autres espèces comme *Eucalyptus camaldulensis, Comelina arborea* etc. De même, l'analyse des occurrences de feu montre que les feux précoces sont moins pratiqués dans la zone d'étude car le grand nombre de feux s'observe dans les mois de décembre, janvier et février.

Tableau LX: Proportion des acteurs selon la superficie des plantations

Superficie (ha)	Fréquence (%)
[0,25 – 10]	91,7
]10 – 20]	6
]20 – 30]	1,5
> 30	0,8
Total	**100**

Source : Enquête de terrain, Octobre – Novembre 2009

Si le feu de végétation pris singulièrement a un effet apparent sur l'occupation des terres, il importe de noter que ce phénomène peut entrer, ce qui est souvent le cas, dans une association avec d'autres variables comme par exemple la superficie défrichée pour les cultures d'igname et de coton, l'abattage des arbres par l'écobuage, dans le cadre de l'agriculture itinérante sur brûlis. Ainsi, les feux de végétation sont utilisés comme des outils et font partie des techniques culturales de conquête de l'espace. La combinaison des feux de végétation à la superficie moyenne défrichée pour les cultures d'igname et de coton, et l'abattage des arbres peut influencer négativement l'occupation des terres à une proportion statistique de -0,726 soit une contribution proche du double de celle de la densité de la population.

La contribution mineure des feux dans la dynamique de l'occupation des terres mise en exergue dans cette section confirme les analyses faites dans le chapitre précédent sur la relation entre le pouvoir radiatif des feux de décembre et de novembre, et le NDVI. En effet, cette analyse avait révélé que le feu jouerait un rôle partiel dans la dégradation

de la végétation à cause de la corrélation négative mais faible entre le pouvoir radiatif des feux et les valeurs du NDVI de ces deux mois. La contribution du pouvoir radiatif des feux à la dégradation de la végétation était estimée à -8,9% en décembre et à -0,8% en novembre. La même analyse faite entre les pouvoirs radiatif des feux cumulés de novembre à février et le NDVI, a abouti à la même conclusion révélant une influence négative et partielle des feux sur la végétation, à environ -5% (tableau LXI).

Tableau LXI: Impact des feux sur le NDVI

Variables	B	Coefficient de corrélation (Pearson)	R^2	Test de Student	Sig.	F
Pouvoir radiatif des feux et NDVI	-21,213	-0.050	0.002	-2,320	0,020	5,382

Sig. : Seuil de sgnificativité

Au total, il convient de souligner que la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres est sous l'influence de plusieurs facteurs dont les feux de végétation au Centre du Bénin. Mais l'impact des feux n'est significatif que dans une combinaison avec d'autres facteurs globalement relatifs aux techniques culturales dans le milieu.

6.2- Implications environnementales et socio-économiques de la dynamique de l'occupation des terres

6.2.1. Comparaison des éléments quantitatifs du paysage

Les éléments quantitatifs de la structure du paysage ont été comparé dans le secteur d'étude (tableau LXII). Les résultats des analyses des grandes tendances se présentent comme suit:

Dans tous les types d'occupation et d'utilisation des terres caractérisant le paysage, il a été observé que la forêt dense, bien qu'ayant un nombre de taches ou de fragments spatiaux (NT) faible, a dominé le paysage (40,9%) en 1986. Elle est suivie des forêts galeries et de la savane arborée et arbustive. En 2000, les champs ont dominé avec environ 33,4%, suivie de la savane arborée et arbustive et de la forêt claire et savane boisée. En 2006, l'espace occupé par les savanes arborées et arbustives s'est

beaucoup plus étendu avec une proportion de 44,40%, suivie des champs et jachères (36,12%). Ainsi des changements considérables ont été notés au niveau des unités de l'occupation/utilisation des terres entre 1986 et 2006. La tendance est une forte extension des terres agricoles et une savanisation plus prononcée dans le Centre du Bénin avec l'expansion de la savane arborée et arbustive.

La taille moyenne des taches des savanes arborées et arbustives et des champs et jachères, ont connu une évolution progressive entre 1986 et 2000 et entre 2000 et 2006. Quant aux autres unités, la taille moyenne de leurs taches a chuté considérablement (tableau LXII). C'est le cas évident de la forêt dense dont la taille des taches a régressé de 689 ha en 1986 à 10,83 ha en 2000 et 2,26 ha en 2006. Cela témoigne d'une forte dégradation de ces forêts qui ont été transformées en savanes mais aussi en espaces agricoles. Cela indique aussi une utilisation excessive des terres, soit de manière incontrôlée ou soit de manière abusive avec des pratiques agricoles ou d'exploitation forestière devenues préoccupantes (Photos 7, 8, 9).

Tableau LXII: Propriétés quantitatives de la dynamique de l'occupation des terres

	NT			AC (Ha)			PC (%)			TMT		
	1986	**2000**	**2006**	**1986**	**2000**	**2006**	**1986**	**2000**	**2006**	**1986**	**2000**	**2006**
Agg	1125	3082	3108	8431	11092	20962	0,42	0,55	1,04	7,49	3,6	1,04
Cja	25767	20513	6772	220032	673378	728516	10,9	33,39	36,12	8,54	32,83	36,1
Fcsb	2173	17502	9782	19865	471384	271851	0,98	23,37	13,48	9,14	26,93	13,5
Fd	1198	6988	5084	825462	75656	45579	40,9	3,75	2,26	689	10,83	2,26
Pe	720	976	429	6921	6576	3618	0,34	0,33	0,18	9,61	6,74	0,18
Saa	38201	44656	12001	381747	644321	897184	18,9	31,95	44,48	9,99	14,43	44,5
Sn	12544	11398	449	66101	81054	5274	3,28	4,02	0,26	5,27	7,11	0,26
Fg	14778	3042	1973	488341	53439	43916	24,2	2,65	2,18	33,05	17,57	2,18

NT : Nombre de Taches d'occupation des terres ; **AC** : Aire des classes d'occupation des terres ; **PC** : Proportion en pourcentage des classes d'occupation des terres ; **TMT** : Taille Moyenne des Taches de classes d'occupation des terres

Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive ; **Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galerie.

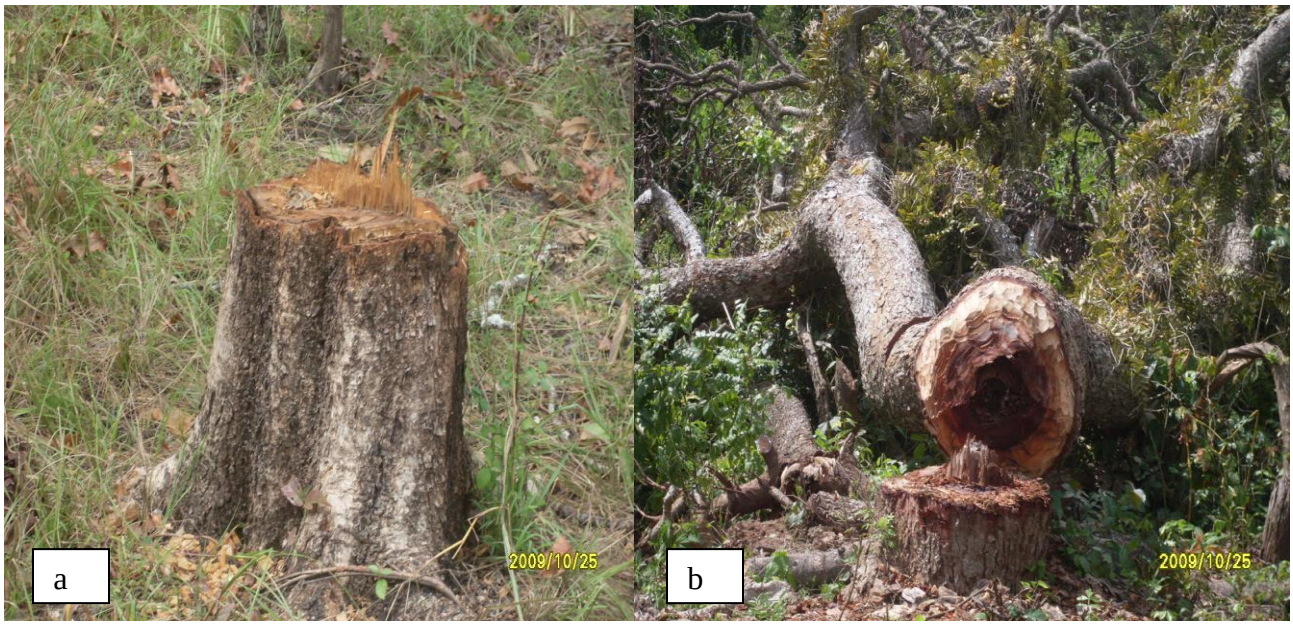


Photo 7: Abattage d'arbres dans la zone de Djaloukou dans la commune de Savalou (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)

La photo 7 montre des arbres fraichement abattus à la tronçonneuse : Anogeissus leiocarpa (a) et Pterocarpus erinaceus(b) pour la production du bois d'œuvre et de charbon de bois dans la périphérie Nord - Est de la localité de Djaloukou.



Photo 8: Clairière créée par des exploitants forestiers dans la Commune de Savè entre les villages Monka et Djabata (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)

Des clairières de ce genre sont multipliées aux alentours de ces villages notamment dans le confluent de l'Okpara, et constituent des points de fabrication intense du charbon de bois et de l'exploitation du bois d'œuvre



Photo 9: Champ cultivé montrant des pieds d'arbres secs à Lougba dans la Commune de Bantè (Cliché Oloukoi, Octobre 2009). *Il s'agit des arbres abattus et laissés dans les champs pour des besoins de bois de chauffe*.

L'indice de Diversité de Shannon de certains types d'occupation des terres a diminué pendant que ceux des autres ont augmenté montrant une certaine diversification et une hétérogénéité dans le paysage pendant la période d'étude. Par exemple, les indices de Diversité ont chuté respectivement de 0,366 en 1986 à 0,086 en 2006 pour la forêt dense, et de 0,343 en 1986 à 0,083 en 2006 pour la forêt galerie (tableau LXIII). Parallèlement, l'indice de dominance de ces formations végétales a aussi diminué, indiquant qu'au fur et à mesure que leurs nombres de taches chutaient, leurs tailles aussi diminuaient. Ainsi, la dominance de la forêt dense qui était de 2,445 en 1986 est passée à 2,165, tandis que celle de la forêt galerie a chuté de 2,423 en 1986 à 2,163 en 2006. Contrairement à ces observations, les indices de diversité et de dominance des autres unités d'occupation des terres ont augmenté de 1986 à 2006 (tableau LXIII). Ces unités sont aussi hétérogènes dans le temps et dans l'espace mais ils dominent le paysage, même malgré les changements continus dans l'occupation et l'utilisation des terres sous les pressions anthropiques. Les unités les plus concernées par cette

dernière observation sont les agglomérations, les champs et jachères, les forêts claires et les savanes arborées et arbustives.

Tableau LXIII: Diversité et dominance des types d'occupation et d'utilisation des terres

	Indice de Diversité (H)			Indice de Dominance (D)		
	1986	**2000**	**2006**	**1986**	**2000**	**2006**
Agg	0,023	0,029	0,047	2,102	2,108	2,127
Cja	0,242	0,366	0,368	2,321	2,446	2,447
Fcsb	0,046	0,340	0,270	2,125	2,419	2,350
Fd	0,366	0,123	0,086	2,445	2,203	2,165
Pe	0,019	0,019	0,011	2,099	2,098	2,091
Saa	0,315	0,365	0,360	2,394	2,444	2,440
Sn	0,112	0,129	0,016	2,191	2,209	2,095
Fg	0,343	0,096	0,083	2,423	2,176	2,163

Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive ;**Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galerie.

La variation dans le temps au niveau des indices de diversité et de dominance, montre que l'hétérogénéité du paysage a augmenté graduellement, et la structure du paysage tend à être plus diversifiée.

6.2.2. Fragmentation du paysage

L'indice d'isolement, l'indice de morcellement ont été utilisés pour analyser l'évolution de la configuration du paysage (tableau LXIV). Les indices d'isolement des champs et jachères, des savanes arborées et arbustives ont décliné de 1986 à 2006. Ils ont chuté de 0,52 à 0,15 puis à 0,08 pour les champs et jachères, et de 0,36 à 0,23 puis à 0,09 pour les savanes arborées et arbustives, respectivement de 1986 à 2000 puis à 2006. Les variations de cet indice indiquent que la distribution spatiale de ces types d'occupation des terres se réduit. En effet, les petites taches originales des classes d'occupation des terres concernées, se fondent de plus en plus dans les grands ensembles et deviennent larges. Cette analyse est valable avec les unités comme les agglomérations et les forêts galeries dont les indices d'isolement ont connu seulement un déclin entre 2000 et 2006. Cependant les indices de morcellement de la forêt dense, des forêts galeries ont augmenté sévèrement de 0,001 à 0,112 et de 0,03 à 0,045 respectivement entre 1986 et 2006, montrant une distribution spatiale fragmentée et

dispersée des taches des classes d'occupation des terres. Même les champs et jachères se sont morcelés au cours de cette période, bien que leurs indices de morcellement aient connu une évolution régressive entre 1986 et 2006, allant de 0,117 à 0,009. Cela indique une multiplication des espaces cultivés et pourrait évoquer la thèse d'emblavure discontinue de l'espace agricole. Cette thèse montre qu'il y a encore un nombre important de petits exploitants agricoles qui n'emblaveraient pas beaucoup d'espace à cause de leur moyen limité. Autrement dit, la pratique de la petite agriculture de subsistance est toujours en vigueur. De même l'indice de morcellement de la savane arborée et arbustive a connu une baisse, indiquant un élargissement progressif de cette unité dans le paysage, confirmant l'idée du phénomène de la savanisation.

Tableau LXIV: Niveau de fragmentation du paysage

	Indice d'isolement			Indice de morcellement		
	1986	2000	2006	1986	2000	2006
Agg	2.83	3.55	1.89	0.133	0.278	0.148
Cja	0.52	0.15	0.08	0.117	0.03	0.009
Fcsb	1.67	0.20	0.26	0.109	0.037	0.036
Fd	0.03	0.79	1.11	0.001	0.092	0.112
Pe	2.75	3.37	4.07	0.104	0.148	0.119
Saa	0.36	0.23	0.09	0.1	0.069	0.013
Sn	1.20	0.23	2.85	0.19	0.141	0.085
Fg	0.18	0.73	0.72	0.03	0.057	0.045

Agg: Agglomération ; **Cja** : Champs et Jachères ; **Fcsb**: Forêt claire et Savane boisée ; **Fd** : Forêt dense ; **Pe** : Plan d'eau ; **Saa**: Savane arborée et arbustive ; **Sn** : Sols nus et Roches exposées ; **Fg** : Forêt galeries.

En définitive, il faudrait noter que les pratiques retenues comme moteurs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le Centre du Bénin, ont conduit à deux phénomènes majeurs : l'anthropisation et la savanisation. L'anthropisation est la présence marquée des facteurs humains sur les ressources végétation caractérisée par leur transformation en champs et aussi en agglomération. La savanisation est la création de nouvelles formations de savanes où l'extension de celles existantes. Mais est-il approprié de parler de savanisation dans une zone de transition soudano-guinéenne ou le paysage est par essence, dominé par des formations végétales ouvertes de type savane? Cette observation amène à émettre

l'hypothèse d'une sensibilité à la ''*sahelisation''* ou d'un début de ce phénomène propre aux pays sahéliens, dans le Centre du Bénin. Mais cette hypothèse n'est pas probable en ce sens que la zone d'étude est très loin des caractéristiques du climat sahélo-soudanien caractérisé par le polymorphisme du paysage et une période pluvieuse qui se répartit seulement sur 3 à 4 mois, avec des totaux annuels fluctuants entre 300 et 800 mm (Lericollais, 1988). Nous pensons qu'il est bien juste de parler d'anthropisation et de savanisation en progression que de parler de *''sahélisation''* que seule une étude de l'occupation des terres ne permet pas d'expliquer ou de comprendre.

6.2.3. Implications socio-économiques de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres

6.2.3.1. Emergence de nouvelles activités socio-économiques

Cette section aborde l'émergence de nouvelles activités socio-économiques liées à la dynamique du milieu, l'implication des autorités locales et traditionnelles et le consentement de ces acteurs par rapport à la gestion des ressources du milieu.

De nouvelles activités autrefois reléguées au second rang, sont entrain d'absorber un nombre important de pratiquants dans le Centre du Bénin. Il s'agit de l'exploitation et du commerce du bois, et la production du charbon de bois (Photos 10, 11, 12, 13). L'exploitation forestière par l'abattage de grands arbres pour la production du bois d'œuvre et du charbon de bois, est l'œuvre d'acteurs locaux et migrants avec parfois la complicité des autorités locales.

Selon les perceptions locales, cette activité est plus développée dans la Commune de Bassila. Un acteur de cette filière sous le couvert de l'anonymat a reconnu que cette Commune vit de l'exploitation forestière à 95% et qu'environ au moins quatorze camions de stères sont chargés par jour à raison de 650.000 FCFA au moins par chargement soit une recette journalière de plus de neuf millions de Francs CFA (9.000.000) pour les acteurs de cette activité. Les exploitants investissent la forêt classée des Monts Kouffé et secondairement la forêt de Bassila et les espèces d'arbres les plus exploitées sont *Afezelia africana* (devenu rare selon les acteurs de cette filière), *Pterocarpus erinaceus, Isoberlinia doka* et *Anogeissus leiocarpa*. Les chargements sont

souvent envoyés au Togo, très souvent de façon informelle sans dédouanement mais la mairie prélève une taxe de 30.000 FCFA par chargement, soit environ 420.000 FCFA par jour.



Photo 10: Madriers de bois entreposés en pleine brousse dans la Commune de Bassila (a) et dans la Commune de Savè (b) (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)



Photo 11: Préparation en cours pour la production du charbon de bois dans la confluence de l'Okpara (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)

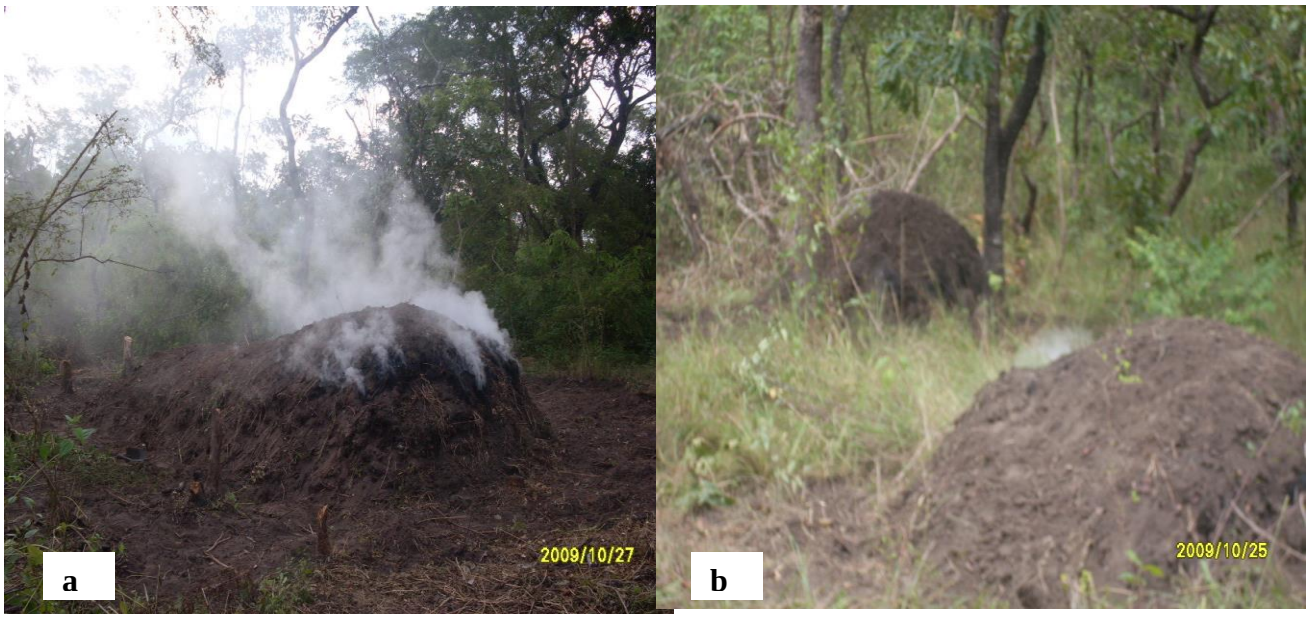


Photo 12: Production du charbon de bois en cours entre Moka et Djabata (a) et sur l'axe Konkondji – Djaloukou (b) en pleine forêt claire et savane boisée (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)



Photo 13: Sacs de charbon de bois retrouvés en brousse au lieu de production (Cliché Oloukoi, Octobre 2009)

Dans la Commune de Savè, l'exploitation du bois d'œuvre et la production du charbon de bois ont pris une envergure qui défie le contrôle des autorités locales, avec la complicité de certains chefs traditionnels. Quelques impressions recueillies sur le terrain

montrent un sentiment d'insatisfaction ou d'adhésion avec modération de certaines autorités, par rapport à l'évolution de ces activités qui contribuent à la destruction des ressources naturelles du milieu (Encadrés 1 et 2).

Encadré1

« C'est tout le monde qui produit du charbon aujourd'hui, même jusqu'aux paysans. Les exploitants entrent dans les forêts classées, au vu et au su de nos parents, des fois avec gri-gris. Même les Karités de moins de 10 ans sont abattus. Les exploitants détruisent les forêts et déclarent que les produits viennent du Nigéria. Ils achètent les tronçonneuses au Nigéria. La grande responsabilité incombe à l'Etat. Il faut qu'on exige à ces exploitants des permis de coupe ». ***Un agent de la Mairie de Savè,*** *27/10/2009*

Encadré2

« Nous sommes obligés de céder une partie de nos terres aux exploitants forestiers pour qu'ils exploitent. En retour, ils nous donnent quelque chose pour compenser nos besoins d'achat d'animaux pour des sacrifices. Sinon, nous n'avons pas besoin de détruire nos forêts. J'ai demandé à ces exploitants de contribuer au programme de reboisement prévu pour la saison prochaine. L'effectif des exploitants évolue de façon croissante ces dernières années. Je ne veux pas les arrêter, autrement nous n'aurons rien pour gérer le village ». ***Un Baalè de la région Tchabè,*** *25/10/2009*

Des taxes sont prélevées sur les produits forestiers, mais dans la plupart des cas, les acteurs échappent au contrôle. 100 FCFA par sac de charbon de bois produits et 200 FCFA par madrier transporté, sont collectés par des agents de la Mairie. En dehors de ces taxes, les exploitants forestiers sont soumis à certaines contraintes des chefs traditionnels qui dans la Commune de Savè, prennent 50.000FCFA en plus de quelques bouteilles de liqueur. Ainsi, après s'être acquitté de ce dû, les exploitants sont autorisés à entrer dans les réserves forestières. Dans certaines localités de cette Commune, notamment Diho, Ouoghi et Gogoro, ce sont les natifs du milieu qui

s’organisent pour exploiter les ressources forestières et ainsi, la gestion de la filière est mieux contrôlée. Dans la Commune de Ouèssè, les exploitants forestiers ont leur comité et la gestion de cette activité est plus ou moins sous le contrôle du roi. Par madrier transporté, une taxe de 100 FCFA est prélevée. Sur un camion berne (berlier) et un camion titan, 10.000 FCFA et 20.000 FCFA sont respectivement prélevés. Trois niveaux de prélèvement des taxes existent: Le niveau roi, le niveau Mairie et le niveau Arrondissement. Mais dans cette chaîne, la Commune perd car des exploitants échappent au contrôle en passant par la Commune de Bassila.

6.2.3.2. Consentement des acteurs par rapport à la gestion des ressources du milieu

Dans l’esprit d’une évaluation économique approximative du coût de l’abattage des arbres pour ces activités économiques mentionnées ci-dessus, le consentement des acteurs de ces activités a été requis.

Le CAR (Consentement à Recevoir) représente le montant que l’acteur est prêt à recevoir afin de cesser de couper un arbre. Le CAP (Consentement à Payer) représente le montant qu’il désire verser afin qu’on lui permette de couper un arbre et de poursuivre ses activités d’exploitation forestière. Comme on peut le constater sur le tableau LXV, ces valeurs varient d’une Commune à une autre. Le CAR représente le coût environnemental de l’abattage d’un arbre. L’écart représente le surplus de montant qu’un troisième acteur (par exemple l’Etat) pourra injecter soit en faveur des acteurs (agriculteurs ou exploitants forestiers) afin de les amener à ne plus couper les arbres, soit en faveur des forestiers afin de leur permettre d’assurer la régénération de l’arbre abattu par l’agriculteur.

Tableau LXV: Consentement à Recevoir (CAR) et Consentement à Payer (CAP) pour l'abattage d'un arbre

Commune	CAR				CAP				ECART
	Moyenne	Ecart-Type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-Type	Minimum	Maximum	
Glazoué	50148,65	166543,7	1000	1000000	1484,474	1961,301	110	10000	48664,176
Savè	44893,94	171915,2	0	1000000	12570,59	51100,62	0	300000	32323,35
Savalou	58106,9	185105,7	100	1000000	13096,77	35230,7	100	200000	45010,13
Dassa-Zoumé	131027	317205,4	1000	1000000	853,8462	1039,192	50	5000	130173,154
Bantè	22068,18	33326,41	1000	100000	7490,909	12701,4	300	50000	14577,271
Ouèssè	89750	338565,2	0	2000000	5683,824	5579,572	0	20000	84066,176
Tchaourou (Sud)	20916,67	29333,38	1000	100000	7545,455	7504,847	1000	20000	13371,215
Kétou (Nord)	147500	235566,7	10000	500000	129500	247021,6	2000	500000	18000
Djidja (Nord)	9172,222	6607,376	100	20000	1540,588	2528,6	40	10000	7631,634
Bassila (Sud)	6142,857	4845,223	1000	15000	12100	17025,8	1000	50000	-5957,143

Source : Enquête de terrain, Octobre – Novembre 2009

La valeur du CAR la plus élevée est observée dans la Commune de Kétou alors que la plus faible valeur est observée dans la Commune de Bassila. L'on pourrait dire donc qu'abattre un arbre à Bassila dans la perception des enquêtés coûte moins cher à l'environnement. Lorsqu'on procède à une analyse à fond, il est supposé que l'abattage de l'arbre à Bassila ne présente aucune contrainte pour l'exploitant forestier. Si un pied d'arbre coûte environ 6142 FCFA à Basilla, montant largement inferieur à ceux des autres Communes de la zone d'étude, l'on peut supposer que pour couper un arbre, l'exploitant forestier ne rencontre pas trop de difficulté ou d'opposition. Aussi, peut-être, rares sont ceux qui paient des taxes, rares sont ceux qui ont régulièrement le permis de coupe, si bien que beaucoup d'exploitants échappent au contrôle des agents forestiers. Cela pourrait se justifier aussi par le fait que Bassila dispose assez de réserves en bois énergie, faisant partie du sous-bassin 3 qui approvisionne Cotonou et Porto-Novo en bois énergie. Selon les travaux sur le bois énergie dans le cadre de l'Inventaire Forestier National (Sepulchre et *al.*, 2007b) le sous-bassin 3 va au-delà de 250 km de Cotonou, et atteint les Départements de la Donga, le Nord des Collines et le Sud du Borgou. Depuis le bitumage de la route Savalou-Djougou, cet axe a pris plus d'importance en matière d'exploitation forestière. L'exploitation s'intensifie à Banté, à

Bassila ou presque tout le monde s'investit dans les activités de commercialisation du bois d'œuvre, du bois-énergie ou du charbon de bois (Odjoubere, 2010). Cet engouement des fois exagéré de la population à l'exploitation forestière est le résultat de la présence dans la Commune de Bassila, de grandes réserves forestières du pays comme les forêts classées des Monts Kouffé, de Wari Maro et de l'Ouémé Supérieur.

CONCLUSION PARTIELLE

La dynamique de l'occupation des terres évolue différemment selon les endroits du Centre du Bénin. La similarité est l'extension des espaces bâtis, des champs et jachères, des savanes, et la réduction des superficies des formations végétales denses. De façon générale, la moyenne des taux de changement de l'occupation et l'utilisation des terres est de -4,33 %. Les unités de l'occupation et de l'utilisation des terres ont fortement régressé entre 2000 et 2006 par rapport à la période 1986 et 2000. Deux grands processus de transformation sont remarqués : la savanisation à outrance et l'anthropisation.

Au total, il importe de retenir que l'occupation des terres a subi de profondes modifications depuis 1986. Les formations végétales denses notamment les forêts denses, les forêts claires et les forêts galeries, ont été fortement réduites au profit des formations anthropiques comme les espaces agricoles et les agglomérations. Deux scénarios ont été développés dans cette partie en vue d'apprécier le comportement des unités de l'occupation des terres dans le futur. Il s'agit du scénario socio-économique ou tendance vers la catastrophe et du scénario écologique ou stabilité environnementale. Le premier scénario qui s'est basé sur des hypothèses émanant de la réalité socio-économique actuelle du milieu a présenté un tableau inquiétant des formations végétales aux horizons 2016, 2025 et 2034 car des unités vont extrêmement régresser ou disparaître. Ce scénario bouleverse du coup les prévisions écologiques et économiques relatives à la préservation des ressources forestières et leur contribution dans la provision des biens et services aux populations. Le deuxième scénario qui est celui de la stabilité environnementale, a envisagé que la dégradation des formations végétales pourraient connaître un ralentissement et les unités de l'occupation des terres pourraient ainsi se stabiliser aux horizons 2016, 2025 et 2034. Mais il faudrait que les conditions socio-économiques actuelles s'améliorent et que la population ne soit plus totalement dépendante des ressources naturelles en matière d'énergie et que l'intensification de l'agriculture soit de mise.

Les feux de végétation détectés par le capteur MODIS sont distribués annuellement sur le Centre du Bénin avec une légère variation selon les années. Les années 2002, 2003,

2004, 2005, 2007, 2008 et 2009 ont enregistré un nombre de feux de végétation largement supérieur à la moyenne annuelle estimée à 4411 points de feux. L'année 2003 a connu le plus grand pic en terme du nombre de feux enregistrés de novembre 2000 à décembre 2010. Il existe une tendance à l'augmentation des pratiques de feux mais elle est douce et évolue de manière non significative. La Commune de Bassila, reste la zone où le phénomène est plus intensifié dans le secteur d'étude. Les unités de l'occupation des terres généralement plus affectées par les feux sont les jachères et champs, les savanes arborées et arbustives, et les forêts claires et savanes boisées. Il existe une corrélation négative entre le pouvoir radiatif des feux et l'indice de végétation normalisé (NDVI). Cette corrélation est faible et est plus active en pleine saison sèche qu'à son début. Les feux jouent donc un rôle partiel dans la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres et surtout dans la dynamique des formations végétales.

Les facteurs influençant positivement la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sont : la superficie moyenne défrichée par an, la force de travail masculine, la force de travail féminine, l'altitude, la perception paysanne de la variation pluviométrique, la distance par rapport au marché d'écoulement des produits et enfin la disponibilité en terre. Des facteurs qui influencent négativement la dynamique de l'occupation des terres, les plus prépondérants sont la densité de la population, la superficie moyenne annuelle défrichée pour la culture de coton, la superficie moyenne annuelle défrichée pour la culture d'igname et l'accessibilité des villages. L'effet des feux dans la dynamique de l'occupation des terres est faible lorsqu'ils sont pris singulièrement. Ainsi, faudrait-il qu'ils rentrent dans une combinaison avec les autres facteurs du milieu notamment les techniques agricoles, pour que leur impact soit significativement visible. Néanmoins, ils contribuent à la dégradation de la végétation.

Les implications environnementales de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sont le morcellement et l'isolement des unités du paysage. Sur le plan socio-économique, il a été noté une émergence de nouvelles activités économiques. Il s'agit de l'exploitation et du commerce du bois d'œuvre, et la production du charbon de bois. Cette exploitation forestière par l'abattage de grands arbres (*Afzelia africana*, *Pterocarpus erinaceus, Isoberlinia doka* et *Anogeissus leiocarpa)* est l'œuvre d'acteurs locaux et migrants avec parfois la complicité des autorités locales.

LIMITES DE L'ETUDE ET DISCUSSION

La présente section relève et analyse les limites de cette étude, tout en confrontant les résultats aux études antérieures.

1. Limites de l'étude

Sur le plan méthodologique, il est important de soulever les limites sur la démarche ayant abouti aux résultats de cette thèse. Elles sont relatives à la classification des images, les scénarios de projection de la dynamique de l'occupation des terres par le modèle Spacelle, la technique du Krigeage utilisée pour la dynamique spatio-temporelle des feux de végétation et les données de MODIS.

La classification des images satellitales utilisées comme données de base, présente quelques incertitudes du point de vue de la précision planimétrique. En effet la classification en unités d'occupation des terres n'est jamais complètement précise (Shao et *al.*, 2008). Cependant, le présent travail a estimé le niveau d'extension de l'occupation des terres, en indiquant les niveaux de précision avec des indices de validation cartographique et statistique. De façon générale, l'analyse du niveau de fiabilité des résultats de la classification des images satellitales indique une précision cartographique qui est dans les normes recommandées (Pontius, 2000 ; Congalton, 1991, Mama et Oloukoi, 2003). Si la cartographie et les mesures des changements de l'occupation des terres à l'échelle moyenne requièrent des niveaux de précision qui sont quasiment impossibles à atteindre avec seulement la classification des images (Fuller et *al*., 2003), il importe de signaler que les données satellitales sont d'une valeur élevée dans la caractérisation des propriétés de la surface terrestre (Sertel *et al*., 2009; Kvalevag *et al*., 2009; Fall *et al*., 2009). Si les incertitudes sont trop significatives (Jung et *al.*, 2006), elles peuvent causer des différences dans les résultats de modélisation (Myhre et *al.*, , 2003; Jain et Yang, 2005; Jung *et al*., 2007).

La résolution des images utilisées n'a pas permis d'accéder totalement à des détails de l'utilisation des terres. Cela a été complété par des informations documentaires et les

travaux de terrain. Le cas échéant et le plus précis aurait été d'utiliser des images satellitales de haute résolution.
Sur le plan de l'échelle spatiale d'analyse, la taille du Centre du Bénin est trop large pour une considération d'ensemble de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. Dans le but d'accéder à des détails, cette étude a sectionné tout le secteur d'étude en des feuilles cartographiques au 1/100 000 sur format A1 et a accommodé des détails sur l'occupation des terres jusqu'à un certain niveau. A l'avenir, l'échelle pourrait être augmentée au-delà même du 1/50 000 afin d'aider davantage les planificateurs et décideurs. Cette précaution implique l'utilisation d'images de résolution spatiale plus améliorée que la série des Landsat et Nigeriasat1.

L'utilisation du modèle *Spacelle* et de son adaptation au milieu tropical soulève quelques questions de similarité environnementale. D'abord le modèle en lui-même est un modèle de simulation dynamique où la transition des cellules est basée sur l'état des cellules et de leur voisinage immédiat. Ainsi ce modèle dépend beaucoup plus des interactions locales entre les cellules que des facteurs qui influencent ces cellules ou automates. L'état d'un automate est d'abord conditionné par l'état de son voisinage. Les facteurs d'influence ou de changement de cet état peuvent venir en deuxième position. C'est justement pourquoi le modèle *Spacelle* originalement conçu dans le contexte français, a été facilement tropicalisé et adapté dans cette étude. Il n'était pas calibré sur les facteurs mais sur les relations de voisinage entre les cellules de base. Si ce modèle dépendait avant tout des facteurs socio-économiques par exemple, des questions relatives à la prise en compte des réalités socio-économiques des communautés allaient se poser quant à son utilisation dans le contexte béninois.
Par ailleurs, l'utilisation du modèle *Spacelle* pour exécuter des scénarios a été utile pour la compréhension du fonctionnement de l'espace géographique sous un certain nombre d'hypothèses. Nonobstant cet avantage, il importe de relever que le scénario socio-économique ou *tendance vers la catastrophe* n'a pas pu contrôler l'extension ou la création des agglomérations ; ce qui a donné l'impression d'une évolution très rapide de cette unité de l'occupation des terres.

L'utilisation de la technique de Krigeage pour l'analyse de l'occurrence spatio-temporelle des feux utilisant les données de MODIS, donne l'impression que tout le Bénin central est parcouru par le feu. Le krigeage est une méthode d'interpolation utilisée pour prédire des valeurs non connues à partir des valeurs connues sur un espace. Ainsi, sur les autres endroits où il n'y avait pas de données de points de feu, le krigeage a donné des estimations en considérant la structure des données existantes ou connues.

La résolution des données MODIS utilisées pour l'analyse des feux de végétation, est de 1km x 1km. Autrement dit, le capteur de MODIS ne détecte que des pixels chauds ou brûlés. Dans un pixel de 1km, il peut avoir deux ou plusieurs points de feu allumés mais le capteur compte un seul point chaud (Davies et a*l*, 2009; Justice et *al.,* 2002 ; *NASA/University of Maryland*, 2002). Il importe de noter qu'aucun des capteurs de détection des feux comme par exemple MODIS ou NOAA-AVHRR (*National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High-Resolution Radiometer*) n'est capable de distinguer un ou plusieurs feux dans un pixel. Chaque point de feu actif représente le centre d'un pixel d'environ 1km de taille qui contient au moins un point de feu dans l'espace représenté par le pixel. En somme, un feu réel sur la surface terrestre peut être un ensemble de points de feu qui dépend de la durée et de la taille de l'espace brûlé. De même, en plus de ces contingences, il y a des effets de nuage qui peuvent empêcher le capteur de détecter des points de feu à certains endroits de l'espace considéré. Sous ces conditions, il est supposable que le nombre de points de feux utilisés dans cette étude pourrait être revu à la hausse parce qu'un pixel peut comporter plusieurs centres de feu.

2. Discussion

Malgré les limites relevées au niveau de la méthodologie, la présente thèse a montré l'importance de la télédétection satellitale dans l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres et de ses facteurs, dans un contexte caractérisé par l'intérêt des chercheurs sur les questions relatives aux changements environnementaux globaux.

Les analyses de la dynamique de l'occupation des terres ont confirmé les résultats de Codjia et Gnagna (1993) et de Mama (2002) concernant la disparition des formations végétales denses au profit des espaces agricoles. Mais les analyses sont allées au-delà de ces résultats généraux en insistant sur les déterminants et les implications aussi bien environnementales que socio-économiques de la dynamique mise en exergue. Le taux annuel de régression du milieu évalué à une moyenne de 4,33% dans cette étude est supérieur à celui obtenu par Mama et *al.* (2003) dans le secteur de Alafia et de Kilibo soit respectivement 0,03 % et 0,04 % entre 1986 et 1999. Ce taux est inférieur à celui obtenu par Oloukoi et *al.* (2007) dans la région de Dassa-Zoumè entre 1978 et 1998. De même, il est supérieur à la moyenne nationale estimée par la FAO (2000) à 2,3% de perte de la couverture forestière du pays entre 1990 et 2000. Par ailleurs ce taux est en dessous du taux de déforestation de 6% révélé par Orekan (2007a) entre 1991 et 2000 dans l'Ouémé supérieur, et qui est aussi confirmé par Menz et *al.* (2006). Si la plupart de ces auteurs partagent l'opinion sur la régression des formations végétales au profit des espaces agricoles, il importe de retenir dans le cadre de cette étude que cette régression est très forte et parfois 'alarmiste' du côté des forêts denses. Cette tendance est générale dans la zone d'étude et présente quelques particularités.Il importe de relever aussi que dans certains secteurs de la zone d'étude, même la savane arborée et arbustive et aussi la forêt claire et savane boisée, commencent par être affectées par les activités de dégradation surtout entre 2000 et 2006. Cette dernière observation soulève quelques inquiétudes liées soit à la qualité de l'image de NigeriaSat1 ou soit à la réalité du terrain. Pourrait-on conclure à un début de régression de la savane arborée et arbustive au Centre du Bénin? D'où la nécessité d'une étude plus approfondie sur ces formations végétales. Par ailleurs les indices de dominance et de diversité calculés ont révélé une légère chute, peu sensible, pour la savane arborée et arbustive entre 2000 et 2006. Certaines des formations végétales ont été fragmentées extrêmement sur la base des indices de paysage calculés. Les résultats sont semblables à ceux obtenus par Bamba et *al.* (2008) qui ont conclu aussi à une fragmentation de la végétation sous l'influence des pratiques agricoles dans la province du Bas-Congo en République Démocratique du Congo. Mais ici, au Centre du Bénin, cette fragmentation est le résultat non seulement des activités agricoles mais aussi des

pratiques de dégradation de la végétation comme la fabrication du charbon de bois et les coupes non contrôlées observées dans les forêts.

L'utilisation des modèles des automates cellulaires pour la simulation de la dynamique future de l'occupation des terres dans cette étude participe de la nécessité de comprendre le fonctionnement de l'espace sous un certain nombre d'hypothèses. Selon Guermond (2005) la modélisation pour un chercheur vise à reproduire au mieux le fonctionnement d'un phénomène géographique, afin d'essayer d'utiliser ensuite le modèle pour tester des hypothèses. Le modèle doit être envisagé comme un outil de recherche sans ambition normative, que le chercheur construit pas à pas. Les automates cellulaires conviennent bien à cette « modélisation incrémentale », qui permet par des simulations successives de constituer ce « laboratoire virtuel ». Il importe donc de comprendre les scénarios développés comme une virtualisation du fonctionnement de l'espace qui peut changer au fur et à mesure que des conditions socio-économiques évoluent. Le scénario socio-économique développé et ayant abouti à une projection future de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sur la base des simulations par le modèle *Spacelle*, confirme en partie les résultats du scénario *''environmental damaged''* développé par Orekan (2007) dans la zone de l'Ouémé supérieur, au nord de notre zone d'étude. En effet, ce scénario prévoit uniquement une extension des espaces agricoles en 2025 sans faire cas des agglomérations. Dans le cadre de cette thèse, les résultats du scénario socio-économique ou *'tendance vers la catastrophe'* complètent ceux existants par rapport au devenir des formations végétales mais révèlent, qu'à côté des espaces agricoles qui vont s'étendre, les agglomérations vont aussi contribuer énormément au recul du couvert végétal par l'extension de celles existantes et la multiplication des campements et hameaux. Par exemple, Mama (2002) a prévu qu'à l'horizon 2025, les formations végétales dans les Communes de Savè, Ouèssè et Tchaourou passeront de 76% en 1986 à 7%. A l'inverse, les zones de cultures vont s'accroître de 24% à 87% pendant la même période d'observation. Ce scénario socio-économique est aussi semblable au scénario *tendanciel* développé par Lajoie et *al.* (2007) dans l'île de la Réunion moyennant les automates cellulaires. En effet, évoquant une tendance vers la

catastrophe, ce scénario avait prévu une disparition totale de la savane d'ici 2030. Si les tendances évoquées par le scénario '*tendance vers la catastrophe'* exécuté dans cette thèse sont maintenues, il est attendu que les prévisions faites dans le cadre des études de perspective à long terme, seront affectées. Ainsi, les implications suivantes sont envisagées :

- les formations végétales ne pourront pas assurer pleinement leurs fonctions de conservation et de protection des écosystèmes et du patrimoine biogénétique telles que prévues dans les études de prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA-Bénin, 2001)
- les ressources forestières ne pourront pas répondre aux demandes en biens et services des populations, bouleversant le scénario économique qui veut que la contribution du secteur forestier soit élevée de 2,8 % en 2000 à 8 % en l'an 2020 au Bénin (FOSA – Bénin, 2001).

Le scénario écologique ou de la stabilité est plus préservateur de l'environnement et est comparable au scénario de la *densification* de Lajoie et *al.* (2007) qui prévoit une préservation des forêts et limite l'étalement urbain dans l'Ile de la Réunion à l'horizon 2030. Par ailleurs la désignation de la *stabilité* donnée à ce scénario dans cette étude mérite une autre considération car l'environnement est par essence dynamique. Il faudrait plutôt comprendre un ralentissement extrême du rythme de dégradation des ressources tel que confirmé par l'évolution progressive ou régressive très peu sensible des unités de l'occupation des terres dans le cadre de ce scénario au Centre du Bénin.
Par ailleurs, la présente thèse n'a pas analysé les effets feedback de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres sur le climat local. Par exemple selon Feddema et *al.* (2005) et Pielke (2005), la dégradation et la perte de la végétation sont hautement corrélées à l'équilibre hydrique et à la régulation du climat régional. De même Vissin (2007), étudiant l'impact de la dynamique des états de surface sur les écoulements, a montré que l'activité photosynthétique des types d'occupation du sol est en relation avec l'écoulement dans le bassin du fleuve Niger. En effet, les changements sur la terre sous l'effet des activités humaines et les processus biogéochimiques influencent le temps et le climat.

Les activités socio-économiques telles que la production du charbon de bois, l'exploitation forestière pour la production du bois d'œuvre, bois de chauffe, sont l'œuvre des acteurs qui dans la plupart des cas échappent au contrôle des agents forestiers, avec ou non le consentement des autorités traditionnelles locales. Les résultats de cette thèse sur l'émergence de ces activités confirment les analyses déjà faites par Odjoubere (2010), Edea (2002) sur l'ampleur de ces filières à connotation beaucoup plus informelles que formelles, et leurs implications dommageables sur l'environnement.

Par rapport à l'utilisation des données de MODIS pour l'analyse spatio-temporelle des feux de végétation au Centre du Bénin, la présente étude devrait aussi valider l'effectivité et la précision de ces données. Mais des études de validation combinant MODIS et d'autres images optiques telles que Landsat et Aster, ont indiqué que les données de feu de MODIS sont utilisables car elles correspondent pour une large part aux réalités de terrain (Schroeder et *al.*, 2008 ; Morisette et *al.*, 2005a ; Morisette et *al.*, 2005b). De même, Langner et a*l.* (2008) ont utilisé les données de MODIS pour analyser l'occurrence spatio-temporelle des feux dans les forêts tropicales de l'Asie du Sud Est. Ces auteurs ont révélé une précision à 90,6% des zones affectées par les points de feu extraits de MODIS par comparaison aux zones brûlées extraites de Landsat ETM.

Les terres brûlées extraites des images satellitales Landsat TM de 1986 et ETM de 2000 ont montré l'effectivité des feux de végétation pendant la saison sèche, vu l'ampleur des zones brûlées détectées sur ces images en janvier 1986 et en décembre 2000. Par contre sur l'image de NigeriaSat1 prise en novembre 2006, les zones brûlées ont été réduites. Deux raisons majeures pourraient expliquer cette réduction. La première est la période, précisément le mois de prise de l'image NigeriaSat1. En effet le mois de novembre marque le début de la saison sèche et l'on pourrait imaginer que l'intensité de l'activité des feux n'était pas encore à son pic. Mais cette raison peut être discutable, étant donné que d'après le diagramme climatique de Savè, la période post humide s'étend de mi-octobre à fin octobre et est plus propice aux feux précoces détectables aussi par des satellites. Ainsi, l'on pourrait évoquer la deuxième raison relative à la qualité même de l'image satellitale dont le traitement et la classification a

montré plus de confusions exprimées par de faibles indices de pureté des classes d'occupation et d'utilisation des terres et de faibles indices de validation statistique et cartographique. Cela rejoint les analyses faites par Mbaye et Omitogun (2006) sur la nécessité d'améliorer la résolution radiométrique de l'image NigeriaSat1. En effet l'amélioration de cette résolution pourra permettre de distinguer chaque détail terrestre sans confusion avec d'autres comme par exemple la forte confusion entre les terres brûlées, les sols nus et d'autres types d'occupation des terres.

En ce qui concerne les fréquences élevées des feux de végétation dans la Commune de Bassila, il importe de retenir la présence de forêts classées, dans cette Commune. Il s'agit de la forêt de Bassila, la forêt des Monts Kouffé et une partie de la forêt de Wari-Maro. Ces réserves forestières ont été reconnues comme de véritables réservoirs de gibiers qui attirent les chasseurs surtout pendant la saison sèche. Ces derniers utilisent la pratique de feu comme outil de chasse. Ils seront même les premiers sur la liste des facteurs qui sont à la base des feux de végétation dans le Centre du Bénin, d'après les investigations socio-économiques réalisées confirmant les résultats des études antérieures conduites par Oloukoi et *al.* (2004) et Oloni (2000).

Dans la forêt de Bassila, Houinato et *al.* (2001), avaient tiré l'attention sur les impacts des feux de végétation sur la dynamique des communautés végétales. Ils ont noté une fermeture progressive du couvert végétal dans les parcelles de protection intégrale et une diminution des espèces forestières dans les parcelles de feu tardif alors que dans les parcelles soumises au feu précoce, la plupart des espèces présentes au début se sont maintenues et ont connu une croissance normale. Dans les actions de lutte contre les feux de végétation dévastateurs, la plupart des auteurs encouragent l'utilisation des feux précoces afin d'éviter des dégâts annuels environnementaux et surtout socio-économiques enregistrés par la population. Ainsi, Monnier (1981) avait averti qu'interdire le feu par règlement de justice par exemple relèverait de l'utopie, mais qu'il faut plutôt éviter les feux de fin de saison sèche en brûlant de façon précoce.

Les conséquences relevées au cours des travaux de terrain viennent appuyer le constat fait par Yabi (2007) sur l'impact des feux sur les plantations d'anacarde. Le phénomène des feux serait le plus préoccupant et le plus redouté des producteurs à cause des graves dommages causés aux anacardiers et par ricochet à leur rendement. Selon le

même auteur, des plantations entières se consument chaque année du fait des feux de végétation faute d'entretien notamment le désherbage à temps. Mais *à contrario*, en dépit des effets pervers, les feux jouent un rôle central dans le maintien de nombreux écosystèmes naturels comme dans les usages agraires et pastoraux. Ils restent un facteur inféodé aux pratiques agricoles et d'aménagement des formations végétales (Centre de Suivi Ecologique, 2009 ; Houinato et *al*., 2001). Ainsi, ces feux sont – ils utilisés comme moyen de défrichement des espaces à des fins agricoles, de chasse, de gestion des pâturages, de diminution de la biomasse hautement inflammable et de contrôle des parasites.

Par ailleurs, cette thèse a révélé que les feux n'occupent pas les premiers rangs parmi les facteurs qui contribuent fortement à la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Benin et qu'en fait il faut que le feu entre en combinaison avec d'autres facteurs pour que son impact soit perceptible. En réalité, cet impact mineur des feux s'explique par le fait que les populations n'ont pas de repères mesurables ou visibles dans le paysage à l'échelle humaine. Car dans la réalité des faits, des modifications imperceptibles s'opèrent dans la flore. Ces modifications mineures, par effet d'accumulation ou d'intensification de l'action des feux, vont finir par devenir déterminantes dans l'évolution de la végétation et de la flore. C'est pourquoi une étude de la flore était aussi nécessaire afin d'analyser l'état de la biomasse, le matériel brûlé.

Sur le plan doctrinal, la présente thèse révèle deux phénomènes écologiques majeurs liés, dans la dynamique du paysage. Il s'agit de la savanisation en progression et de l'anthropisation dont les facteurs fondamentaux sont plus socio-économiques que biophysiques. La savanisation serait le résultat des pressions anthropiques sur les formations végétales. Les outils de base pour une bonne gestion de ces phénomènes environnementaux sont la télédétection et les systèmes d'information géographiques associés à des analyses socio-économiques. Par ailleurs le feu de végétation, bien qu'étant un phénomène socioculturel, est aussi un phénomène climatique qui peut être utile s'il est allumé de façon précoce pour la protection des champs et plantations et d'autres propretés. Sa gestion tant au niveau local que national va nécessiter un système d'alerte précoce afin de réduire son effet dévastateur et nuisible à la flore.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude est une contribution à l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin. Grâce aux techniques de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG), des mesures quantitatives sur des variabilités observées sur le paysage ont été analysées, de même que les déterminants et les implications environnementaux et socio-économiques de ces changements.

Le Bénin central considéré pour cette étude connaît un taux de régression moyen annuel de -4,33%, confirmant la première hypothèse de ce travail qui considère que ce taux est supérieur au taux national estimé à plus de 2%. Les formations végétales denses ont largement régressé en terme de superficie au profit des espaces agricoles, des agglomérations et des savanes. Le milieu a connu des transformations caractérisées par la conversion ou le changement d'état des unités de l'occupation des terres suivant deux grands processus qui sont la savanisation et l'anthropisation. Aux horizons 2016, 2026 et 2036, ces tendances de la dégradation des formations végétales denses, seront maintenues.

L'étude de l'analyse de l'occurrence spatio-temporelle des feux de végétation au Centre du Bénin, a révélé une variabilité en dents de scie, confirmant la deuxieme hypothèse de cette thèse selon laquelle l'occurrence des feux de végétation suit une périodicité irrégulière. L'utilisation des données satellitales notamment les données des points de feu issus du capteur MODIS, montre la possibilité du suivi quotidien de la pratique de feux et son impact sur la végétation. Entre novembre 2000 et décembre 2010, la présente recherche a montré que la Commune de Bassila, est restée la plus affectée par les feux de végétation. Les unités de l'occupation des terres les plus affectées par ces feux de végétation au Centre du Bénin sont les jachères et les champs, les savanes arborées et arbustives, et les forêts claires et savanes boisées. Aussi l'étude a-t-elle montré qu'il y a une corrélation négative entre le pouvoir radiatif des feux et la végétation mais cette corrélation est négative et faible.

La régression des formations végétales denses au profit des espaces agricoles montre que l'extension des espaces agricoles est la cause majeure de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Bénin, confirmant la troisieme hypothèse. Cependant, cette extension des superficies agricoles est mue par un certain nombre de facteurs dont les plus prépondérants sont: la superficie moyenne défrichée par an, la force de travail masculine, la force de travail féminine, l'altitude, la perception paysanne de la variation pluviométrique, la distance par rapport au marché d'écoulement des produits et enfin la disponibilité en terres. A ces facteurs, s'ajoutent d'autres comme la densité de la population, la superficie moyenne annuelle défrichée pour la culture de coton, la superficie moyenne annuelle défrichée pour la culture d'igname et l'accessibilité des villages.

Les implications environnementales de la dynamique de l'occupation des terres sous l'influence des facteurs ci-dessus évoqués sont la fragmentation du paysage et l'isolement de certaines formations végétales qui se sont amenuisées dans le temps. En effet le paysage est devenu hétérogène et toutes les unités de l'occupation des terres ont connu soit un isolement ou une fragmentation à un moment donné. Du point de vue socio-économique, il est constaté une émergence de nouvelles activités liées à l'exploitation forestière notamment la production et la commercialisation du bois d'œuvre et du charbon de bois. Ces activités se font de façon illicite et informelle dans la plupart des cas, avec la complicité de certaines autorités locales.

En termes de perspectives, il faudrait continuer les investigations sur la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres. La prochaine étape serait de procéder à une cartographie plus détaillée de l'occupation et de l'utilisation des terres avec des données satellitales récentes et de résolution spatiale plus améliorée. Cette cartographie pourrait être la base d'une cartographie topographique au 1/100.000 au moins et peut être étendue sur toutes les autres parties du pays.

Il apparaît urgent que des efforts nationaux de lutte contre les feux dévastateurs soient intensifiés. Dans la Commune de Bassila, il faudrait réactiver les brigades de veille et de sensibilisation locales, mises en place dans le cadre du Projet d'Aménagement des Massifs forestiers des Monts Kouffé, de Wari Maro et d'Agoua (PAMF). Elles pourront continuer les sensibilisations tout en associant les divers acteurs impliqués dans cette

pratique. Pour réussir cela, il faudrait un cadre institutionnel précis. Ainsi, pour le cas spécifique du Bénin, nous proposons la mise en place d'un observatoire national permanent de gestion des feux de végétation avec pour principale fonction l'opérationnalisation d'un système d'alerte rapide et permanent de gestion des feux de végétation à l'échelle nationale. La détection des feux et les systèmes d'alerte rapide sont indispensables pour un contrôle rapide et effectif des incendies. Cet observatoire aura des liens étroits avec les services météorologiques, les universités pour la recherche, les services des forêts et ressources naturelles, et une institution de traitement des données spatiales comme par exemple le CENATEL, capable de traiter les données de feux notamment les données de MODIS, AVHRR, MeteoSat etc. A la base, cet observatoire aura des bureaux communaux, et au niveau des villages, on pourrait former des groupes de gens comme par exemple les brigades de veille mises en place dans le cadre du projet PAMF et ce groupe sera celui des ''*sapeurs pompiers ruraux*'' ayant pour rôle de sensibiliser les acteurs quant à la pratique des feux et les précautions y afférentes.

Sur le plan scientifique, certaines investigations méritent d'être poursuivies pour une bonne compréhension de la dynamique de l'occupation des terres au regard des insuffisances méthodologiques soulevées dans cette thèse. Ainsi, afin de pouvoir mieux intégrer les SIG et la télédétection spatiale dans la gestion de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres au Centre du Bénin, les prochains travaux porteront sur les axes de recherche suivants:

- l'utilisation de systèmes experts qui réduisent ou évitent des erreurs de commission et d'omission lors de la classification des images pour l'occupation et l'utilisation des terres ;
- la mise en place d'un système d'information sur l'occupation et l'utilisation des terres au moyen des images de haute résolution;
- la modélisation de la dynamique de l'occupation des terres et leur intégration dans des modèles de type hydrologique, climatique, ou biogéochimique;
- l'analyse de l'état actuel des savanes arborées et arbustives et des forêts claires et savanes boisées de la zone de transition soudano-guinéenne au Bénin
- l'étude de l'impact des feux de végétation sur la flore.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Adam, K. S. (1978) :** Recherche cartographique sur le milieu naturel de la région de Savè. Thèse de doctorat de 3è cycle de Géographie, Université Paris VII, 105 p.

2. **Adandedjan, C. et Onibon, P**. (1990) : Transhumance du bétail dans le Zou, Rapport principal, Bénin, 35 p.

3. **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, CPU/UNB, Abomey-Calavi, 84 p.

4. **Adouabou, A. B., Gallardo J., Gutierrez, A.R., Sanou, L.** (2004) : Propositions d'aménagement intégré de l'espace rural a partir des multiples usages écologiques, sociaux et économiques des feux de brousse : Cas du ranch de gibier de Nazinga et du Sud du Burkina Faso. Mémoire de DESS Aménagement Intégré des Territoires, Commission française pour l'UNESCO, Université Paul Sabatier de Toulouse, 37 p.

5. **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 nouveau régime. Paris IV Sorbonne, 428 p.

6. **Agbahungba G. et Depommier D.,** (1989) **:** Aspects du parc à Karités-Nérés (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.f. *Parkia biglobosa* jacq. Benth.) dans le sud du Borgou (Bénin). *Revue BFT, n°222, 4 trimest.*

7. **Agonyissa, D.** (1996): Productivité et capacité de charge des pâturages naturels soudano-guinéens de la forêt classée de Wari Maro. Mémoire d'Ingénieur Agronome. FSA, UNB,116 p.

8. **Agossou, V.** (1993). *Les sols béninois et leurs potentialités agricoles. Etudes N°260*. Projet PNUD/FAO d'Agro-pédologie. Bénin, 12 p.

9. **Alimi R. M.** (2010) : Diagnostic participatif des feux de forêts au Bénin et recommandations pour une stratégie nationale de gestion des feux de forêts, Document de travail sur la gestion des feux, MEPN – FAO, Cotonou, Bénin, 108 p.

10. **Amoussou, E.** (2010) : Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, CRC, 315 p.

11. **Andrea, M.O.** (2004) : Assessment of global emissions from vegetation fires. International Forest Fire News, Vol.31, pp. 112 - 121.

12. **Atchade, J.** (1995) : *La transhumance au Bénin, communication à la réunion du Conseil Economique et Social*, Cotonou, 27 p.

13. **Aubréville, A.** (1957) : Accord à Yangambi pour la nomenclature des types africains de végétation. *Bois et For. Trop.*, Vol. 51, pp. 22-27.

14. **Aubreville A.** (1949) : Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 351 p.

15. **Azontonde, H.** (1999) : Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone*. Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991. *IAHS Publ*, Vol. 199, pp. 249 - 258.

16. **Baltaxe, R.** (1985): Guidelines for tropical forest cover monitoring based on remote sensing. FAO special study on forest management. Bangkok, 103 p.

17. **Bamba I., Barima Y. S. S. and Bogaert, J.** (2010): Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Tropical Conservation Science,Vol.* 3, N° 1, pp. 31-44.

18. **Bamba, I. ; Mama, A ; Neuba D.F.R. ; Koffi, K.J. , Traoré D. ; Visser, M. Sinsin, B. Lejoly, J. & Bogaert J.** (2008): Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas Congo (R.D. Congo), *Sciences & Nature,* Vol. 5, N° 1, pp. 49 - *60*.

19. **Bannari, A., Morin, D. et Bonn, F**. (1995): A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*. Vol. 13, pp. 95-120.

20. **Banoin, M., Jouve, P**. (2000): Déterminants des pratiques de transhumance en zone agro-pastorale sahélienne : cas de l'arrondissement de Mayahi au Niger. *Options Méditerranéennes, Série. A,* Vol. 39, pp. 91-105.

21. **Berding, F., Van Diepen, C.A.** (1982) : *Notice explicative des cartes d'aptitude culturale de la République Populaire du Bénin,* (Van Diepen).

22. **Bock, L., Lacroix, D.** (2004): Improving the productivity and sustainability of crops systems on fragile slopes in the highlands of south China and Thailand. Disponible en ligne sur le site : http://www.fsagx.ac.be/gp/inco.htm, consulté le 03/07/2009

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

24. **Bokonon-Ganta, E. B.** (1987) : Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale). Thèse de doctorat du 3ème cycle. Paris IV, Sorbonne. 248 p + Annexes.

25. **Bonn, F., Rochon, R.** (2000): Précis de Télédétection. Volume 1: Principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec / AUPELF, 485 p.

26. **Bonn, F.** (1979) : Introduction à la télédétection en écologie et sciences de la terre. Bulletin de Recherche Nº 45, Département de géographie, Université de Sherbrooke, Canada, 57 p.

27. **Bolstad, P.V. and Lillesand, T.M.** (1991): Rapid maximum likelihood classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, pp. 67-74.

28. **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 de géographie, FLASH, UNB, 95 p.

29. **Bouchardy, J.Y.** (2005): Radar Images and Geographic Information Helping Identify Water Resources During Humanitarian Crisis: The Case of the Chad/Sudan (Darfur) Emergency. Paper presented at the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, on 'Global Monitoring for Sustainability and Security', 20-24 May, St. Petersburg, Russian Federation 2005, 4 p.

30. **Bossou, E.** (1999) : Rapport d'étude sur la problématique des Feux de Brousse au Bénin - MEHU-DAT, Cotonou, Bénin.

31. **Brunet, R., Ferras, R. et Théry, H.** (1992) : Les mots de la géographie, dictionnaire critique. Montpellier/Paris/Reclus/La Documentation Française, 470 p.

32. **Bruzon V.,** (1994) : Les pratiques du feu en Afrique subhumide, exemple des milieux savanicoles de la Centrafrique et de la Côte d'Ivoire, in Blanc Pamard Ch., Boutrais J., *A la croisée des chemins,* Paris, ORSTOM, pp. 147-163.

33. **Burel F. & Baudry J.,** (2003) : Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris, France : Tec & Doc. 359 p.

34. **Burmann A.** (2005): Le coton au Bénin : Organisation et fonctionnement de la filière. *Synthèse,* Deutsche Welthungerhilfe, 4p. http://www.welthungerhilfe.de/fileadmin/media/pdf/Themen/DWHH_Benin2005_fr.pdf

35. **Caloz, R., Blaser, T. J. et Willemin, G.** (1993) : Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude: influence des modes de

rééchantillonnage radiométrique. *Télédétection et cartographie*. Ed. aupelf-uref. Les Presses de l'université du Québec. pp. 17-30.

36. **Capo-Chichi, J.G., Djohossou, P. et Zanou, J**. (1998) : Rapport d'étude sur l'aménagement des terroirs MEHU-DAT, Cotonou, Bénin.

37. **Carrega, P.** (2008): Le risque d'incendie de forêt en région méditerranéenne : compréhension et évolution. Actes du XXIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie. Montpellier, sept. 2008, pp. 11-23.

38. **Carrega, P., Jeronimo, N.** (2007) : Risque météorologique d'incendie de forêt et méthodes de spatialisation pour une cartographie à fine échelle. Actes du XXeme colloque international de l'AIC. Tunis , sept. 2007, 7 p.

39. **CENATEL** (1995) : Carte de végétation du Bénin. Un instrument pour une meilleure gestion des ressources naturelles. Données de base et méthodologie, rapport, Cotonou, Bénin, 15 p.

40. **Centre de Suivi Ecologique (CSE).** (2009) : Suivi des feux de brousse au Sénégal (2008-2009). CSE. Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature, des Bassins et Lacs Artificiels, Sénégal, 15 p. http://www.cse.sn/documents/Rapp_feux_2009.pdf

41. **Cesar J.** (1990): Etude de la production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et son utilisation par l'homme, Thèse d'état, Université de Paris, 617 p.

42. **Chabi, M**. (1997) : Impact de la colonisation agricole sur le milieu rural en *pays Shabè.* Mémoire de Maîtrise de Géographie, UNB, FLASH, 123p & annexes.

43. **Chabi, S., Moussa, Y.** (1991) : La transhumance et son impact socio-économique dans le Département du Borgou. Mémoire de maîtrise de Géographie, FLASH, UNB, 96 p.

44. **Chalifoux, S. , Nastev, M. , Lamontagne, C. , Latifovic, R. et Fernandes, R.** (2006) : Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire LANDSAT en hydrogéologie, *Télédétection*, Vol. 6, Nº 1, pp. 9-17.

45. **Champin, F.S. III, Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Lack, M.C. et Diaz, S.** (2000): Consequences of changing biodiversity. *Nature*, Vol. 401, pp. 234-242.

46. **Chen, X.** (2002): Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, England, Vol. 23, pp. 107-124.

47. **Codjia, C.L. et Gnagna P.,** (1993) : Dynamique des paysages des forêts classées de Toui et de Kilibo. Mémoire de Maîtrise de géographie. FLASH, UNB, 96 p.

48. **COMITAS (Commission ministérielle de la terminologie de la télédétection aérospatiale)** (1988) : Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale. *Bulletin de la SFPT*, Nº 112, 63 p.

49. **Commission Européenne,** (2003): Forest Fires in Europe - The 2002 Fire Campaign. Note technique I.01.117, Joint Research Centre, Ispra, Italie, Janvier 2002, 40 p.

50. **Congalton, R. G.** (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 37, Nº 1, pp. 35-46.

51. **Conseil de l'Europe** (1983) : Charte Européenne de l'aménagement du territoire. 6ème Conférence des Ministres européens responsables de l'Aménagement du Territoire. Strasbourg, 18 p.

52. **Contreras-Hermosilla, A.** (2000): The underlying causes of forest decline. *CIFOR Occas. Pap. 30*, Center Int. Forestry Res., Bogor, Indones.

53. **Corgne, S.** (2004): Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes 2- Haute-Bretagne, France, 230 p.

54. **Costa, M. H., Pires, G. F.** (2009): Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. *International Journal of Climatology*, Vol 30, Nº 13, pp. 1970-1979.

55. **Csiszar, I., Morisette J., et Giglio, L.** (2006): Validation of active fire detection from moderate resolution satellite sensors: the MODIS example in Northern Eurasia**.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* Vol*.* 44, Nº 7, pp. 1757-1764*.*

56. **Daougbe, T.** (1988) : Etude de la réaction de la végétation aux différents types de feu en zone agro-pastorale du Bénin. Thèse, Mostaganien, IITA, 120 p.

57. **Davies, D.K., Ilavajhala, S., Wong, M.M., et Justice, C.O**. (2009). "Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, Nº 1, pp. 72-79.

58. **Defourny P**., (1994) : Evaluation et suivi de la végétation ligneuse en région tropicale sèche (Burkina-Faso). In BONN, F : *Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone*. Presses Universitaires du Québec, ACCT, pp. 247-264

59. **Déry, S.** (1999) : Évolution des territoires agricoles et forestiers en Thaïlande: une interprétation cartographique. *Cahiers d'outre-mer*, Vol. 52, Nº 105, pp. 35-58.

60. **De Sherbinin, A.** (2002): Land use and land cover Change. A CIESIN Thematic Guide, Palisades, NY: Center for International Earth Science Information Network of Columbia. NY, USA, 149 p.

61. **Dhonneur, G.** (1978) : Nouvelles approches des réalités météorologiques de l'Afrique Occidentale et Centrale. ASECNA, Université de Dakar, pp. 385-487.

62. **Dhonneur, G.** (1979) : Traité de météorologie tropicale, application au cas particulier de l'Afrique occidentale centrale, La Météorologie, Direction de la Météorologie, Trappes, tome 1, 151 p.

63. **Dickey D. A. et Fuller. W.A.** (1981): Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, pp. 427-431.

64. **Dickey D. A. et Fuller. W.A.** (1979): 4 Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root , *Econometrica*, Vol. 49, pp. 1057-1072.

65. **Di Gregorio, A.,** (2005): *Land Cover Classification System (LCCS), version 2: Classification Concepts and User Manual.* FAO Environment and Natural Resources Service Series, N°8, FAO, Rome, 208 p.

66. **Djenontin, A. J. P., Houinato, M. Toutain B., Sinsin, B.** (2009) : Pratiques et stratégies des éleveurs face à la réduction fourragère au Nord-Est du Bénin. *Sécheresse*, Vol. 20, Nº 4, pp. 346-353.

67. **Do-ANGO, S.** (2008): Statistique, DEA, PTCI. Cours et exercices. Polycopié Edition 2008, Université Omar Bongo (GABON), 106 p.

68. **Dolidon, H.** (2007): « La multiplicité des échelles dans l'analyse d'un phénomène d'interface nature/société. L'exemple des feux de brousse en Afrique de l'ouest », *Cybergeo : European Journal of Geography*, *Environnement, Nature, Paysage Environnement, Nature*, *Paysage,* document 363, URL: http:// www.cybergeo.eu/index4805.html (Site visité le 19 Avril 2009).

69. **Dolidon H.,** (2005) : L'espace des feux en Afrique de l'Ouest. L'analyse spatio-temporelle d'un phénomène d'interface nature/société, Thèse de doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie, 414 p.

70. **Domenach H., Gonin, P.** (2002) : «Editorial», *Revue européenne des migrations internationales*, Vol. 18, Nº 2, pp. 7-9.

71. **Domenach H., Picouet, M.** (1995) : Les migrations, PUF, Que Sais-je n° 224, 128 p.

72. **Donou, B. et Boko, M. (2007):** Impacts de la variabilité pluviométrique sur les événements hydrologiques extrêmes : cas des crues du fleuve Ouémé dans son bassin de Bonou. *Actes du 1er Colloque de l'UAC, des Sciences, Cultures, et Technologies*, Abomey-Calavi, Géographie, Vol. 1, pp. 165 – 177.

73. **Donyo, S.B.** (1999): Land use and land cover mapping in a tropical african environment: Experiences of the remote sensing applications unit (RSAU). University of Ghana, Legon. In : Adeniyi P.O. (1999) *Geoinformation technology applications for resource and environmental management in Africa*. African Association of Remote Sensing of the Environment (AARSE), Laboratory for Cartography & Remote sensing, Geography Department, University of Lagos, Nigeria, pp. 191-196.

74. **Douglas, I.** (1999): Hydrological investigations of forest disturbance and land cover impacts in South-East Asia: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, pp. 1725-1738.

75. **Dubois, C.** (2009): Le paysage, enjeu et instrument de l'aménagement du territoire, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, Vol. 13, N° 2, pp. 309-316.

76. **Dubos-Paillard, E**., **Guermond, Y., Langlois, P.** (2004): Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire, Le modèle Spacelle. *L'Espace Géographique*, tome 32. France, pp. 357-378.

77. **Dubos-Paillard E.** (2000) : La mutation spatiale de l'industrie dans l'espace urbain (l'agglomération de Rouen*)*, Thèse 3ème cycle, Université de Rouen, France, 286 p.

78. **Dubroeucq, D.** (1977) : *Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200000*, feuille de Savè, ORSTOM

79. **Ducrot, D.** (2005) : Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources. Extraction de caractéristiques de paysage, Mémoire de recherche, INP, Toulouse, France, 240 p.

80. **Dugast, S.** (1999), *Bosquets sacrés et feux rituels chez les Bwaba du Burkina Faso. Eléments de comparaison avec les Bassar du Togo*, Communication au Symposium UNESCO "les sites sacrés naturels", Paris, 22-25 septembre 1999.

81. **Durand, C.** (2002) : Méthodes de sondage : L'échantillonnage et la gestion du terrain. Note de cours, Département de sociologie, Université de Montréal, 77 p.

82. **Dwyer E, Pinnock S, Gregoire J-M, Pereira JMC** (2000) : Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. International *Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, pp. 1289–1302.

83. **Edea, E. O.** (2002) : La production du charbon de bois et son impact sur le milieu dans le secteur Savè-Ouèssè-Tchaourou. Mémoire de Géographie. FLASH, Université d'Abomey-Calavi. 83 p.

84. **EIS** (2006): GLCN West-Africa start-up pilot phase, Environmental Information System - Africa (EIS) News, Issue 51, August 2006. 10 p.

85. **El Garouani, A., Chen, H., Lewis, L., Tribal, A., Abahrour, M.** (2007): Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc). Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, 9 p.

86. **ESRI** (1996) *Using ArcView GIS*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California, USA. 340 p.

87. **Essouman, H.** (1991): Etude sociologique de quelques facteurs de la dégradation des ressources naturelles: cas de Ouèssè. Thèse d'ingénieur agronome. Abomey Calavi : FSA/UNB, 91 p.

88. **Ezzine H., Saidi M., Casanova J. L., Montes A., Ghribe A**. (2005): Conception et mise en place d'un système à base de données NOAA-AVHRR, pour la prévention et le suivi des incendies de forêts au Maroc. *Geo-Observateur* , Vol. 14, pp. 35 – 48.

89. **Fall S., Niyogi D., Gluhovsky A., Pielke R.A. Sr., Kalnay E., Rochon G**. (2009) : Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: assessment using the North American Regional Reanalysis. *International Journal of Climatology*, Vol. 30 N° 13, pp. 1980-1993.

90. **FAO** (2006): *Fire in the agriculture-forestry interface*. Rapport présenté a la 24eme Conférence régionale de la FAO pour l'Afrique, Bamako, 30 janvier au 3 février 2006. ftp.fao.org/unfao/bodies/arc/24arc/J6883E.pdf. 15 p.

91. **FAO** (2007): Fire management – global assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of Global Forest resources assessment 2005, Rome, 156 p.

92. **FAO** (2000): *Global Forest Resources Assessment 2000*, Main Report. FAO Forestery paper, Vol. 140, pp. 115-120.

93. **FAO** (1999): State of the world's forests. Doc. FAO-Rome. 154 p.

94. **FAO** (1997): Africover Land Cover Classification. Environment and Natural Resources Service (SDRN). 76 p.

95. **Feddema, J. J., Oleson, K. W., Bonan, G. B., Mearns, L. O., Buja, L. E., Meehl, G. A.** (2005): The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, Vol. 310, Nº 5754, pp. 1674–1678.

96. **Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., and Hazeu, G.** (2010) : Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. *Applied Geography*, Vol. 30, Nº 1, pp. 19–35.

97. **Feranec, J., Suri, M., Otahel, J., Cebecauer, T., Kolar, J., Soukup, T., Zdenkova, D., Waszmuth, J., Vijdea, V., Vijdea, A. M. and Nitica, C.** (2000) Inventory of major landscape changes in the Czech Republic, Hungary, Romania and Slovak Republic 1970s-1990s. *Applied Geography*, Vol.2, Nº 2, pp. 129-139.

98. **Fischer, G., Shah, M., van Velthuizen, H. and Nachtergaele, F**. **O**. (2001): Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century. Laxenburg (Autriche) : IIASA ; FAO, 2001.

99. **Fischer G., Shah M., van Velthuizen H. (2002):** *Special report as contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg 2002.* International Institute for Applied Systems Analysis; Austria. Climate change and agricultural vulnerability. 152 p.

100. **Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R**. (2005): Global consequences of land use. *Science*, Vol. 309, Nº 5734, pp. 570–574.

101. **Foody, G.M.** (2002) Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, pp. 185-201.

102. **FOSA – Bénin** (2001) : L'Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA). République du Bénin, Ministère du Développement Rural, Direction des Forêts et des Ressources Naturelles. Bénin, 64 p.

103. **Fournier A.,** (1991) : Phénologie, croissance et production végétale dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest , Thèse d'état, Université Paris VI, 312 p.

104. **Franklin, S.** (2001): Remote Sensing for Sustainable Forest Management. *Nature*, Lewis Publishers, New York, USA, 407 p.

105. **Franklin, J., Woodcock, C.E., and Warbington, R**. (2000): Digital vegetation maps of forest lands in California integrating satellite imagery, GIS modeling, and field data in support of resource management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* Vol. 66, pp. 1209–1217.

106. **Franquin P.** (1968) : Analyse agroclimatique en régions tropicales: saison pluvieuse et saison humide. *Cah. ORSTOM, sér. Biol*., Vol. 9, pp. 15-24.

107. **Fresco, L.O**. (1994): Inimaginable futures, a contribution to thinking about land use planning. In Fresco, L.O., Stroosnidjer, L., Bouma, J., Van Keulen, H. (eds). *The future of land: Mobilising and integrating knowledge for land use options*. Willey and Son, Chichester.

108. **Fritz, L.W.** (1996): Commercial Earth Observation Satellite. *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 31, pp. 273-282.

109. **Gbessemelan, V**. (1988): Crise agraire et stratégies paysannes dans le sud-Bénin. Etude de cas des districts ruraux d'Avrankou ,d'Adjarra et d'Akpo-Missérété. Province de l'Ouémé. Thèse d'ingénieur agronome.UNB/FSA,196p & annexes.

110. **Geist, H. J., Lambin, E. F**. (2002): Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience,* Vol*.* 52, pp. 143–50

111. **Geoghegan, J., Pritchard, L., Ogneva-Himmelberger, Y., Chowdhury, R.R., Sanderson, S., Turner II, B.L.,** (1998): "Socializing the pixel" and "pixelizing the social" in land-use and land-cover change. In: Liverman, D., Moran, E.F., Rindfuss, R.R., Stern, P.C. (Eds.), People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science. National Academy Press, Washington, DC, pp. 51–69.

112. **Georges, P**. (1970) : Dictionnaire de la Géographie, PUF, 485 p.

113. **Giglio, L.** (2010): MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.4. *Science Systems and Applications, Inc*., University of Maryland, Department of Geography, 61 p.

114. **Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O., and Kaufman, Y. J.** (2003): "An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 87, Nº 2-3, pp. 273-282.

115. **Glackin, D.L.,** (1998). International Space-based Remote Sensing Overview: 1980-2007. *Can. J. Rem. Sens*., Vol. 24, Nº 3, pp. 307-314.

116. **Goldewijk, K. K.** (2001): Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.15, Nº 2, pp. 417-434.

117. **Grégoire, J-M., Fournier, A., Eva, H. et Sawadogo, L.** (2003) : Caractérisation de la dynamique des feux et de l'évolution du couvert végétal dans le Parc du W: Burkina Faso, Bénin et Niger. Mission d'expertise pour l'étude des feux de brousse et leur utilisation dans le cadre d'une gestion raisonnée des aires

protégées du Complexe WAP. Commission Européenne, Centre commun de recherche (CCR), Italie, 65 p.

118. **Grégoire, J-M. , Tansey, K., Marengo, I., Stroppiana, D., and Fritz, S.** (2002): Global Burnt Area Initiative 2000, mapping areas burnt globally during the year 2000. publication de la Commission Européenne, Note technique I.01.117, Joint Research Centre, Ispra, Italie, Janvier 2002, 40 p.

119. **Guermond, Y.** (2005) : « Des modèles classiques à la modélisation incrémentale ». In Modélisations en Géographie: déterminismes et complexités, Paris, Hermès-Lavoisier, Traité IGAT Information Géographique et Aménagement du Territoire, pp. 49-72.

120. **Gueye, M. et Ozer, A**. (2000). Apport de la télédétection à l'étude de la transformation de l'agriculture et de l'environnement dans le département de Bignona (Sénégal méridional). In Dubois, J.M.M., Caloz, R. et Gagnon, P. (eds): La télédétection en Francophonie: analyse critique et perspectives. AUPELF-UREF, Canada, pp. 141-151.

121. **Haack, B. et Jampoler, S.** (1995) : Colour composite comparisons for agricultural assessments. *International Journal of Remote Sensing,* Vol*.* 16, Nº 9, pp. 1589 – 1598.

122. **Hainry, G.** (1999) : Échelle de Beaufort (dans « Jeux Mathématiques et Logiques »). Institut Universitaire de Technologie de Laval (Département Techniques de Commercialisation). Laval (France). http://perso.univ-lemans.fr/~hainry/articles/beaufort.html (Visité le 15 Avril 2011).

123. **Haynes-Young, R.** (2000): Teledetecţia modificărilor mediului înconjurător, Schimbări majore ale mediului. in N. Roberts (réd.) Schimbari globale ale mediului. Ed. All, Bucuresti, pp. 20-38.

124. **Held, U.** (2010): Pièges des corrélations: les coefficients de corrélation de Pearson et de Spearman. Forum Med Suisse. *Biostatistiques*, Vol. 10, Nº 38, pp. 652–653.

125. **Hibbard, K., Janetos, A., van Vuuren, D. P., Pongratz, J., Rose, S. K., Betts, R., Herold, M. and Feddema, J. J.** (2010): Research priorities in land use and land-cover change for the Earth system and integrated assessment modelling. *International Journal of Climatology*, Vol 30, Nº 13, pp. 2118-2128.

126. **Hiernaux, P. et Turner, M.D**. (2002) : The influence of farmer and pastoralist management practices on desertification processes in the Sahel. In : Global desertification: Do humans cause deserts? Reynolds, J.F. et Stafford Smith, D.M. eds., Dalhem University Press: pp. 135-148.

127. **Houinato, M., Sinsin, B. & Lejoly, J.** (2001): Impact des feux de brousse sur la dynamique des communautés végétales dans la forêt de Bassila (Bénin). *Acta botanica Gallica,* Vol. 148, N° 3, pp. 237-251.

128. **Houndagba, C. J., Akoègninou, A.** (1999): Contraintes écologiques et mise en valeur des bas-fonds dans la région de Dassa-Zoumé (Centre Bénin). *In J Rech. Sci. Univ. Bénin (Togo),* Vol. 3, N° 2, pp. 30-39.

129. **Houndagba, C. J.** (1985) : Analyse typologique des paysages d'Abomey Zagnannado. Exploitation d'un système de programme pl/i. Neptune. Thèse de doctorat de 3ème cycle. ULP, Strasbourg, France, 286 p.

130. **Hountondji, Y.C., Ozer, P. et Tychon B.** (2003) : Etude des modifications environnementales à partir des données pluviométriques et NDVI de NOAA-AVHRR en Afrique de l'Ouest . in: Schmitz, S. et Meert, H. (eds.): Evaluer la capacité du milieu, *Les Journées des Géographes Belges*, Tome 1, Editions BEVAS/SOBEG: pp. 19-24.

131. **Houssou, S. C.** (1998) : Les bioclimats humains de l'Atacora (nord-ouest du Bénin) et leurs implications socio-économiques. Thèse de doctorat nouveau régime, Université de Bourgogne, Dijon, 322 p

132. **IGBP/ IHDP-LUCC and IGBP-DIS,** (1997): LUCC Data Requirements: Survey of needs, gaps and priorities on data for land-use/land-cover change research. Barcelona, Spain, *LUCC Report Series*, N° 3**,** 143 p.

133. **Igue, O. J.** (1994). La colonisation agricole dans l'aire culturelle Tchabè. Rapport non publié, Cotonou, 10 p.

134. **INSAE** (2005a) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département des Collines, Cotonou, Bénin, 21 p.

135. **INSAE** (2005b) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département du Borgou, Cotonou, Bénin, 23 p.

136. **INSAE** (2005c) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département du Plateau, Cotonou, Bénin, 17 p.

137. **INSAE** (2005d) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département de la Donga, Cotonou, Bénin, 15 p.

138. **INSAE** (2005e) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département du Zou, Cotonou, Bénin, 33 p.

139. **INSAE** (2003a): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Février 2002. Quelques résultats, Cotonou, Bénin, 9 p.

140. **INSAE** (2003b) : Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Février 2002. Synthese des analyses en bref, Cotonou, Bénin, 48 p.

141. **IPCC** (2007) : Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

142. **IUFRO** (1992): International guidelines for forest monitoring. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Subject Group S.4.02.00 Forest resource inventory and monitoring. 30 p.

143. **Janicot S. et Fontaine B.** (1993) : L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle en Afrique Occidentale. Métorologie, Vème série, Vol. 25, pp. 69-82.

144. **Janicot S.** (1990) : Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi-stationnaire durant un phase de transition climatique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris VI, France, 600 p.

145. **Jeffreys, M. D.** (1951) : Feux de brousse. *Bull. IFAN*, Vol. 12, N° 3, pp. 283-710.

146. **Jensen, J. R.** (2004) Introductory digital image processing – a remote sensing perspective. 3e édition, Prentice Hall, Upper Saddle River (N.J.), USA , 316 p.

147. **Jensen, J. R., et Cowen, D. C.** (1999): Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* Vol. 65, N° 5, pp. 611-622.

148. **Judex, M., Thamm H-P et Menz, G.** (2008) : Utilisation des terres et occupation du sol dans le centre du Bénin, In: Judex, M. and Thamm, H.-P. (eds.) (2008): IMPETUS Atlas Benin. Research Results 2000-2007. Department of Geography, University of Bonn, Germany: pp. 85-86

149. **Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J.T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., and Kaufman, Y**. (2002): "The MODIS fire products". *Remote Sensing of Environment,* Vol. 83, pp. 244-262.

150. **Kasperson J.X., Kasperson R.E., Turner B.L.** (1995) : *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo: UNUniv. Press. 588 p.

151. **Kvalevag MM, Myhre G, Bonan G, Levis S.** (2009): Anthropogenic land cover changes in a GCM with surface albedo changes based on MODIS data. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, N° 13, pp. 2105–2117.

152. **Kluser, S., De Bono A. , Giuliani, G. , Peduzzi, P**. (2004) : Les Feux de Végétation, un impact double pour la planète, Bulletin d'Alerte Environnementale. Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), 4 p.

153. **Kaufman Y, Justice C** (1998): Algorithm technical background document. MODIS Fire Products (Version 2.2), November 10, 1998) (EOS ID 2741).

154. **Labani, A., Benabdeli, K, Kefifa, A.** (2006) : Fluctuations climatiques et dynamique de l'occupation de l'espace dans la commune de Ain El Hadjar (Saïda, Algérie). *Sécheresse,* Vol.17, Nº 3, pp. 391-398.

155. **Lajoie, G. et Hagen-Zanker**, A. (2007) : La simulation de l'étalement urbain à La Réunion : apport de l'automate cellulaire Metronamica® pour la prospective territoriale », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 405, mis en ligne le 18 octobre 2007, consulté le 21 octobre 2011. URL : http://cybergeo.revues.org/11882.

156. **Lambin, E. F**. (1997): Modelling and monitoring land cover change processes in tropical regions. *Prog. Phys. Geogr. Vol.* 21, Nº 3, pp. 375 - 393.

157. **Lambin, E. F**. (1994): *Modelling deforestation processes: a review.* TREES Publications Series B: Research Report I, EUR 15744 EN, European Commission, Luxembourg, 113 p.

158. **Lambin, E.F., Geist, H.J. and Lepers, E**., (2003): Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annu. Rev. environ. Resour*, Vol. 28, pp. 205-241.

159. **Lambin, E.F. and Geist, H.J.,** (2002): "Global land-use and land-cover change: what have we learned so far?" LUCC Report : pp. 27-30.

160. **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., Vogel, C**. (1999) : Land use and land cover change (LUCC) : Implementation strategy. IGBP Report 48, IHDP Report 10, 125 p.

161. **Langlois, P., Delahaye D.** (2002) : RuiCells, automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface. *Revue internationale de géomatique*, Vol. 12, Nº 4, pp. 461- 487.

162. **Langlois, P**. (2001) : *Le modèle SpaCell*. Base de données du Groupe Modèles du GDR Libergéo: pp. 111-125

163. **Langner, A. Siegert, F.** (2008): Spatiotemporal fire occurrence in Borneo over a period of 10 years, *Global Change Biology*, Vol. 15, pp. 48-62.

164. **Lawrence PJ, Chase T.N.** (2010): Investigating the climate impacts of global land cover change in the community climate system model. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, Nº 13, pp. 2066–2087.

165. **Ledec G.** (1985): The political economy of tropical deforestation. In *Diverting Nature's Capital: The Political Economy of Environmental Abuse in the Third World*, ed. HJ Leonard, New York/London: Holmes & Meier , pp. 179–226.

166. **Lericollais A.** (1988): La gestion du paysage ? Sahélisation, surexploitation et délaissement des terroirs sereer au Sénégal. Actes du Seminaire de Dakar sur '*La Dégradation des Paysages en Afrique de l'Ouest', 21-26 novembre 1988*, pp. 151-169.

167. **Leroux M.,** (1970) : Dynamique des précipitations en Afrique occidentale. *Thèse du 3ème cycle*. Université de Dakar, Sénégal, 281 p.

168. **Lillesand, Th., Kiefer, R. and Chipman, J.W**. (2003): Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, New York, 763 p.

169. **Linsoussi, A.C.** (2011) : Regionalization of a Remote Sensing based Spatial Decision Support System for Bush Fire Management in Benin. PhD Thesis, University of Bonn, 176 p.

170. **Lopez, E., Boco, G., Mendoza, M. and Duhan, E**. (2001): Predicting land-cover change in the urban fringe. A case study in Morelya City, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 55, pp. 271-285.

171. **Loveland, T.R., Sohl, T.L., Stehman, S.V., Gallant, A.L., Sayler, K.L., and Napton, D.E**. (2002): A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, pp.1091–1100.

172. **Loveland, T.R. and Belward, A. S. (**1997). The IGBP-DIS global 1 km land cover data set, DISCover: first results. *Int. J. Remote Sensing,* Vol.18, pp. 3289-3295.

173. **Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E**. (2004) Change detection technique. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, Nº 12, pp. 2365-2407.

174. **Lunetta, R.S. and Elvidge, C.D.** (1998): Remote sensing change detection, environmental monitoring methods and applications. *Ann Arbor Press*, (Michigan), 318 p.

175. **Mainguet M.** (2003) : les sécheresses et le génie créateur de l'homme dans les milieux secs : nouvelle géographie de l'adaptation ? *académie Reims*, France, pp. 4-6.

176. **Major, D.J., Baret, F. and Guyot, G**. (1990): A ration vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing*, Vol.11, Nº 5, pp. 727-740.

177. **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, Nº 5, pp. 429–441.

178. **Mama, V.J**., (2002): An integrated approach for land-use/cover change analysis in a central region of Benin Republic. PhD Thesis, Geography, University of Lagos, Lagos, 221 p.

179. **Mama, J.V. et Houndagba, J**., (1991): Document préparatoire pour la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Rapport du Bénin**,** 116 p.

180. **Mas, J.F.** (2000) : Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Journal canadien de télédétection*, Vol. 26, Nº 4, pp. 349-362.

181. **Matthews E.** (2001): *Understanding the FRA 2000. Forest briefing 1*, World Resourc. Inst., Washington, DC. http://www.wri.org/wri/pdf/fra2000.pdf.

182. **Mbaye, M. et Omitogun, A.A.** (2006) : Application of NigeriaSat-1 data for fire scar mapping of Bauchi area N.E. Nigeria. *Ife Social Sciences Review*, Vol. 20, Nº 1, pp. 186-112.

183. **Mbow, C.** (2000) : Caractéristiques spatio-temporelles des feux de brousse et leur relation avec la végétation dans le Parc National du Niokolo Koba (Sud-est Sénégal). Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, ISE, FST, Université Cheikh Anta Diop-Dakar, Sénégal, 125 p.

184. **MECCAGPDPE-PNUD**, (2000) : Dynamique démographique, question agraire, et urbanisation au Bénin. Etudes Nationales de Perspectives à long terme. NLTPS-BENIN 2025. Ministère d'Etat Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale, du Plan, du Développement et de la Promotion de l'Emploi (MECCAGPDPE), et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), 147p. + Annexes

185. **Menz, G., Barthlott, W., Goldbach, H., Burkhardt, J. and Porembski, S**., (2006): Functionnal relationships between spatio-temporal vegetation dynamics and water cycle. Bonn, IMPETUS Report 2005, WP A3: 27p.

186. **Mertens, B., Lambin, E.F.,** (2000): A spatial model of land-cover change trajectories in a frontier region in southern Cameroon. *Ann. Assoc. Am. Geogr*. Vol. 90, pp. 467–494.

187. **Meyer, W.B.** (1995): Past and Present Land-use and Land-cover in the U.S.A., *Consequences*, Vol. 1, No. 1, U.S. Global Change Research Information Office, Suite 250, 1717 Pennsylvania Ave, NW, Washington, DC 20006

http://www.gcrio.org/consequences/spring95/Land.html, (site visité le 20 Septembre 2010)

188. **Mihai, B., Savulescu, I., Sandric, I. et Oprea, R.** (2006) : Application de la détection des changements à l'étude de la dynamique de la végétation des monts de Bucegi (carpates méridionales Roumanie). *Télédétection*, Vol. 6, Nº 3, pp. 215-231.

189. **Millette, Th., Tuladhar, A.R., Kasperson, R.E. et Turner, B.L**.(1995): The use and limits of remote sensing for analyzing environmental and social change in the Himalayan Middle Mountains of Nepal. *Global Environmental Change*, Vol. 5, Nº 4, pp. 367-380.

190. **Mishra V, Cherkauer KA, Niyogi D, Lei M, Pijanowski BC, Ray DK, Bowling LC, Yang G.** (2010): A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the Upper Midwest United States. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, Nº 13, pp. 2025–2044.

191. **Monnier Y.** (1981) : La poussière et la cendre, Paris, Agence de Coopération Culturelle et technique, 253 p.

192. **Monnier Y**. (1968): Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte d'Ivoire, Abidjan, Ministère de l'éducation nationale, Direction de la recherche scientifique, Etudes Eburnéennes 9, 260 p.

193. **Morisette, J. T., Giglio, L., Csiszar, I., and Justice, C. O.** (2005a): Validation of the MODIS Active fire product over Southern Africa with ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, pp. 4239-4264.

194. **Morisette, J. T., Giglio, L., Csiszar, I., Setzer, A., Schroeder, W., Morton, D., and Justice, C. O.** (2005b): Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. *Earth Interactions*, Vol. 9, Nº 9, pp. 1-25.

195. **Mota, B.W., Pereira, J.M.C., Oom, D., Vasconcelos, M.J.P., Schultz, M.** (2006): Screening the ESA ATSR 2 world fire atlas 1997–2002. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 6, pp. 1409–1424.

196. **MEPN – PNUD,** (2009) : Quatrieme Rapport National du Bénin sur la Convention des Nations Unies sur la diversite biologique. République du Bénin, 172 p.

197. **Mustard, F., Defries, R., Fisher, T., Moran, E.** (2004): "Land use and land cover change pathways and impacts" in Gutman G et al (eds) (2004): "Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on Earth's" *Remote sensing and digital image processing*, Vol. 6, pp. 411-429.

198. **NASA/University of Maryland**, (2002): MODIS Hotspot / Active Fire Detections. Data set. MODIS Rapid Response Project, Fire Information for Resource

Management System [distributors]. Disponible en ligne sur http://maps.geog.umd.edu.

199. **Nepstad, D.C, Verissimo, A, Alencar, A**. (1999): Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, Vol. 398, pp. 505 - 508.

200. **N'da, D.H., N'guessan E.K., Wadja , M.E., et Affian, K.** (2008): Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, Vol. 8, N° 1, pp. 17-34.

201. **Nonguierma, A.** (2005) Evaluation et suivi par télédétection des zones humides au Sahel. Centre Agrhymet, CILSS, 15p.

202. **OBEMINES** (1989) : Notice explicative de la Géologie à 1/200 000. Bénin, 77 p + carte

203. **Odjoubere, J**. (2010): Poussée de la carbonisation à Okouta-ossé, un village périphérique de la forêt classée des Monts Kouffé: problèmes et perspectives pour une gestion durable des ressources végétales. Mémoire de Master II en Géosciences de l'Environnement et Developpement Durable, CIFRED, FLASH, Université d'Abomey Calavi (Bénin), 126 p.

204. **Ojima, D.S., Galvin, K.A. and Turner II., B.L.** (1994): The global impact of land-use change. *BioScience*, Vol. 44, pp. 300-304.

205. **Ogouwalé, E.** (2006) : Changements Climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospectives pour la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi. Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Cultures et Développement », 301 p.

206. **Ogouwalé, E., Boko, M., Adjahossou, F.** (2007) **:** Etude comparée des précipitations entre les normales 1940-1971 et 1971-2000 dans le Bénin méridional et central : Approche cartographique. *Actes du 1er Colloque de l'UAC, des Sciences, Cultures, et Technologies*, Abomey Calavi, Géographie, Vol. 1, pp. 153 – 163.

207. **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.

208. **Oloni, G.** (2000): Projet restauration des ressources forestières dans la région de Bassila : Bilan des actions du projet pour la gestion des feux de brousse – le défrichement contrôlé et la lutte contre la transhumance. MDR / DFRN GTZ/LUSO-CONSULT, République du Bénin, 29 p.

209. **Oloukoi, J.** (2005) **:** Dynamique de l'occupation du sol dans le Département des Collines et impact sur l'utilisation des bas-fonds. Mémoire de DEA en Gestion de l'Environnement, EDP, FLASH, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 84p.

210. **Oloukoi, J. et Mama, V.J.** (2009): Analyse de la dynamique agraire des agro écosystèmes de bas-fonds du Centre Bénin, *Agronomie Africaine*, Vol. 21, Nº 2, pp. 117 – 128.

211. **Oloukoi, J.; Mama, V.J. et Agbo, F.B.** (2007) : Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télédétection*, Vol. 6, Nº 4, pp. 305-323.

212. **Oloukoi, J et Mama, V. J.** (2004): *Occupation du sol et transhumance : Cas de la région de Savè au Bénin*, In Ayeni, O.O., Nwilo, P.C., Omojola A. and Olaleye J.B. (eds) (2004): Geoinformation for sustainable development in Africa, African Association of Remote Sensing and Environment , *AARSE Book*, 2004, ISBN 978-31004-2-5, University of Lagos, Lagos, Nigeria, pp. 447-456.

213. **Oloukoi, J.** (2001) : Impact environnemental de la transhumance dans les Sous-préfectures de Savè, Ouèssè et Tchaourou. Mémoire de Maîtrise de Géographie, FLASH, UAC, 105 p.

214. **Omojola, A.** (1997): Use of remote sensing and GIS techniques in land use and land cover inventory and change assessment in a semi- arid region of Nigeria. PhD dissertation. Geography Department, University of Lagos, Lagos,184 p.

215. **Onibon, P.** (1998): Mission d'identification d'un programme de gestion des espaces forestiers et d'aménagement du territoire dans le Nord Bénin. GERAM conseils, Bohicon, 79 p.

216. **Onibon, P**. (1990) : Etude des troupeaux transhumants dans la province du Zou. Périmètre Savè-Ouèssè, Thèse d'ingénieur agronome, FSA, UNB, Abomey Calavi, 227 p.

217. **Orekan, V.** (2007a): Implementation of the local land-use and land-cover change model CLUE-s for Central Benin by using socio-economic and remote sensing data. PhD Thesis, University of Bonn, 204 p.

218. **Orekan, V.** (2007b) : Traitement et analyse des donnees LANDSAT 7. Elaboration de la carte forestière, Exécution d'un Inventaire Forestier National (IFN). Projet Bois de Feu, phase II, Cotonou, Bénin, 61 p.

219. **Otsuka, M.** (2003): Manuel sur la Lutte contre les Feux de Végétation: Compilation du Savoir-faire actuel. Les Techniques existantes dans la Lutte contre les Feux de Végétation, Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (MINENVEF) - République de Madagascar - Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), 114 p.

220. **Ouattara, T. , Dubois, J.M. et Gwyn Q. H. J.** (2006): Méthode de cartographie de l'occupation des terres en milieu aride à l'aide de données multisources et de l'indice de végétation TSAVI**,** *Télédétection*, Vol. 6, Nº 4, pp. 291-304.

221. **Oyinloye R. O**. (2007): A geoinformation-based model for assessing and monitoring forest reserves in Southwestern Nigeria. PhD Thesis, Geography, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigéria, 363 p.

222. **Pagney P.** (1976) : Les climats de la terre. Collection Initiation aux études de géographie. Masson, Paris, 148 p.

223. **Péguy, C.P.** (1970): Précis de Climatologie. 2ème édition, Masson, Paris, 468 p

224. **Penner, J.E.** (1994): Atmospheric chemistry air quality. *In* W.B. Meyer, B.L. Turner II (réd.) Changes in land use and land cover: a global perspective. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 175-209.

225. **Petit, C., Scudder, T. and Lambin, E**. (2001) Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. *International Journal Remote Sensing*, Vol. 22, Nº 17, pp. 3435-3456.

226. **Pham, T. H., Bonn, F., et Dubois, J.M.** (2007): Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcellé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale : application à une région littorale au Viet-Nam. *Télédétection*, Vol. 7, Nº 1-2-3-4, pp.303-323.

227. **Pickup, G. et Marks, A.** (2000): Identifying large scale erosion and deposition processes from airborne gamma radiometrics and digital elevation models in a weathered landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 25, pp. 535-557.

228. **Pielke, R. A.** (2005): Land use and climate change. *Science*, Vol. 310, Nº 5795, pp.1625–1626.

229. **Pomel S., Pomel-Rigaud F., Schulz E.,** (1994) : Indicateurs anthropogènes de la végétation et des sols de quelques savanes de l'Afrique de l'Ouest. In : Pomel S., Salomon J.N., Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale. Bordeaux, P.U.B., pp. 173-200.

230. **PNUD / UNSO**, (1990) : Suivi écologique - Le modèle sénégalais, UNSO, Série de publications techniques N° 1, 15 p.

231. **Pontius, Jr.R.G**. (2000): Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, Nº 8, pp. 1011–1016.

232. **Purevdorj, Ts., Tateishi, R., Ishiyama, T. and Honda, Y**. (1998): Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, Nº 18, pp. 3519-3535.

233. **Puyravaud, J. P.** (2003): Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, Vol. 177, Nº 1–3, pp. 593–596.

234. **Qihao, W.** (2002): Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management,* Vol*.* 64, pp. 273–284.

235. **Ramade F.** (1981): Ecologie des ressources naturelles. Ecologie appliquée et sciences de l'environnement 4. Masson, France, 322 p.

236. **Ramankutty, N. and Foley, J.A.** (1999): Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 13, Nº 4, pp. 997-1027.

237. **Rees, W. G., Williams, M. and Vitebski, P. V**. (2003): Mapping land cover change in a reindeer herding area of the Russian arctic using Landsat TM and ETM+ imagery and indigenous knowledge. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 85, pp. 441-452.

238. **Rey Benayas, J. M., Newton, A. C., Dıaz, A., & Bullock, J**. (2009): Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, Vol. 325, Nº 5944, pp. 1121–1124.

239. **Reynolds, J. F., Maestre, F. T., Kemp, P. R., Stafford-Smith, D. M., & Lambin, E.** (2007): Natural and human dimensions of land degradation in drylands: causes and consequences. In J. G. Canadell, D. E. Pataki, & L. F. Pitelka (Eds.), Terrestrial ecosystems in a changing world (global change – The IGBP series). Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 247– 257.

240. **Riebsame, W.E. Parton, W. J. Galvin, K. A. Burke, I. C. Bohren, L. Young, R. Knop, E**. (1994): "Integrated Modeling of Land Use and Cover Change." *BioScience*, Vol. 44, pp. 350-356.

241. **Rigina, O., Baklanov, A., Hagner, O. and Olson, H**. (1999): Monitoring of forest damage in the Kola Peninsula, Northern Russia due to smelting industry. *The Science of the Total Environment*, Vol. 229, pp. 147-163.

242. **Rumley, P.A.** (2002) : L'aménagement du territoire entre changement et continuité. *Revue DISP*, pp. 19-23.

243. **Sawadogo, H. ; Zombre, N.P. ; Bock, L.; Lacroix, D. (2008):** Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photos aériennes. *Télédétection*, Vol. 8, Nº 1, pp. 59-73.

244. **Schowengerdt, R. A.** (1997): Spectral Transforms in: Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. London: Academic Press, 522 p

245. **Schroeder, W., Prins, E., Giglio, L., Csiszar, I., Schmidt, C., Morisette, J. T., and Morton, D.** (2008): Validation of GOES and MODIS active _re detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp. 2711-2726.

246. **Schulz, J.J. Cayuela, L., Echeverria C., Salas, J., Marı, J. , Benayas, R.** (2010): Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008), *Applied Geography*, Vol. 30, pp. 36–447.

247. **Sepulchre, F., Adanmayi, J., Brasseur, M., Forster, H.** (2007a): Système de Suivi & Évaluation des ressources forestières au niveau national. Exécution d'un Inventaire Forestier National (IFN). Projet Bois de Feu, phase II, Cotonou, Bénin, 35 p.

248. **Sepulchre, F., Adanmayi, J., Brasseur, M., Forster, H.** (2007b): Méthodologie et résultats d'inventaire aux niveaux régionaux. Exécution d'un Inventaire Forestier National (IFN). Projet Bois de Feu, phase II, Cotonou, Bénin, 136 p.

249. **Serneels, S., Lambin, E.F**. (2001): Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model, *Elsevier, Agriculture, Ecosystems and Environment,* Vol. 85, pp. 65–81.

250. **Serra, P., Pons, X., & Saurı, D.** (2008) : Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, Vol. 28, Nº 3, pp. 189–209.

251. **Sertel E, Robock A, Ormeci C**. (2009): Impacts of land cover data quality on regional climate simulations. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, Nº 13, pp. 1942-1953.

252. **Shalaby, A., Tateishi, R.** (2007): Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, Vol. 27, Nº 1, pp. 28–41.

253. **Shao, G., et Wu, J.** (2008): On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*, Vol. 23, Nº 5, pp. 505–511.

254. **Singh, A**. (1989): Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 10, Nº 6, pp. 989-1003.

255. **Skole, D.L., Chomentowski, W.H., Salas, W.A., Nobre, A.D**., (1994): Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscence*, Vol. 44, pp. 314-322.

256. **Stéphenne, N., Lambin, E.F.** (2001): A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU), Elsevier, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 85, pp. 145–161.

257. **Takahashi HG, Yoshikane T, Hara M, Takata K, Yasunari T**. (2010): High-resolution modelling of the potential impact of land-surface conditions on regional climate over Indochina associated with the diurnal precipitation cycle. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, Nº 13, pp. 2004 - 2020.

258. **Tandjiékpon, A.M**. (2001): Fire Situation in Bénin**.** *IFFN,* Vol. 25, pp. 2-4.

259. **Tappan, G.G., Sall, M., Wood, E.C. et Cushing, S.** (2002): Monitoring land use land cover change in West Africa. A Collaboration Programme of the USGS EROS Data centre. June 2002. 60 p.

260. **Tchamie, T.T.K.** (2003) : Les conflits sociaux liés à la transhumance, et leur règlement au Togo, *Sciences sociales et humaines*, Revue CAMES, Série, B, Vol. 5, Nº 1-2, pp.103-113.

261. **Tchamie T.T.K. et Bouraima M**., (1997) : Les formations végétales du plateau Soudou-Dako dans la chaîne de l'Atacora et leur évolution récente (Nord Togo). *J. Bot. Soc. Bot. Fr*. Vol. 3, pp. 83-94.

262. **Tchegnon, P**. (1995): Migration rurale, stratégie foncière et gestion des ressources naturelles dans la Sous-Préfecture de Savè. thèse d'ingénieur agronome, UNB/FSA. 138 p.

263. **Tchibozo, C. F.,** (1981) : Contribution à l'étude biogéographique de la région de l'Atacora, Etude typologique des unités de paysage du versant oriental de la chaîne de l'Atacora (à la hauteur de Natitingou). Thèse de doctorat 3è Cycle. Université de Paris7–Jussieu. E.U.R de Géographie Physique, France, 326 p.

264. **Tente, B.** (2000) : Dynamique actuelle de l'occupation du sol dans le massif de l'Atacora : Secteur Perma–Toucountouna, Mémoire de DEA, EDP, UNB, 83 p.

265. **Thamm H-P.** (2008) : Les feux de brousse au Bénin, In: Judex, M. and Thamm, H.-P. (ed.) (2008): IMPETUS Atlas Benin. Research Results 2000 - 2007. Department of Geography, University of Bonn, Germany, pp. 97-98.

266. **Tommervik, H., Hogda, K. A. and Solheim, I**. (2003): Monitoring vegetation changes in Pasvik –Norway and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS / TM data. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 85, pp. 370-388.

267. **Toutoubalina, O. V. and Rees, W. G.** (1999): Remote sensing of industrial impact on Arctic vegetation around Noril'sk, northern Siberia: preliminary results. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, Nº 15-16, pp. 2979-2990.

268. **Tucker, C.J**., (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment,* Vol. 8, pp. 127-150.

269. **Turner, B. L., II, Lambin, E. F., & Reenberg, A.** (2007): The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 104, Nº 52, pp. 20666–20671.

270. **Valea, F**. (2005) : Élaboration d'une méthode de suivi et d'analyse spatio-temporelle des feux de brousse en Afrique de l'Ouest : cas du Sénégal et du Burkina Faso. Guide méthodologique, Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique, Dakar, Sénégal, 93 p.

271. **Van Gils, Huizing, H., Kannegieter, A., and van der Zee, D**. (1991): The evolution of the ITC system of rural landuse and landcover classification (LUCC). *ITC journal*, Enschede, The Netherlands, Vol. 3, pp. 163-167.

272. **Veldkamp, A. et Fresco, L. O.** (1996): CLUE-CR : An integrated multiscale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. Ecol. Model. Vol. 91, pp. 231-248.

273. **Verburg, P. H**. (2000) : Exploring the spatial and temporal dynamics of land use with special reference to china. Thesis Wageningen University, The Netherlands, 143 p.

274. **Vissin W.E.** (2007) : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat Unique, Dijon, France, 285 p.

275. **Vitousek, P. M.** (1994): Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, Vol. 75, Nº 7, pp. 1861–1876.

276. **Volkoff, B. et Willaime, P.** (1963) : Notice explicative de la carte des sols du Dahomey au 1/1.000.000.

277. **Walsh, S.J., Evans, T.P., Welsh, W.F., Entwisle, B., Rindfuss, R.R**., (1999): Scale-dependent relationships between population and environment in Northeastern Thailand. *Photogramm. Eng. Remote Sens*. Vol. 65, pp. 97–105.

278. **Wiggins S.** (1995): Change in African farming systems between the mid 1970s and the mid 1980s. *Journal of International Development. Vol.* 7, Nº 6, pp. 807–846.

279. **Wooster, M. J., Roberts G., Perry G. L. W., et Kaufman, Y. J**. (2005): Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research*. 110, D24311. doi:10.1029/2005JD006318.

280. **Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., Hec, Y., Wang, M., Wang, B., & Wang, Z.** (2006): Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 78, Nº 4, pp. 322–333.

281. **Xiao, C., Yu, R., Fu, Y.** (2009): Precipitation characteristics in the Three Gorges dam vicinity. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, Nº13, pp. 2021 - 2024.

282. **Yabi C.** (2001). Migration rurale et questions foncières dans le secteur savè-Ouessè-Tchaourou. Mémoire de maîtrise de géographie, UNB, FLASH, 111 p & annexes.

283. **Yabi I.** (2007): Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi. Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Cultures et Développement », 239 p.

284. **Yabi, I. et Afouda, F**. (2007) : Variabilité pluviométrique du début de la saison agricole et mesures d'adaptation dans le département des Collines au Benin (Afrique de l'Ouest), *Actes du 1er Colloque de l'UAC, des Sciences, Cultures, et Technologies*, Abomey Calavi, Vol.1, pp. 139 – 151.

285. **Yameogo, U**. (1999) : Contribution à l'étude des feux comme outil de gestion dans les aires protégées. Cas des feux tardifs dans le Ranch de Gibier de Nazinga, Université d'Orléans, IRD, 118 p.

286. **YANGAMBI,** (1956) : C.S.A. Specialist Meeting on Phytogeography / Réunion de spécialistes du C.S.A. en matière de phytogéographie. Scientific Council for Africa South of the Sahara, YANGAMBI, 28th July – 8th August 1956, Publication n°22, C.C.T.A, 35 p.

287. **Young, R.** (1994): Towards international Classification Systems for Land use and land cover. In UNEP/GEMS, Report of the UNEP/FAO Expert meeting on Harmonization land cover and land use classifications, GEMS Report series No 25, Nairobi.

288. **Youssouf, I. et M. Lawani, M.** (2000) : Les sols béninois: classification dans la Base de référence mondiale. *Actes de la 14eme réunion du Sous-Comité ouest*

et centre africain de corrélation des sols, Abomey, République du Bénin, pp. 29-50

289. **Yuan D., et Elvidge C**. (1998): NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C Area Experiments. *Remote Sens. Environ*., Vol. 66, pp. 166-178.

290. **Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E**. (2005) : Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 98, Nº 2–3, pp. 317–328.

291. **Yuechen, L**. (2008): Land cover dynamic changes in northern China: 1989-2003, *J. Geogr. Sci.* 18: 85-94

292. **Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., DiMiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C.,** (2002): Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment,* 83*:* 336–350.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Inventaire et Classification des méthodes de détection des changements de l'occupation des terres 29
Tableau II: Rotation et association des cultures au Centre du Bénin 42
Tableau III: Caractéristiques des images satellitales utilisées 53
Tableau IV: Cartes topographiques utilisées et leurs caractéristiques 59
Tableau V : Synthèse des paramètres de la technique d'échantillonnage utilisée 63
Tableau VI: Nature des données collectées par catégorie d'acteurs lors de l'enquête socio-économique 64
Tableau VII: Caractéristiques des stations retenues 65
Tableau VIII: Choix de la composition colorée en fausse couleur des images Landsat TM et ETM 67
Tableau IX: Largeur de bande de NigeriaSat1 en comparaison avec celles des images Landsat TM et ETM 69
Tableau X: Choix de la composition colorée en fausse couleur de l'Image de NigeriaSat1 69
Tableau XI: Clé d'interprétation et de reconnaissance visuelle des ensembles d'occupations des sols 71
Tableau XII: Exemple d'une matrice de transition 77
Tableau XIII: Exemple d'espace composé de champs cellulaires 80
Tableau XIV: Description des variables utilisées 92
Tableau XV: Classification des sols du secteur d'étude selon leur niveau de fertilité 99
Tableau XVI : Présentation simplifiée de l'échelle de Beaufort 114
Tableau XVII: Répartition des superficies (ha) des formations végétales par Commune au Centre du Bénin 131
Tableau XVIII: Population de la zone d'étude en 2010 et importance agricole 133
Tableau XIX : Ampleur de l'immigration des colons agricoles dans le Centre du Bénin 134
Tableau XX: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image TM 1986 146
Tableau XXI: Erreur d'omission et de commission de la classification de TM 1986 146
Tableau XXII: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image ETM de 2000 147
Tableau XXIII: Erreur d'omission et de commission de la classification de ETM 2000 148
Tableau XXIV: Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image NigeriaSat1 de 2006 149
Tableau XXV: Erreur d'omission et de commission de la classification de NigeriaSat1 2006 150
Tableau XXVI: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Nord Est 151
Tableau XXVII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Nord Ouest 153
Tableau XXVIII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Sud Est 155
Tableau XXIX: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Savè Sud Ouest 157
Tableau XXX: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Sokodé Nord Est 159
Tableau XXXI: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Sokode Sud Est 161
Tableau XXXII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Zagnanado Nord Est 163
Tableau XXXIII: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Zagnanado Nord Ouest 165
Tableau XXXIV: Statistiques de l'occupation des terres dans la zone de Abomey Nord Ouest 167
Tableau XXXV: Synthèse des changements de l'occupation et de l'utilisation des terres par feuille 169
Tableau XXXVI: Différence entre les taux de changement de l'occupation et l'utilisation des terres des deux périodes 1986-2000 et 2000-2006 (Test de Student) 170
Tableau XXXVII: Matrice de transition des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres 171

de 1986 à 2000 (%)
Tableau XXXVIII: Matrice de transition des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres de 2000 à 2006 (%) 171
Tableau XXXIX: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP1 172
Tableau XL: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP2 173
Tableau XLI: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP3 173
Tableau XLII: Superficie et évolution des unités de l'occupation des terres dans l'UP4 174
Tableau XLIII: Evaluation du nombre de cellules ou d'individus par unités d'occupation des terres 178
Tableau XLIV: Taux d'extinction et durée de vie des cellules 179
Tableau XLV : Projection de la proportion (en %) des unités de l'occupation des terres aux horizons 2025 et 2034 selon le scénario *'tendance vers la catastrophe'* 181
Tableau XLVI: Projection de la proportion (en %) des unités de l'occupation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario '*écologique' ou 'stabilité environnementale'* 184
Tableau XLVII: Test de Stationnarité de Dickey-Fuller Augmenté et test d'existence de tendance 189
Tableau XLVIII: Test de corrélation effectué pour les données de décembre 2000 : Mesures symétriques 206
Tableau XLIX: Analyse de la variance (ANOVA), 2000 206
Tableau L: Test de corrélation effectué pour les données de novembre 2006 : Mesures symétriques 207
Tableau LI: Analyse de la variance (ANOVA), 2006 208
Tableau LII: Corrélation entre le Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) et des facteurs climatiques 209
Tableau LIII: Corrélation entre le Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) et la pente et l'altitude de terrain 210
Tableau LIV : Corrélation entre la température de surface Ts et le NDVI 210
Tableau LV: Facteurs humains responsables des feux de végétation au Centre du Bénin 213
Tableau LVI: Dommages crées par les feux de végétation 214
Tableau LVII: Résumé du Modèle et estimation de ANOVA pour la Régression Multiple Linéaire 220
Tableau LVIII: Coefficients des différentes variables indépendantes 221
Tableau LIX: Perceptions paysannes sur la variabilité pluviométrique 224
Tableau LX: Proportion des acteurs selon la superficie des plantations 233
Tableau LXI: Impact des feux sur le NDVI 234
Tableau LXII: Propriétés quantitatives de la dynamique de l'occupation des terres 235
Tableau LXIII: Diversité et dominance des types d'occupation et d'utilisation des terres 238
Tableau LXIV: Niveau de fragmentation du paysage 239
Tableau LXV:Consentement à Recevoir (CAR) et Consentement à Payer (CAP) pour l'abattage d'un arbre 245

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Couverture de la zone d'étude par les scènes de Landsat TM et ETM+ 54
Figure 2: Couverture de la zone d'étude par la scène de NigeriaSat1 et par les feuilles d'Abomey et de Sokodé du Projet bois de Feu 55
Figure 3: Seuil des températures en degré Kelvin, des feux détectables par MODIS en fonction de leur taille 57
Figure 4: Pixels chauds et leurs correspondants sur le terrain 57
Figure 5: Répartition géographique des localités enquêtées 61
Figure 6: Echantillons des compositions colorées en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle de Landsat TM et ETM, montrant la plantation et le barrage de la SUCOBE (Sucrerie Complant du Bénin, ex Société Sucrière de Savè). 68
Figure 7: Echantillons des compositions colorées en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle de NigeriaSat1 montrant la plantation et le barrage de la SUCOBE (Sucrerie Complant du Bénin, ex Société Sucrière de Savè). 70
Figure 8: Procédure générale de la classification supervisée et de l'extraction de l'information 72
Figure 9: Quadrillage de la zone d'étude par des feuilles au 1/100000 79
Figure 10: Cadre conceptuel des Scénarios socio-économique et écologique de projection de la dynamique de l'occupation des terres 85
Figure 11: Synthèse des transitions majeures possibles pour la transformation des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres 87
Figure 12: Localisation des unités paysagiques (UP) 88
Figure 13: Altitude (m) de la zone d'étude 97
Figure 14: Pente de terrain (%) dans la zone d'étude 98
Figure 15: Diagramme conceptuel de l'étude 100
Figure 16: Localisation de la zone d'étude 103
Figure 17: Feuilles topographiques au 1/200 000 couvrant la zone d'étude 103
Figure 18:Régime pluviométrique moyen dans le Centre du Bénin de 1976 à 2005 105
Figure 19: Répartition spatiale des totaux pluviométriques dans le Centre du Bénin (1971-2000) 106
Figure 20: Diagramme climatique de Savè 107
Figure 21: Évolution de la température mensuelle entre 1976 et 2005 à Savè 108
Figure 22: Evolution spatiale de la température maximale dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005) 109
Figure 23: Évolution spatiale de l'Insolation dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005) 110
Figure 24: Evolution mensuelle de l'humidité relative à Savè (1976 – 2005) 111
Figure 25: Evolution spatiale de l'humidité relative dans la zone d'étude entre novembre et février (1976 – 2005) 112
Figure 26: Evolution mensuelle de la vitesse du vent à Savè (1976 – 2005) 113
Figure 27: Répartition spatiale de la vitesse du vent au Centre du Bénin 115
Figure 28: Effet du vent sur la propagation des feux sur une pente 116
Figure 29: Carte géologique de la zone d'étude 118
Figure 30: Formations pédologiques du Centre Bénin 125
Figure 31: Importance des formations végétales dans le Centre Bénin 126
Figure 32 : Répartition des formations végétales au Centre du Bénin 128
Figure 33 : Evolution de la population du secteur d'étude de 1979 à 2010 133
Figure 34: Densité de population de la zone d'étude 136
Figure 35: Proportion des groupes socio-culturels dans le Centre du Bénin 138
Figure 36: Importance de la population dans les différents secteurs économiques dans le 140

Centre du Bénin
Figure 37: Diagramme systémique des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres 141
Figure 38: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Nord Est en 1986, 2000 et 2006 152
Figure 39: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006 154
Figure 40: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Sud Est en 1986, 2000 et 2006 156
Figure 41: Occupation et Utilisation des terres dans SAVE Sud Ouest en 1986, 2000 et 2006 158
Figure 42: Occupation et utilisation des terres dans SOKODE Nord Est en 1986, 2000 et 2006 160
Figure 43: Occupation et utilisation des terres dans SOKODE Sud Est en 1986, 2000 et 2006 162
Figure 44: Occupation et utilisation des terres dans ZAGNANADO Nord Est en 1986, 2000 et 2006 164
Figure 45: Occupation et utilisation des terres dans ZAGNANADO Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006 166
Figure 46: Occupation et utilisation des terres dans ABOMEY Nord Ouest en 1986, 2000 et 2006 168
Figure 47: Unités paysagiques (U P) montrant les processus de savanisation et d'anthropisation au Centre du Bénin 175
Figure 48a: Evolution des unités de l'occupation et de l'utilisation des terres dans chaque unité paysagique de 1986 à 2000 et de 2000 à 2006 176
Figure 48b: Évolution des unités de l'occupation des terres dans chaque unité paysagique de 1986 à 2000 et de 2000 à 2006 177
Figure 49: Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario *'tendance vers la catastrophe'* 182
Figure 50: Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 selon le scénario écologique ou *'stabilité environnementale'* 185
Figure 51: Evolution temporelle des points de feu de Novembre 2000 à Décembre 2010 187
Figure 52: Période de feux de végétation dans le Centre du Benin selon les populations 188
Figure 53a : Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (Nov 2000 à 2002) 190
Figure 53b: Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (2003 à 2006) 191
Figure 53c: Densification spatiale des feux au Centre du Bénin (2007 à 2010) 192
Figure 54: Unités d'occupation des terres les plus affectées par les feux 194
Figure 55: Evolution des superficies brûlées (1986, 2000 et 2006) 195
Figure 56: Répartition spatiale des terres brûlées en Janvier 1986 196
Figure 57: Répartition spatiale des terres brûlées en Décembre 2000 197
Figure 58: Répartition spatiale des terres brûlées en Novembre 2006 198
Figure 59a: Indice de Végétation Normalisé (NDVI) et points de feux de décembre 2000 201
Figure 59b: Indice de Végétation Normalisé (NDVI) et points de feux de Novembre 2006 202
Figure 60a: Pouvoir radiatif des feux de végétation (en MégaWatt) en décembre 2000 203
Figure 60b: Pouvoir radiatif des feux de végétation (en MégaWatt) en novembre 2006 204
Figure 61: Niveau de risque de feu de végétation selon l'indice de sécheresse de la végétation 212
Figure 62: Superficie moyenne défrichée par an 222
Figure 63*:* Opinion endogène des acteurs sur la disponibilité des terres 223
Figure 64: Distance par rapport au marché d'écoulement des produits 225
Figure 65: Evolution de la superficie du coton et d'igname entre 1998 et 2010 226
Figure 66: Triangle d'accessibilité des villages par rapport aux lieux de production et de vente des produits 230
Figure 67: Opinion endogène sur l'accessibilité des villages sur la base de l'état des routes 231

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Quelques traits physiques du Centre Bénin : Collines de Akpassi dans la commune de Bantè (**a**) ; Collines de Savè se présentant sous forme de Mamelles (**b**) ; Collines de Savalou recouverte de végétation saxicole (**c**) 120
Photos 2: Planche de photos (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f) montrant des unités d'occupation et d'utilisation des terres du Centre Bénin 127
Photos 3: Feux allumés de jour parcourant une savane (a) vers Igbéré dans la commune de Savè et de nuit (b) dans la périphérie de Savalou, à Dohissa en allant vers Bantè 193
Photo 4: Jeune plantation de Teck brûlée jusqu'au sous-bois exposant le sol aux effets du rayonnement incident à la périphérie de Savalou 199
Photo 5: Au premier plan, Champs de Coton dans lequel on note l'absence d'arbre à Anihingbé dans l'arrondissement de Monkpa dans la Commune de Savalou 227
Photo 6: Champs nouvellement préparés et labourés pour la culture d'igname à Gbéré (a) dans la Commune de Savè et à Monkpa (b) dans la Commune de Savalou 228
Photo 7: Abattage d'arbres dans la zone de Djaloukou dans la Commune de Savalou 236
Photo 8: Clairière créée par des exploitants forestiers dans la Commune de Savè entre les villages Monka et Djabata 236
Photo 9: Champ cultivé montrant des pieds d'arbres secs à Lougba dans la Commune de Bantè 237
Photo 10: Madriers de bois entreposés en pleine brousse dans la Commune de Bassila 241
Photo 11: Préparation en cours pour la production du charbon de bois dans la confluence de l'Okpara 241
Photo 12: Production du charbon de bois en cours entre Moka et Djabata (a) et puis sur l'axe Konkondji – Djaloukou (b) en pleine forêt claire et savane boisée 242
Photo 13: Sacs de charbons de bois retrouvés en brousse au lieu de production 242

ANNEXES

UTILITE DE LA TELEDETECTION ET DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BÉNIN

Questionnaire destiné aux producteurs(agriculteurs, producteurs de charbon, exploitant forestier, chasseurs)

N° fiche /__/ Nom de l'enquêteur: ..... Date…./…/…../

I- Identification

Caractéristiques	**Codes**	**Inscrire la réponse**
Département (**DEPART**)	1=Collines	
Commune (**COMM**)	1=Glazoué, 2=Savè, 3=Savalou, 4=Dassa-Zoumé, 5=Bantè, 6=Ouessè, 7=Tchaourou, 8=Ketou, 9=Djidja, 10=autres (à préciser)	
Arrondissement (**ARRON**)	1= Aklampa, 2=Ouèdèmè, 3= Zaffé, 4=Agoua, 5=Pira, 6=Ouessè, 7=Laminou, 8=Ogbanlin, 9=Autres (à préciser)	
Village/quartier de ville (**VILL**)	1=ikemo, 2=kaboua, 3=Papane, 4=Igboja, 5=pira, 6=tchetti, 7=Djabata, 8=toui, 9=ouoghi, 10=Autres (à préciser)	
Hameau (**HAMEA**)	A préciser (si possible)	
Zone agroécologique (**ZONAG**)	1=terre de barre, 2=fluvio-lacustre, 3=savane, 4=dépression	
Voie d'accès au village (**VOIAC**)	1=route bitumée, 2=piste carrossable, 3=piste non carrossable, 4=sentier, 5=fluviale	
Accessibilité du village (état de la route) (**ACCEV**)	1=route en bon état et accessibilité en toute saison, 2= route en bon état mais pas accessible en toute saison, 3= route en mauvais état mais accessible en toute saison, 4= route en mauvais état et pas accessible toute l'année	
Disponibilité de la terre dans le village (**DTERRE**)	1=très abondante, 2=abondante, 3=terre rare, 4=terre très rare	

II- Caractéristiques socio-économiques de l'enquêté

Caractéristiques			**Code**	**Inscrire ici la réponse**
Nom de l'enquêté **(NENQ)**			-	
Sexe **(SEX)**			1= masculin 0= Féminin	
Ethnie **(ETHNI)**			-	
Age **(AGE)**			-	
Origine **ORIGIN**			1= Autochtone, 2= Migrant	
			Si migrant, préciser	
			Date d'arrivée	
			Date de départ	
			Lieu d'origine	
			Motifs d'installation	
Activité principale **ACTPRIN**			1=Agriculture, 2= commerce, 3= activité de transformation, 4=pêche, 5=élevage, 6= artisanat, 7= autres à préciser	
Activité secondaire **ACTSEC**			1=Agriculture, 2= commerce, 3= activité de transformation, 4=pêche, 5=élevage, 6=artisanat, 7= autres à préciser	
Situation matrimoniale **(MAR)**			1= Marié 2= Célibataire, 3= Veuf (ve), 4= divorcé, 5= autres à préciser	
Combien de personnes nourrissez-vous * ? **(NBPNOR)**	3-14 ans	Masculin		
		féminin		
	15-60 ans	Masculin		
		féminin		
	>60 ans	Masculin		
		féminin		
Niveau d'instruction **(NINST)**			1= aucun niveau, 2= formation informelle, 3= 1-6 ans au primaire 4= 1-7 au secondaire, 5= supérieur (universitaire)	
Nombre d'année d'expérience dans l'agriculture **(ANEXAG)****			-	
Êtes-vous membre d'une coopérative ou association paysanne ? **(MECAS)**			1= oui 0= non	
			Si oui préciser le nom	
Quelle est la place de l'agriculture dans vos sources de revenu? **(IMPAG)**			1= 1er rang ; …..n= nième rang ; 15 : si elle n'est pas pratiquée	
Quelle est la part sur 10 de votre revenu annuel qui provient de la production végétale ? **(REVPV)**			-	
Quelle est la place du commerce dans vos sources de revenu ? **(IMCOM)**			1= 1er rang ; …..n= nième rang ; 15 : s'il n'est pas pratiqué	

Quelle est la part sur 10 de votre revenu annuel qui provient du commerce ? **(REVCOM)**			-	
Quelle est la place de l'élevage dans vos sources de revenu ? **(IMEL)**			1= 1er rang ; …..n= nième rang ; 15 : s'il n'est pas pratiqué	
Quelle est la part sur 10 de votre revenu annuel qui provient de l'élevage ? **(REVEL)**				
Etes-vous en contact avec des forestiers, vulgarisateurs ou ONGs de système de gestion des fôrets pendant ces 10 dernières années **(CONT)**			1= oui 0= non	
Nombre de membres actifs de votre ménage travaillant avec vous **(FTRAV)**	8-14 ans	Masculin	-	
		Féminin	-	
	15-60 ans	Masculin	-	
		Féminin	-	
	>60 ans	Masculin	-	
		Féminin	-	
Avez-vous accès au crédit ? **(ACRED)**			1= oui 0= non	
Avez-vous des problèmes d'occupation du sol? (**OCCUPA**)			1= oui 0= non	

III- Occupation/utilisation du sol et Systèmes de culture

3.1. Cultures annuelles pratiquées et superficies emblavées en 2009

Ordre des cultures	Cultures produites	Superficies couvertes	Durée (nombre de mois)
1			
2			
3			
4			

3.2. Combien de champs avez-vous laissé en jachères? ….……

3.3. Depuis combien d'années? ……...……

3.4. Quand pensez-vous remettre en valeur ces champs?.....

3.5. Quelle est la superficie défrichée (ou que vous pensiez défricher) par culture? (en ¼ d'ha)

Ordre des cultures	Année 2003	Année 2004	Année 2005	Année 2006	Année 2007	Année 2008
1						
2						
3						
4						
Toutes cultures						

3.6. Coupez-vous souvent tous les arbres de vos champs pour de nouvelles cultures? Oui……. Non…….

- Si oui, donner les raisons……..……
- Quelles sont souvent les espèces d'arbres qui sont coupées?……..…
…….
- Si non donner les raisons ……

- Quelles sont souvent les espèces d'arbres qui sont conservées?
..…….
……
3.7. Les espèces d'arbres coupées sont utilisées pour quoi?
Bois de feu……..
Production de charbon…….
Arts (Meubles)…….
Autres formes d'utilisation (indiquer)……..

IV- Gestion des ressources naturelles

4.1. Avez-vous une plantation? Oui ….....Non……
- Quelles sont les espèces d'arbres plantées?……..…….……
……..……..

4.2. Depuis quand ces plantations ont elles été mises en place? ……

4.3. Quelle est la superficie des plantations mises en place chaque année?…….……

4.4. Quelle est la superficie totale de votre plantation?……

V- Occupation/utilisation du sol, Variabilité pluviométrique et les effets feedback

5.1. Quelle est la durée de la saison des pluies dans votre zone ici? (combien de mois ?) ……
5.2 Cette durée varie t-elle d'une année à une autre? oui…….Non……
5.3 Si oui, expliquez comment…….
……
……..
5.4 Ces variations affectent-elles le processus agricole? Oui……...Non……
5.5 Quelles sont les conséquences, selon vous, de ces variations sur le système de culture?
……
……

5.6 Y-a-il des cultures ou spéculations que vous avez abandonnées ou dont vous avez réduit la superficie ou quantité à cause de ces bouleversements au niveau de la saison des pluies? Oui……..…Non…….……

5.7 Si oui, expliquer……..
……..
5.8 Donner quelques stratégies d'adaptation que vous avez adoptées pour faire face aux changements observes au niveau de la saison des pluies :
Déplacement du front des activités agricoles vers les bas-fonds……
Migration vers d'autres régions du pays……
Changement d'activités…… (indiquer les nouvelles activités) ……
Irrigation ……...(expliquer)……
Production des cultures a cycle court…… (nommer-les)…….....
Autres stratégies (indiquer)……..

5.9. Que direz-vous des observations suivantes?

	Plus sec que pluvieux	**Pluvieux**	**Plus pluvieux**
Les 5 dernières années			
Les 10 dernières années			
Les 15 dernières années			
Les 20 dernières années			

5.10. Les changements affectent – ils la productivité dans votre localité?
Oui……Non…….Expliquer……
…
5.11 Quelles sont selon vous les raisons de ce niveau actuel de la production?
Baisse de la pluviométrie…….
Qualité des sols……..
Raréfaction des ressources en eau……
Autres raisons (expliquer)……..

5.12. Quels sont les impacts de la variabilité pluviométrique sur certaines ressources comme les forêts et autres?
…….
…….
……
5.13. Pensez vous que la dégradation des ressources naturelles (forêt, ressources en eau, etc.) par les populations, soit à la base des variabilités ou bouleversements observes au niveau du cycle pluviométrique observes dans votre localité ? Oui……Non……..……
Si oui, expliquer comment ?……

VI- Occupation/utilisation du sol et feux de brousse

6.1 Quelle est la période des feux de brousse dans votre localité?……
6.2 Qui sont responsables de cette activité?
chasseurs……..Paysans……colons……. autres (Mentionner les)……

6.3 Quelles sont les dommages souvent causes par les feux de brousse dans votre localité ?
……..……
……
6.4 Quels sont selon vous les avantages tirés des feux de brousse? ……..……
……
……
6.5 Comment cette activité était-elle organisée par le passé?
……
6.6 Y-a-t-il une politique traditionnelle mise en place pour la gestion des feux de brousse ? Oui…… ……..Non…….

6.7 Si oui, comment cette politique peut être améliorée?
……
……
……
6.8 Quelles sont les raisons qui vous poussent a mettre feux en brousse ?
Raisons agricoles……
Chasse……
Autres……

VII- Evaluation coût économique des implications de la dynamique l'occupation du sol

7.1. Application des modèles de gestion forestière : valeur commerciale et valeur nette de l'arbre

Types de culture	Précédents culturaux[1]	Superficie (en Ha)	Densité (nombre d'arbres par Ha)	Espèces[2]	Quantité de bois tiré de chaque arbre (en Kg)	Qualité du bois tiré[3]	Age moyen des arbres (en année)	Coût de l'abattage (FCFA/Ha)

[1]. 1=forêt ; 2= Savane ; 3= Autres cultures à préciser, [2]. préciser les espèces et leur nombre, [3]. 1= bonne ; 2= moyenne ; 3=mauvaise

7.2. Evaluation du coût de la déforestation : Méthode d'évaluation contingente

Rubriques	**codes**	**répo nses**

Avez-vous une fois coupés des arbres avant d'installer vos champs?	1=oui ; 2= non	
Si oui pouvez-vous faire la liste des espèces coupées ?		
Quel montant êtes-vous prêt à recevoir pour ne pas couper un arbre ? (en FCFA)		
Si le fait de couper des arbres est important pour vous, combien payerez-vous par arbre pour qu'on vous permette de continuer à couper ?		

VIII- Marchés et organisation de la production

8.1 Dans quels marchés avez-vous l'habitude de vendre vos produits agricoles?
……
8.2 Quelle est la distance du marché le plus proche d'ici? (en km)
……
8.3 Quels sont souvent les produits que vous échangez au marché?……
8.4. Payez-vous des taxes ? Oui…….Non……..
Si oui, quels types de taxes payez-vous ?.....
8.5 Êtes vous satisfaits des prix pratiqués? Oui…….Non……
8.6 Si non pourquoi?.....

IX- Perspectives et durabilité des terres

9.1 Quels sont vos projets agricoles pour le futur?
……..……..……
……
9.2 Pensez qu'il y ait des contraintes qui pèsent sur ces projets? Oui…..…..Non……
Si oui lesquelles :
Variabilité pluviométrique et raréfaction des ressources en eau……
Manque des terres suffisantes……
Fertilité des sols……..
Autres (expliquer)……
……
9.3 Que comptez-vous faire pour améliorer la productivité agricole?
Emblaver plus de terres (donner une idée de la superficie envisagée)……
Irriguer……
Utiliser des fertiliseurs comme les engrais (lister les)……
Améliorer la technologie……..... (Expliquer comment)…….
Autres (Mentionner les)……

9.4 Donner quelques mesures qui selon vous peuvent être appliquées pour assurer la durabilité des terres et de ses ressources dans votre localité ?.....
.....
.....

UTILITE DE LA TELEDETECTION ET DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BÉNIN

Questionnaire destiné aux forestiers/ exploitant forestier/ONGs spécialisées

N° fiche /__/ Nom de l'enquêteur: ..... Date…./…/…../

X- Identification

Caractéristiques	**Codes**	**Inscrire la réponse**
Département (**DEPART**)		
Commune (**COMM**)		
Arrondissement (**ARRON**)		
Village/quartier de ville (**VILL**)		
Hameau (**HAMEA**)	A préciser (si possible)	
Nom du poste forestier/ de l'exploitant forestier ou de l'ONG spécialisée		
Activité de l'enquêté		
Quelles sont les causes de la deforestation selon vous?	1= agriculture; 2= chasse; 3= élevage; 3= production de charbon; 4= autres à préciser	
Si agriculture, lister les sous-causes	1= extension des superficies des cultures; 2= baisse fertilité des sols; 3= indisponibilité des terres; 4= autres à préciser	

XI- Evaluation coût économique de la dégradation de l'environnement

2.1. Application des modèles de gestion forestière : valeur commerciale et valeur nette de l'arbre. Question pour un hectare de forêt

Densité (nombre d'arbres par Ha)	Espèces[2]	Quantité de bois tiré de chaque arbre (en Kg)	Coût unitaire d'un arbre (FCFA)	Qualité du bois tiré[3]	Age moyen des arbres (en année)	Coût de l'abattage (FCFA/Ha)

[2]. préciser les espèces et leur nombre

[3]. 1= bonne ; 2= moyenne ; 3=mauvaise

2.2. Evaluation du coût de la déforestation : Méthode d'évaluation contingente

Rubriques	**codes**	**réponses**
Quel montant êtes-vous prêt à recevoir pour permettre l'abattage d'un arbre ? (en FCFA)		
Si le fait de couper des arbres est important pour vous en tant que exploitant forestier, combien payerez-vous par arbre pour qu'on vous permette de continuer à couper ?		

UTILITE DE LA TELEDETECTION ET DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BÉNIN

Guide d'entretien avec les autorités communales et traditionnelles (Baalè et chefs traditionnels)

1- Etat des ressources naturelles dans votre Commune

2- Question de la dégradation des ressources naturelles et déforestation

3- Acteurs de la dégradation des ressources du milieu

4- Abattage des arbres et organisation de l'exploitation forestière dans votre Commune

5- Mesures prises par les autorités traditionnelles et communales

6- Feux de végétation : Organisation, Acteurs, conséquences,

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE 2
DEDICACE 4
SIGLES ET ABREVIATIONS 5
Avant propos et remerciements 6
Résumé 9
Abstract 10

INTRODUCTION GENERALE 11

Première Partie: CADRES THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN 15

CHAPITRE PREMIER: PROBLEMATIQUE, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET REVUE DE LA LITTERATURE 16

1.1. Problématique 16
1.2. Justification du choix de la zone d'étude 20
1.3. Hypothèses de travail 20
1.4. Objectifs de recherche 21
1.5. Clarification des concepts et revue de la littérature 21
1.5.1. Clarification des concepts 21
1.5.1.1. Occupation et utilisation des terres 21
1.5.1.2. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 23
1.5.1.3. Aménagement du territoire 23
1.5.1.4. Occurrence des feux de végétation 24
1.5.1.5. Télédétection et Système d'Information Geographique (SIG) 24
1.5.2. Revue de littérature 25
1.5.2.1. Approches d'étude de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol 25
1.5.2.2. Télédétection et approches de détection des changements de l'occupation et de l'utilisation des terres 26
1.5.2.3. Des évidences de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le monde et au Bénin 34
1.5.2.4. Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres 36
1.5.2.5. Analyse des facteurs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 38
1.5.2.6. Migrations de populations et dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 41
1.5.2.7. Transhumance et dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 43
1.5.2.8. Occurrence des feux de végétation 45

CHAPITRE DEUXIEME : DEMARCHE METHODOLOGIQUE 51
2.1. Données utilisées 51
2.1.1. Recherche documentaire 51
2.1.2. Acquisition des données spatiales 52
2.1.2.1. Données satellitales utilisées 52
2.1.2.2. Cartes existantes 58

2.1.3. Collecte des données socio-économiques 59
2.1.3.1. Technique d'échantillonnage 62
2.1.3.2. Types de données collectées 63
2.1.4. Données climatiques 64
2.2. Traitement et analyses des données 65
2.2.1. Traitement des images satellitales 65
2.2.1.1. Corrections géométriques et radiométriques des images 66
2.2.1.2. Amélioration du contraste des images utilisées et composition colorée 66
2.2.1.3. Interprétation visuelle des images 70
2.2.1.4. Classification supervisée des images 71
2.2.1.5. Évaluation des résultats de la classification 72
2.2.1.6. Analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 74
2.2.2. Analyse cartographique de la dynamique de l'occupation des terres 78
2.2.3. Projection et scénario de modélisation spatiale de l'occupation des terres 79
2.2.3.1. Notion des automates cellulaires 80
2.2.3.2. Description du modèle SPACELLE 81
2.2.3.3. Scénarios de projection de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin. 82
2.2.4. Traitement et analyse des points de feux 84
2.2.4.1. Analyse de la relation des feux de végétation avec les paramètres climatiques 89
2.2.4.2. Analyse de la variabilité temporelle des feux de végétation au Centre Bénin 90
2.2.4.3. Krigeage ou distribution spatiale des points de feux 91
2.2.4.4. Evaluation des feux par formation végétale 91
2.2.5. Traitement des données socio-économiques et biophysiques 91
2.2.5.1. Analyse descriptive 91
2.2.5.2. Analyse inférentielle : Le modèle de régression des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin 92

CHAPITRE TROISIEME : FONDEMENTS PHYSIQUE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU CENTRE DU BENIN 102
3.1. Caractéristiques physiques du Centre Bénin 102
3.1.1. Contexte climatique de la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin 104
3.1.1.1. Tendance pluviométrique du Centre du Bénin 104
3.1.1.2. Tendance thermométrique au Centre du Bénin 108
3.1.1.3. Insolation au Centre du Bénin 110
3.1.1.4. Humidité relative au Centre du Bénin 111
3.1.1.5. Analyse de la vitesse du vent 112
3.1.2. Géologie et géomorphologie 116
3.1.2.1. Géologie de la zone d'étude 116
3.1.2.2. Géomorphologie 119
3.1.3. Hydrographie 120
3.1.4. Formations pédologiques 121
3.1.4.1. Sols ferrugineux tropicaux 122
3.1.4.2. Sols ferralitiques 122
3.1.4.3. Sols hydromorphes 123
3.1.4.4. Sols minéraux bruts et sols peu évolués 123

3.1.4.5. Sols bruns et vertisols 123
3.1.5. Formations végétales du Centre Bénin 126
3.1.5.1. Forêt dense 129
3.1.5.2. Forêt galerie 129
3.1.5.3. Forêt claire et savane boisée 130
3.1.5.4. Savane arborée et arbustive 130
3.1.5.5. Plantation 131
3.1.4.1. Mosaïques de cultures et jachères 131
3.2. Profil socio- économique du Centre Bénin 132
3.2.1. Evolution démographique dans le Centre du Bénin 132
3.2.2. Analyse de la densité de la population 135
3.2.3. Groupes socioculturels 136
3.2.4. Caractéristiques de l'économie du Centre du Bénin 138

CONCLUSION PARTIELLE 143

Deuxième Partie : DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES, FACTEURS ET IMPLICATIONS SOCIO- ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES AU CENTRE DU BENIN 144

CHAPITRE QUATRIEME: ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES: TENDANCES ACTUELLES ET SCENARIOS DE CHANGEMENT 145
4.1. Précision thématique des données de l'occupation des terres 145
4.1.1. Précision de la classification de l'image TM 1986 145
4.1.2. Précision de la classification de l'image ETM 2000 147
4.1.3. Précision de la classification de l'image NigeriaSat1, 2006 148
4.2. Analyse de la dynamique de l'occupation des terres 150
4.2.1. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Savè 150
4.2.2. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Sokodé 159
4.2.3. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région de Zagnanado 163
4.2.4. Dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la région d'Abomey 167
4.3. Comparaison de la dynamique de l'occupation des terres entre les périodes 1986 - 2000 et 2000 - 2006 169
4.4. Tendance générale de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans le centre du Bénin 170
4.4.1. Transition des unités de l'occupation et de l' utilisation des terres 170
4.4.2. Projection de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres aux horizons 2016, 2025 et 2034 177
4.4.2.1. Durée de vie des unités de l'occupation des terres 178
4.4.2.2. Scénario socio-économique ou 'tendance vers la catastrophe' 179
4.4.2.3. Scénario écologique ou stabilité environnementale 182

CHAPITRE CINQUIEME : OCCURRENCE SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX DE VEGETATION ET IMPACT SUR L'OCCUPATION DES TERRES **186**
5.1. Tendance et occurrence spatio-temporelle des feux de végétation dans le Centre du Bénin 186
5.2. Analyse des feux par unités d'occupation des terres et superficies brûlées 193
5.3. Analyse de l'intensification des feux sur la végétation 199
5.3.1. Analyse spatiale du NDVI et du pouvoir radiatif des feux 199
5.3.2. Analyse statistique de la végétation et du Pouvoir Radiatif des Feux (PRF) : Corrélation de Pearson 205
5.3.2.1. Analyse de la corrélation en décembre 2000 205
5.3.2.2. Analyse de la corrélation en Novembre 2006 207
5.4. Risque de feu dû aux facteurs climatiques 208
5.4.1. Analyse de la corrélation entre le pouvoir radiatif des feux et les paramètres climatiques 208
5.4.2. Analyse de la corrélation du pouvoir radiatif des feux et la topographie du milieu 209
5.4.3. Corrélation entre la température de surface et l'Indice de Végétation Normalisée (NDVI) : Analyse de l'indice de sécheresse de la végétation 210
5.5. Facteurs humains de départ et de propagation des feux au Centre du Bénin 213
5.5.1. Causes des feux de végétation dans le Centre du Bénin 213
5.5.2. Typologie des feux de végétation au Centre du Bénin 214
5.5.2.1. Feux agricoles 214
5.5.2.2. Feux de chasse 215
5.5.2.3. Feux de renouvellement du pâturage 216
5.5.2.4. Feux de protections des champs, plantations et des biens ou feux de renvoie 217
5.5.2.5. Feux accidentels 217
5.5.2.6. Feux criminels 218

CHAPITRE SIXIEME : FACTEURS, IMPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES TERRES **219**
6.1. Modèle statistique et spatial des facteurs de la dynamique de l'occupation des terres dans le Centre du Bénin 219
6.1.1. Modèle de Régression multiple de la contribution de chaque facteur à la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin 219
6.1.2. Revue des facteurs de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 221
6.1.3. Part des feux de végétation dans la dynamique de l'occupation des terres au Centre du Bénin 232
6.2. Implications environnementales et socio-économiques de la dynamique de l'occupation des terres 234
6.2.1. Comparaison des éléments quantitatifs du paysage 234
6.2.2. Fragmentation du paysage 238
6.2.3. Implications socio-économiques de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres 240
6.2.3.1. Emergence de nouvelles activités socio-économiques 240
6.2.3.2. Consentement des acteurs par rapport à la gestion des ressources du milieu 244

CONCLUSION PARTIELLE **247**

LIMITES DE L'ETUDE ET DISCUSSION **249**
1. Limites de l'étude 249
2. Discussion 251

CONCLUSION GENERALE **258**

BIBLIOGRAPHIE **261**
LISTE DES TABLEAUX **287**
LISTE DES FIGURES **289**
LISTE DES PHOTOS **291**
ANNEXES **292**
TABLE DES MATIERES **301**