

Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO

École Doctorale Lettres, Sciences Humaines et Communication

**Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires
(LERMIT)**

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou



Numéro 006 - Octobre 2017
Volume 1

R-G-O



Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou

R-G-O est une revue scientifique annuelle de l'Université Ouaga I Pr Joseph KIZERBO. Éditée et diffusée par le Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires (LERMIT), elle est dotée d'un comité scientifique. Les numéros sont publiés soit en version papier, soit en ligne, soit enfin les deux à la fois.

Les opinions émises dans les articles n'engagent que leurs auteurs. La revue n'est pas responsable des manuscrits qui lui sont confiés et se réserve le droit d'y opérer des modifications, pour des raisons éditoriales.

UNIVERSITE OUAGA I JKZ

**École doctorale Lettres, Sciences
Humaines et Communication**

**Laboratoire d'Études et de
Recherches sur les Milieux et les
Territoires (LERMIT)**



Burkina Faso

Unité - Progrès - Justice

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou (RGO)

Directeur de publication : Professeur ZOUNGRANA Tanga Pierre

Rédacteur en chef : Professeur OUEDRAOGO François de Charles

Comité scientifique

- AKIBODE Koffi Ayéchoro, Professeur, Université de Lomé
- ALOKO-N'GUESSAN Jérôme, Directeur de recherche, Univ. Cocody, Abidjan
- BOKO Michel, Professeur, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou
- BOUZOU MOUSSA Ibrahim, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niamey
- HOUSSOU Segbè Christophe, Professeur, Université d'Abomey Calavi
- OUEDRAOGO François de Charles, Professeur, Université de Ouagadougou
- TCHAMIE Thiou Tanzidani Komlan, Professeur, Université de Lomé
- ZOUNGRANA Tanga Pierre, Professeur, Université de Ouagadougou
- AMADOU Boureima, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niamey

Comité de lecture

- OUEDRAOGO François de Charles (géographie de la santé),
- ZOUNGRANA Tanga Pierre (géographie, aménagement et SIG),
- DIPAMA Jean-Marie (géographie, environnement, SIG & Télédétection),
- YAMEOGO Lassane (géographie rurale),
- LOMPO Olivier (géographie et environnement)

Conseil scientifique

- IGUE O. John (géographie économique, Cotonou)
- MENGHO Maurice Bonaventure (géographie humaine, Brazzaville)
- SAMBA-KIMBATA Joseph Marie (climatologie, Brazzaville)
- SOME P. Honoré (géographie rurale et télédétection, Ouagadougou)

SOMMAIRE

KOLA Edinam : Recomposition des pratiques foncières en zone d'économie de plantation au Togo : du <i>dibi-ma-dibi</i> au <i>dema</i>	1
OUEDRAOGO Lucien : Analyse prospective de la dynamique des ressources naturelles dans le bassin versant du lac Bam au Burkina Faso.....	25
SOUMARE Mamy et DEMBELE Souleymane : Valorisation de la biodiversité agricole et durabilité écologique au sud du Mali.....	47
GOGOUA Gbamain Éric, TUO Péga et ANOH Kouassi Paul : Fabrication du beurre de karité et risques sanitaires à Natiokobadara dans la ville de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire)	69
KATE Sabai, TEKA Oscar, CHABI Roméo B., TENTE Brice & SINSIN Brice : Tendances climatiques dans la commune de Banikoara au Bénin (Afrique de l'ouest)	87
MOUZOUN Séraphin, LOUGBEGNON Toussaint O. et CODJIA Jean T. Claude : Perceptions des causes de disparition du porc-épic à crête de la réserve de biosphère du nord Bénin.....	103
AROUNA Ousséni : Potentiel de conservation de la biodiversité végétale de la forêt classée des Trois Rivières en zone d'activités agropastorales au Bénin.....	125
MAÏNA-ABABA Alexis, NGUIMALET Cyriaque Rufin et GAPIA Martial : Adaptations des éleveurs à la sécheresse autour du lac de barrage de la Mbali, en République Centrafricaine.....	145
ASSI KAUDJHIS Joseph P. : Les initiatives de développement de la pisciculture en Côte d'Ivoire.....	169
GOGBE Téré, DIHOUEGBEU Deagai Parfaite, TOURE Mamoutou et KOUADIO N'dri Ernest : La diffusion du commerce informel dans le quartier résidentiel de Yopougon-SICOGI.....	189
OUEDRAOGO R. U. Emmanuel : Les retombées socioéconomiques de la vente des produits plastiques à Ouagadougou.....	203
DAMBO Lawali : Défis d'une expérience innovante de gestion moderne du foncier à Dosso, au Niger.....	219

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

OUÉDRAOGO Lucien

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, BP 476 Ouagadougou

Email : lucienouedraogo@yahoo.fr

RÉSUMÉ

La variabilité climatique et les systèmes de production peu adaptés dans le centre-nord du Burkina ont des effets négatifs sur l'environnement. Pour ce faire, la présente recherche s'est fixée pour but d'expliquer comment les ressources naturelles évoluent dans le bassin versant du lac Bam. Pour atteindre cet objectif, l'approche systémique intégrant une simulation par Spacelle a été adoptée. Elle a allié cartographie et données d'enquête pour analyser les changements de l'occupation des terres et faire des projections. Il en ressort que les ressources naturelles du bassin versant ont connu une dynamique régressive en faveur des activités anthropiques. Ainsi, les zones de culture sont passées de 56,50% en 1986 à 74,34% en 2014. Quant aux savanes, leurs proportions ont évoluées de 38,43% à 14,42% pour la même période, soit une régression moyenne de 2,23% en 28 ans. Cette régression est constatée aussi pour les plans d'eau et les galeries forestières contrairement aux sols nus/rocheux. Ainsi pour l'horizon 2030, si les tendances se maintiennent, plus de 4/5 du bassin versant sera occupé par des zones de culture et des sols nus/rocheux, et moins de 1/5 par la formation végétale et les plans d'eau. Par contre une recolonisation de la formation naturelle (53% de la superficie du bassin versant) et une restauration des plans d'eau sont possibles si des dispositions idoines sont prises.

Mots clés : Ressources naturelles, simulation, SpaCelle, lac Bam, Burkina Faso

ABSTRACT

Title: Prospective analysis of the dynamics of natural resources in the Bam Lake basin in Burkina Faso

Climate variability and poorly adapted production systems in north-central Burkina Faso have negative effects on the environment. The purpose of this research is to explain how natural resources evolve in the Bam Lake watershed. To achieve this objective, the system approach integrating a Spacelle simulation was adopted. It allied mapping and survey data to analyze land occupation changes and make projections. It emerges that the natural resources of the watershed have experienced a regressive dynamic in favor of anthropogenic activities. Thus, the cultivation areas increased from 56.50% in 1986 to 74.34% in 2014. The proportion of savannahs increased from 38.43% to 14.42% over the same period, of 2.23% in 28 years. This regression is also observed for water bodies and forested galleries, as opposed to bare / rocky soils. Thus for the 2030 horizon, if trends are maintained, more than 4/5 of the catchment area will be occupied by cultivation areas and bare / rocky soils, and less than 1/5 by vegetation formation, water. On the other hand, a recolonization of the natural formation (53% of the surface of the catchment area) and a restoration of the water bodies are possible if suitable arrangements are made.

Key words: Natural resources, simulation, SpaCelle, Lake Bam, Burkina Faso

INTRODUCTION

Les déficits pluviométriques des années 1970 et 1980 ont provoqué des catastrophes écologiques graves montrant ainsi la fragilité des écosystèmes sahéliens (Bandré, 1989). Les changements climatiques, la croissance démographique, l'accroissement de la compétition pour l'accès à la terre, les feux de brousse, les prélèvements du bois-énergie se conjuguent pour accélérer la dégradation de ces écosystèmes (Kaboré, 2013). Pour la végétation, les conséquences sont la régression des superficies occupées et la perte de la diversité floristique au profit des emblavures agricoles. Au Burkina Faso, cette problématique a fait l'objet de nombreuses études qui mettent en exergue la dégradation des ressources végétales du pays. De 1992 à 2012, la superficie de ses formations forestières est passée de 14,41 millions d'hectares à 12,28 millions d'hectares (REEB III, 2013). La tendance observée reste la dégradation accélérée des ressources naturelles.

Le bassin versant du lac Bam, n'est pas épargné par cette situation. La dégradation du couvert végétal pose des problèmes d'énergie et d'alimentation pour la population locale (Boena, 2013). L'agriculture constitue la principale activité et emploie plus de 90% de la population (INSD, 2008). Les activités des paysans sont déjà hypothéquées par les intempéries climatiques caractérisées par l'insuffisance et la variabilité spatiotemporelle des pluies. Par ailleurs, l'érosion des terres n'impacte pas seulement la production agricole ; mais elle provoque aussi le comblement des retenues d'eau exploités à des fins agricoles. L'ampleur de la pression sur la retenue d'eau est telle que la survie de la ville de Kongoussi est menacée car elle lui doit son approvisionnement en eau potable. Selon les statistiques, la superficie du lac est passée de 2885,67 ha en 1986 à 618,37 ha en 2014 (Guelbeogo, 2017). Au-delà de ce plan d'eau, ce sont toutes les ressources naturelles du bassin versant qui supportent le poids de cette dégradation continue. Une telle situation soulève la question sur la protection de l'environnement dans le bassin versant du lac Bam. Ces constats suscitent des questionnements dont le principal est de savoir quel est le devenir de ces ressources naturelles face à la pression foncière dans le bassin versant? On admet en hypothèse que les ressources naturelles connaissent une évolution régressive au fil du temps dans le bassin versant du lac Bam. Pour vérifier cette affirmation, l'objectif a été d'expliquer comment les ressources naturelles évoluent dans le bassin versant du lac Bam. Le présent article est construit autour de la méthode utilisée et de l'état passé, actuel et avenir de l'occupation des terres du bassin versant.

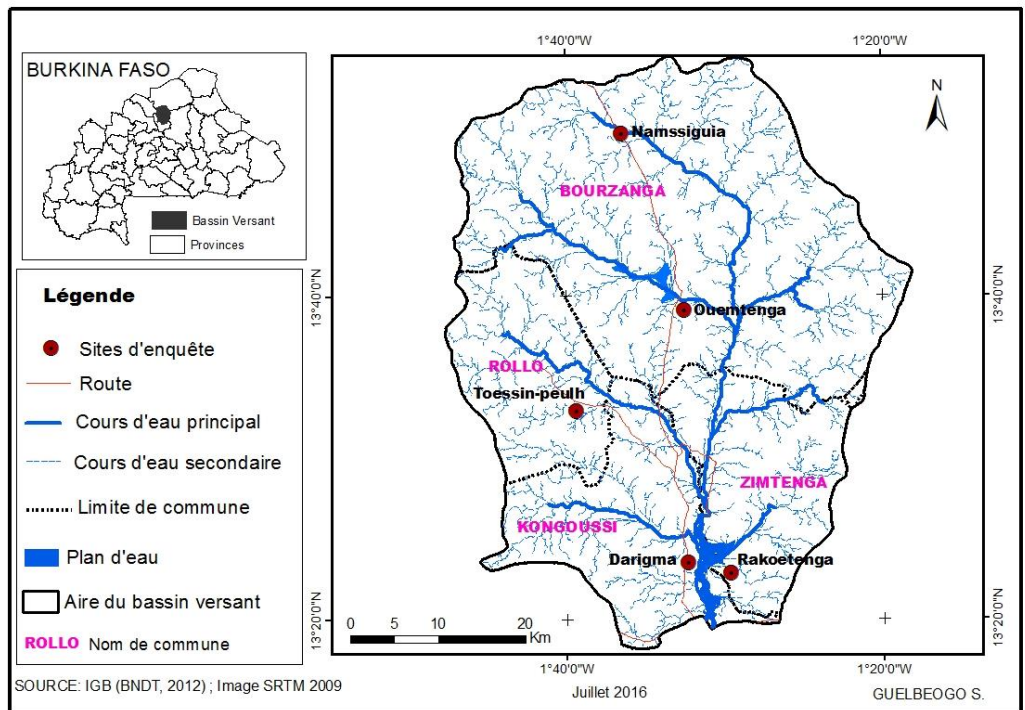
1. SITE D'ETUDE ET METHODOLOGIE

Le cadre méthodologique de la présente étude se repose d'une part sur le choix de la zone d'étude, l'approche utilisée d'autre part.

1.1. La zone d'étude

Le Bassin versant du lac Bam est situé entre les méridien 1°16' et 1°50' de longitude ouest d'une part et entre les parallèles 13°15' et 13°55' de latitude nord d'autre part. Localisé dans la province du Bam, son espace est partagé entre quatre communes à savoir Kongoussi, Zimtenga, Rollo et Bourzanga (carte 1). Il a une superficie de 2 509,40 km² (Image SRTM 2009) et comprend des retenues d'eau dont le plus important est le lac Bam.

Carte 1: Présentation de la zone d'étude



Plusieurs raisons ont motivé le choix de cette zone. Il s'agit dans un premier temps de la forte pression humaine que connaît la province : 67,4 hab/km² en 2006 contre 51,8 hab/km² au niveau national (INSD, 2014). Cette croissance n'est pas sans conséquence sur la disponibilité des ressources naturelles. Ensuite, l'ensablement des plans d'eau naturels dû aux facteurs naturels et anthropiques (Boena, 2001) ; enfin, la nécessité de disposer des données sur l'occupation des terres afin d'aider les

planificateurs et les différents acteurs à la prise de décision.

1.2. L'approche méthodologique

L'approche systémique ou « intégrée » de la gestion durable des ressources naturelles a été utilisée car des auteurs comme Mankoko et Maldague (2015) ont montré qu'elle permet d'appréhender des problèmes de grande complexité de gestion des ressources naturelles. Elle a en plus l'avantage de prendre en compte la protection de la biodiversité, la conservation de l'environnement ainsi que le développement humain et durable. Cette approche s'appuie sur des outils, des techniques et des traitements des données.

1.2.1 Les données d'enquête

Elles ont été collectées sur la base d'un échantillonnage raisonné, effectué dans les villages situés dans le bassin versant du lac Bam en considérant leurs caractéristiques physiques et humaines. Il s'agit principalement de la proximité des localités avec les retenues d'eau et l'ampleur des activités agricoles (cultures pluviales et de saison sèche) constatée. Ainsi cinq villages (Darigma, Namsiguia, Ouemtenga, Rakoegtenga et Toessin-Peulh) appartenant aux quatre communes ont été retenus (carte 1 et tableau 1).

Tableau I: répartition de l'échantillonnage démographique

Communes	Villages	Populations	ménages de 38 ans et +	ménages enquêtés (10%)
Kongoussi	Darigma	760	165	17
Bourzanga	Namsiguia	2 105	458	45
Bourzanga	Ouemtenga	348	75	8
Zimtenga	Rakoegtenga	1 745	380	38
Rollo	Toessin-Peulh	1 148	250	25
Total		6 106	1 328	133

Sources : données INSD 2014 et enquête terrain, septembre 2016

Pour la conduite des enquêtes, un questionnaire a été administré à 133 chefs de ménage de 38 ans et plus. Des entretiens avec des personnes ressources (responsables administratifs de la mairie et services techniques (l'environnement, l'agriculture et l'élevage) a permis d'avoir la vision sur la politique mise en place pour la restauration de l'environnement.

1.2.2. Les données spatiales

L'analyse spatiale de la présente étude a été réalisée grâce à des images multi-spectrales et multi-dates de Landsat TM du 05/11/1986, ETM+ du 01/11/2000 et OLI-TIRS du 10/11/2014. Le choix de ces dates a été justifié par la disponibilité des images mais aussi de leur qualité à restituer au mieux l'information. Il a aussi permis de comprendre comment la dynamique des ressources s'est faite pendant cette période. En outre, une image SRTM de 2009 a servi à la délimitation du bassin versant et à la génération du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant.

1.2.3. Les données statistiques

Les données pluviométriques et de température de la station météorologique de Ouahigouya couvrant la période 1985 à 2014 ont servi à la caractérisation du climat de la zone. La pluviométrie en effet est l'un des principaux paramètres qui conditionne non seulement les ressources naturelles (eau, végétation, sol) mais aussi les activités agro-pastorales. Il en est de même pour la température qui joue un rôle important l'évaporation des eaux de surfaces et celles contenues dans le sol. Enfin, les vents effets desséchants et l'érosion éolienne sont dus à la vitesse du vent.

1.2.4. Le traitement des images

Les principales étapes du traitement des images satellitales pour aboutir à la cartographie de l'occupation de terres ont été abordées. Il s'agit de la composition colorée, la classification supervisée, et sa validation, la post classification et la vectorisation.

- *la composition colorée* a permis d'obtenir des images en couleur par composition en simultané de trois bandes spectrales. Elle permet la discrimination des éléments qui composent la zone d'étude et leur distinction est fonction de la résolution de l'image et de l'envergure des éléments observés. C'est la combinaison fausse couleur (rouge, vert et bleu) qui a été retenue car elle est plus adaptée pour la détection des unités d'occupation des terres. Pour ce faire la combinaison 432 a concerné les images TM et ETM+ mais 543 pour celles de 2014.
- *la classification supervisée* a été réalisée sur la base des zones d'entraînement identifiées auparavant avec une définition de clés d'interprétation. Ainsi les principales unités ressorties sont : les zones de culture, les savanes (arborescente et arbustive), les plans d'eau, les sols nus/rocheux et les forêts galeries. L'algorithme utilisé est « Maximum likelihood » (Maximum de vraisemblance) de ENVI 4.7 qui a l'avantage d'être une méthode probabiliste. Il permet de ce fait de classer les pixels inconnus en calculant pour chaque unité la

probabilité pour que le pixel tombe dans la classe ayant la plus forte probabilité.

- *La post classification et vectorisation*

La post classification comporte plusieurs opérations dont les plus importantes pour la présente thématique sont : la combinaison des classes, l'élimination des pixels isolés, l'homogénéisation et le lissage des classes. Toutes ces opérations ont été possibles grâce aux outils respectifs *combine class*, *clump*, *Majority/Minority analysis* dans Envi 4.7. Le produit obtenu après le lissage des classes a été vectorisé pour obtenir un fichier vecteur pour la cartographie dans un logiciel de SIG.

1.2.5. Processus de simulation par automates cellulaires

La compréhension du processus passe par sa description, son fonctionnement et ses règles de transition.

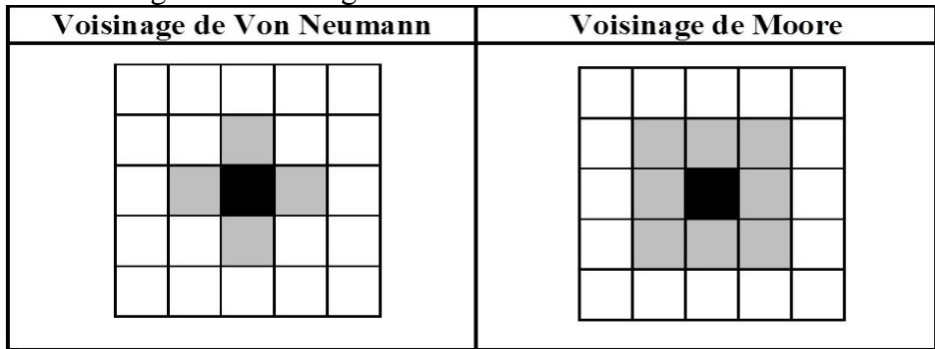
Description du modèle Spacelle

Spacelle (Système de Production d'Automate Cellulaire Environnemental) est un outil informatique de modélisation. Il permet de créer un système dynamique agissant sur un espace découpé en mailles régulières (carrées ou hexagonales) appelées cellules. Chaque cellule étant dans un certain état initial qui peut évoluer dans le temps selon les règles définies. Ces règles définissent les conditions environnementales qui agissent sur chaque cellule et conditionnent sa "vie" (conservation de l'état précédent) ou sa "mort" (transition d'un état dans un autre). La cellule possède, selon sa classe, une force de vie qui est maximale à la naissance et va en décroissant jusqu'à sa mort. Cette force de vie est confrontée à chaque instant aux forces environnementales qui peuvent prolonger ou abréger sa vie. A titre illustratif, on peut décider que la « mort » d'une cellule de type « forêt » serait sa transition en « savane ».

Fonctionnement de Spacelle

SpaCelle offre deux options de topologie : une première à quatre voisins (cellules des quatre points cardinaux) où voisinage de Von Neumann et une deuxième à huit voisins (cellules des quatre points cardinaux plus celles intermédiaires), appelée voisinage de Moore (Fig. 1).

Figure 1: voisinage d'un automate



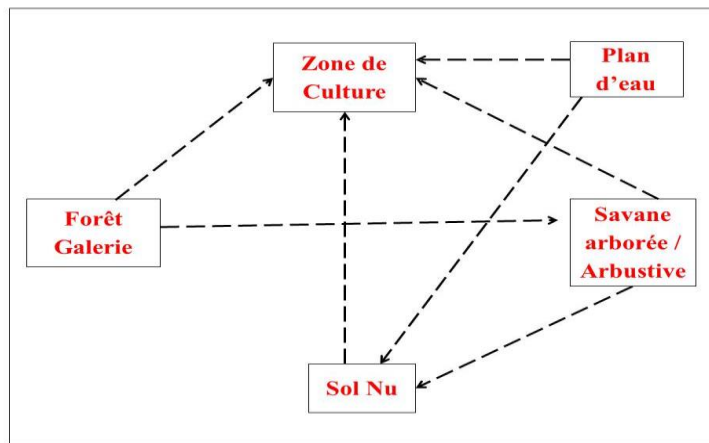
Source : (Dubos Paillard et Langlois, 2008)

Pour la présente étude, tout comme Oloukoi (2013) et Ouédraogo (2013), le voisinage de moore a été implémenté car il prend en compte toutes les directions à partir de la cellule de référence.

Les règles de transition

Les transitions sont les possibilités pour une unité de se transformer en une autre unité. La figure 2 est l'illustration des transitions possibles dans la présente étude qui sont au nombre de sept et matérialisées par les flèches.

Figure 2: Synthèse des transitions possibles



-----> Sens de la transition

Ce sont les transitions majeures qui ont été identifiées sur la base de la matrice et probabilité de conversion des unités d'occupation des terres.

1.2.6. Validation du modèle Spacelle

La validation est faite à posteriori sur la base des résultats antérieurs (2000 et 2014). Il s'est agi de comparer la simulation faite sur la base de l'occupation de 1986 (qui a servi à avoir l'occupation simulée en 2000) avec le résultat des images interprétées de 2000. Le même procédé a été fait sur l'occupation de 2000 qui a donné le résultat simulé de 2014. La comparaison de ces résultats simulés avec les états de l'occupation traitée à partir des images à ces différentes dates permet d'apprécier la validité de l'application.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Une zone à conditions climatiques peu favorables

Le bassin versant du lac Bam est caractérisé par une pluviométrie faible irrégulièrement répartie entre 1985 à 2014. En effet, Guelbéogo (2017) constate une forte variabilité interannuelle de la pluviométrie entre 1985 et 2014 se traduisant par des pics d'abondances et des creux d'insuffisances. Les périodes excédentaires sont celles de 1990 à 2009, le reste de la série est resté déficitaire. La variabilité pluviométrique constitue l'une des causes fondamentales de la dégradation des ressources naturelles en générale et du couvert végétal en particulier (Yonkeu *et al.*, 2000). Les excédents pluviométriques favorisent l'érosion hydrique des sols due à la topographie du bassin et un tapis herbacé très discontinu. Par contre, les déficits pluviométriques enregistrés entraînent une dépréciation du bilan hydrique et hydrologique avec pour corollaire une humectation réduite des sols et une faible alimentation des nappes aquifères et des plans d'eau.

Dans la même période, l'analyse faite par Guelbéogo (2017) révèle que le temps a particulièrement été chaud car la courbe de température de l'air est restée supérieure à la droite tendancielle. Par contre, entre 1988 et 2004, il a été relativement froid. Quant à la période de 2005 à 2014, la température a été aussi chaude entrecoupée par des années froides. Ces variations entraînent une dilatation ou une contraction des roches, provoquant ainsi leur desquamation ou exfoliation. Sous l'action du vent et/ou de l'eau, ces particules débitées sont ensuite transportées et déposées au fond des cours d'eau contribuant à leur envasement.

Les vents ont aussi été marqués par une évolution irrégulière, une variation interannuelle avec des moyennes oscillant entre 2,2m/s et 2,3m/s. Ils sont à l'origine de l'érosion éolienne qui intervient au moment où le sol est débarrassé des tiges de récolte. Ils emportent à ce moment une bonne

partie de la litière exposant le sol à la forte température et parfois aux écoulements torrentiels des eaux pluviales.

2.2. Une conversion des formations naturelles en exploitations agricoles

Le traitement des images a ressorti cinq principales unités d'occupation des terres : les zones de culture, les savanes, les plans d'eau, les sols nus rocheux et les forêts galeries. La planche 1 est l'illustration de leurs distributions spatiales en 1986, 2000 et 2014.

Le graphique renseigne qu'en 1986, les zones de culture et les sols nus/rocheux occupaient environ 60% de la superficie du bassin versant contre 40% pour les autres unités. En 2000, cette proportion a dépassé 70% et a continué sa progression pour atteindre 80% en 2014. Quant aux formations végétales (forêt galerie, savanes arbustive et arborée), elles ont évolué à la baisse. Elles sont passées de 39% en 1986 à 10% en 2014 en passant par 12% en 2000. Ces résultats statistiques confirment l'évolution dégradante des ressources naturelles du bassin versant du lac Bam. Elle a été par ailleurs relevée par 93,18% de la population interrogées lors des enquêtes qui affirment avoir constaté une dégradation des sols ces trente dernières années. Elle se manifeste par l'apparition continue des sols nus ou « zipellé » (79,49%). Cette dynamique résulte non seulement de l'insuffisance de pluie mais surtout de l'anthropisation de la zone (plus de 60% de culture depuis 1986). Comme l'ont relevé Yanogo et al (2014) dans le Sahel burkinabè, les changements observés en matière d'occupation des terres entre 1986, 2000 et 2014 dans le Bam se sont opérés au détriment des formations végétales et au profit des cultures pluviales et des sols nus/rocheux. Cette tendance est à mettre en relation avec la forte croissance démographique et les pratiques agricoles que connaît le bassin. Elles ont été relevées par 34,54% de la population pendant les enquêtes comme facteur de dégradation des ressources du bassin versant. L'analyse statistique et les données d'enquêtes indiquent donc une dégradation des ressources naturelles dans le bassin versant et corrobore les résultats de Ouédraogo et al, (2015) dans le bassin versant de Yakouta ; Kaboré et al, (2016) autour du barrage de la Komienga.

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

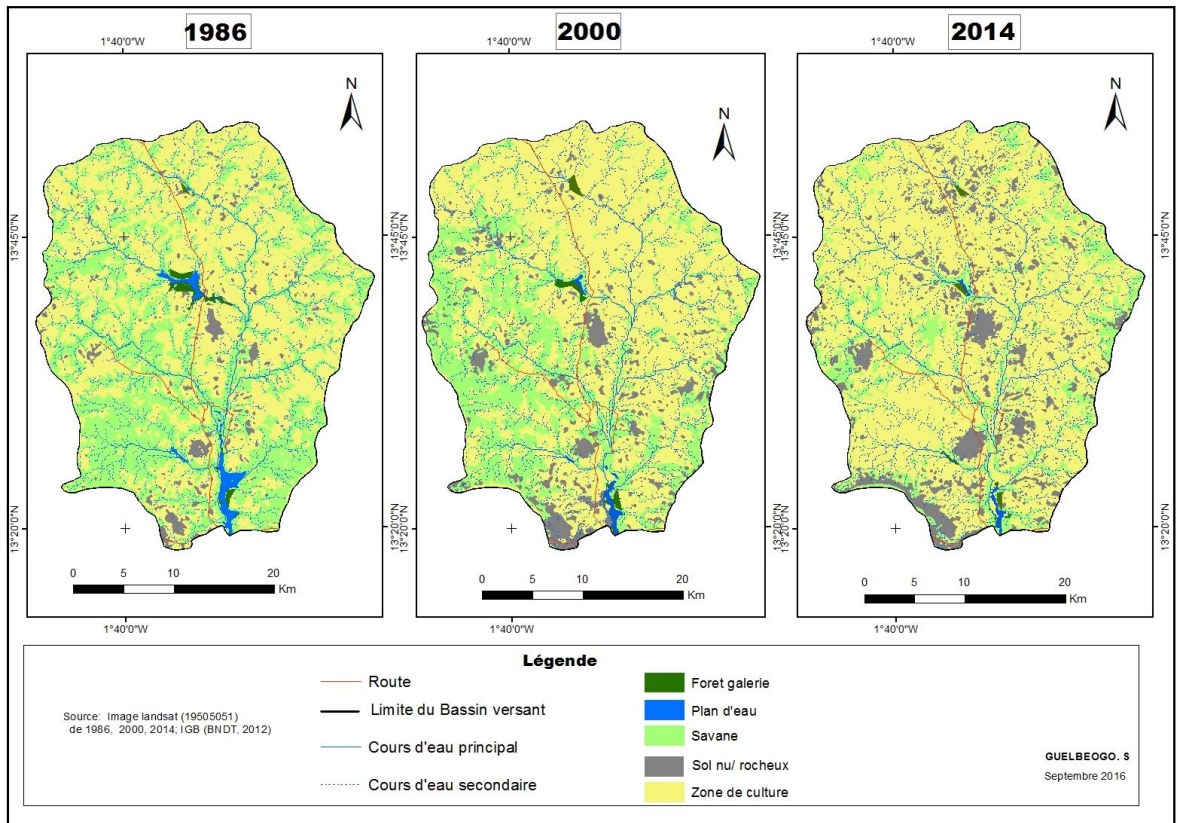
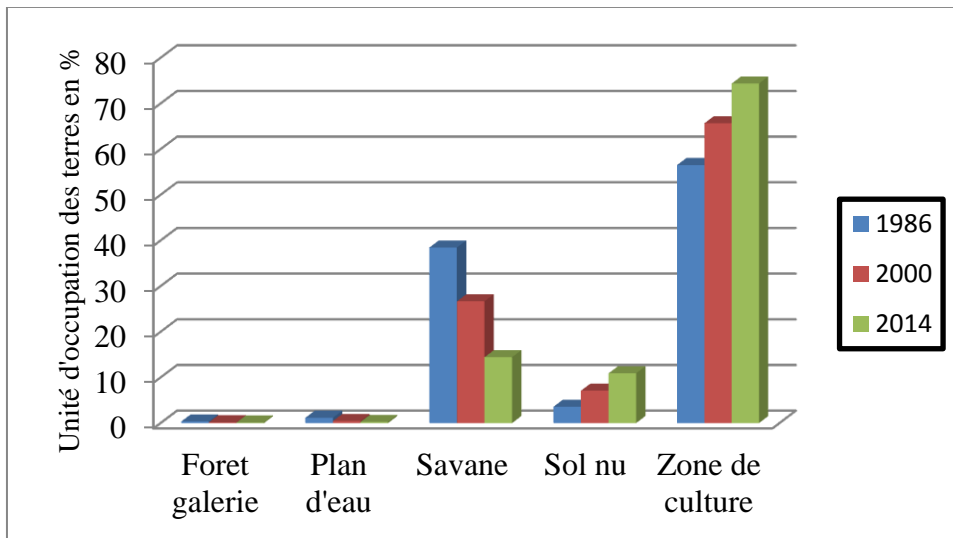


Planche 1 : Occupation des terres dans le bassin versant du lac Bam en 1986, 2000 et 2014

Les statistiques des superficies d'occupation des trois dates donnent le graphique 1 ci-dessous.

Figure 3: Evolution des unités entre 1986 et 2014 en pourcentage



Source : Données statistiques des traitements d'images

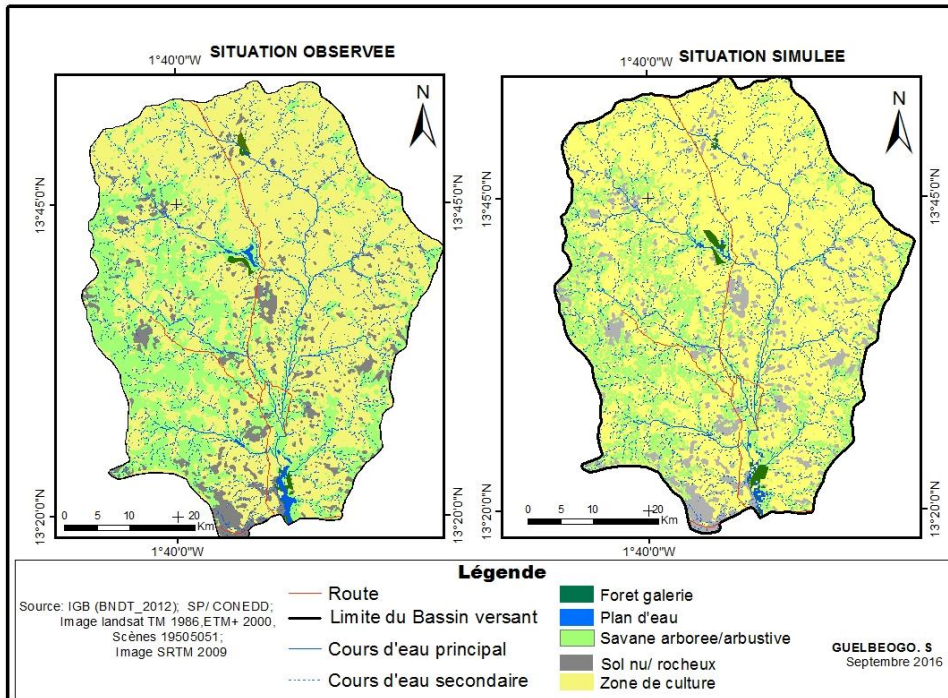
2.3. Simulation des unités d'occupation des terres par automates cellulaires

2.3.1. Occupation de terres de 2000 à partir de la simulation de 1986

La planche 2 présente les résultats observés et simulés de l'occupation des terres de 2000 à partir des résultats de l'interprétation des images de 1986.

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

Planche 2 : Situation observée et simulée en 2000



Les résultats de la simulation à partir de l'occupation de 1986 montrent qu'en 2000, les unités d'occupation des terres sont inégalement réparties dans l'espace du bassin versant. Les zones de culture sont les plus dominantes formant un espace quasi continu. Les savanes sont présentes à l'extrême sud-ouest du bassin versant. Les sols nus/rocheux constituent des unités éparpillées dans les champs. Dans l'ensemble, cette configuration des unités prédites n'est pas très différente de celle observée en 2000. En termes de statistiques, le tableau II présente les différentes proportions des unités observées ainsi que les écarts qui sont constatés.

Tableau II : proportion des unités observées et simulées en 2000

Unités	% observés en 2000	% simulés en 2000	Ecart
Zone de cultures	65,64	66,60	0,96
Sol nu/rocheux	7,09	6,53	0,56
Savane arborée/arbustive	26,66	25,64	1,02
Plan d'eau	0,44	0,94	0,50
Foret galerie	0,17	0,29	0,12
Total	100	100	00

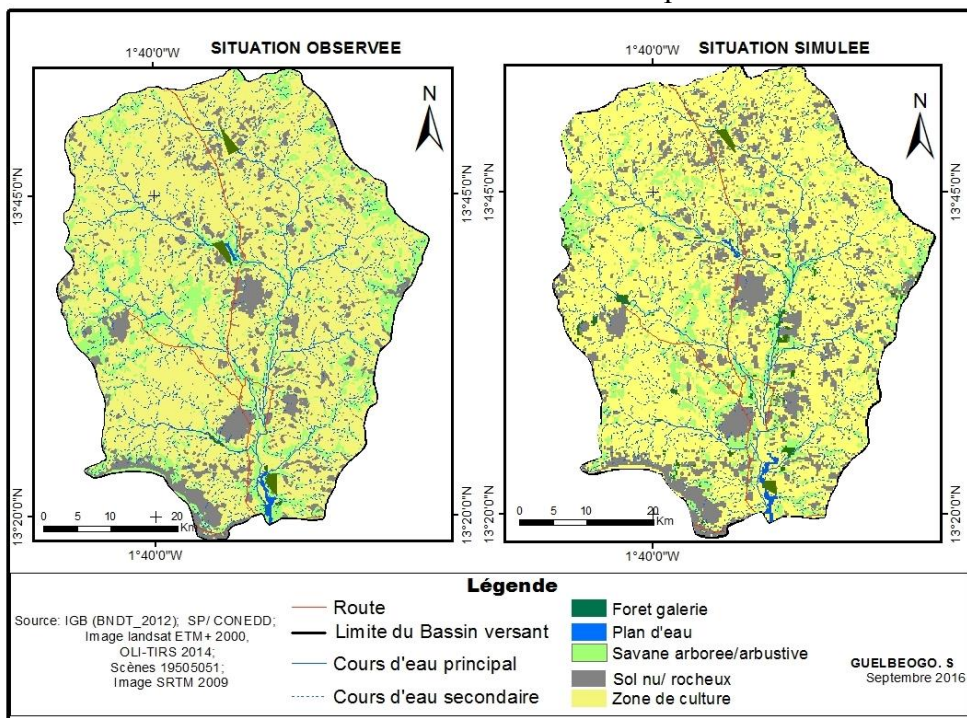
Source : Landsat 1986 TM projeté

Le tableau II montre que les deux situations (observée et simulée) présentent les mêmes allures et mieux, leurs écarts proportionnels sont relativement négligeables allant de 0,12 à 1,02. Ce résultat permet de conclure que la simulation donne des résultats acceptables, conformes la « réalité du terrain ».

2.3.2 Occupation de terres de 2014 à partir de la simulation de 2000

Le même exercice a été réalisé pour l'année 2014 à partir des données observée en 2000. Le résultat cartographique est présenté dans la planche 3 ci-dessous.

Planche 3 : Situation observée et simulée de l'occupation des terre en 2014



En 2014, les unités issues de la simulation ont connu une dynamique conforme à celle de 2000. Toutes les unités ont plus moins gardé leur configuration d'ensemble. Néanmoins des particularités existent dans la distribution spatiale de certaines unités. C'est le cas des sols nus qui ont été conservés dans les grands amas mais qui connaissent une redistribution dans tout le bassin des petites unités. La même observation est faite sur les savanes

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

qui ont perdu de leur importance à l'ouest et à l'est pour en gagner au centre. Le tableau 3 illustre les statistiques proportionnelles des unités simulées de 2000 et celles observées en 2014.

Tableau III: Proportion des unités observées et simulées en 2014

Unités	% observés en 2014	% simulés en 2014	Ecart (%)
Zone de cultures	74,34	74,46	0,12
Sol nu	10,89	11,77	0,88
Savane arborée/arbustive	14,42	13,21	1,21
Plan d'eau	0,25	0,44	0,19
Foret galerie	0,10	0,12	0,02
Total	100	100	0

Source : Landsat 2000 TM+, n° 195050 et 195051

Le tableau III montre qu'en 2014, les statistiques simulées confirment le constat fait plus haut sur la progression constante des superficies des zones de culture et de la régression des formations végétales.

Des résultats similaires ont été obtenus par Lajoie et Hagen-Zanker (2007) à la Réunion. Ils sont arrivés à la conclusion que l'étalement des unités simulées révèle davantage des différences de niveaux des unités que de leur nature. Mais dans le bassin versant du lac Bam, on a assisté beaucoup plus à leur reconversion. En effet, les zones de culture toujours dominantes, forment un espace continu. En plus, les savanes présentes au sud-ouest en 2000 a disparu en 2014 pour faire place aux zones de culture et aux sols nus. Ces résultats sont quelque peu les mêmes pour l'occupation observée en 2014 quand on voit que les écarts illustrés dans le tableau 2 sont négligeables (de 0,02% à 1,21%).

2.3.3 Projection de la dynamique d'occupation des terres à l'horizon 2030

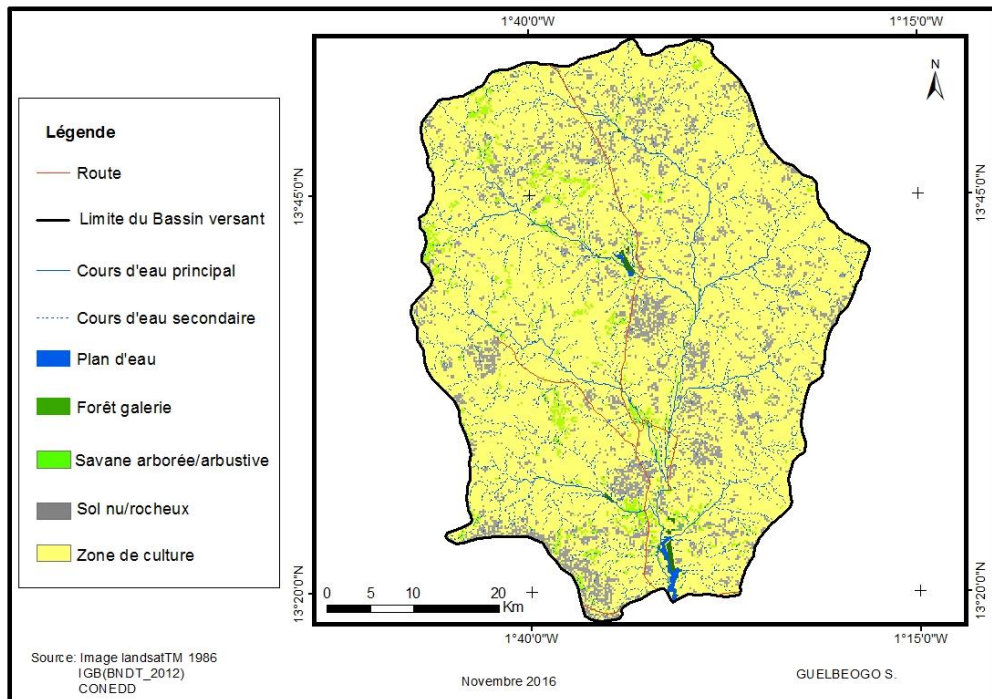
Sur la base des résultats obtenus dans les simulations de 1986 et de 2000, un même traitement a été réalisé sur l'occupation de 2014 afin de se projeter sur un état qu'on devrait avoir en 2030. Deux scénarii possibles ont été envisagés : un scénario pessimiste fondé sur la dynamique amorcée depuis 1986 (situations de dégradation continue) et un scénario optimiste avec une hypothèse de restauration de l'environnement.

- *Scenario pessimiste*

Il est fondé sur les considérations socio-économiques dans lesquelles s'est opérée la dynamique de l'occupation des terres jusqu'en 2014. Elle se base sur les hypothèses suivantes :

- la population du bassin croît à un rythme continu ;
- cette population est dépendante des ressources naturelles qui constituent la principale source de production ;
- la précarité de vie des populations du bassin demeure ;
- l'extension des emblavures agricoles fait appel à l'usage des méthodes impropres à l'environnement (culture sur brulis, déboisements incontrôlés, réduction de la durée des jachères, monoculture prédominante, feux de brousse, etc.) contribuant à sa dégradation ;
- le taux d'évolution de l'occupation des terres est demeuré constant depuis 1986. La carte 2 est une illustration de la distribution spatiale des unités d'occupation des terres issues de cette simulation.

Carte 2: Projection des unités d'occupation des terres en 2030 (scénario pessimiste)

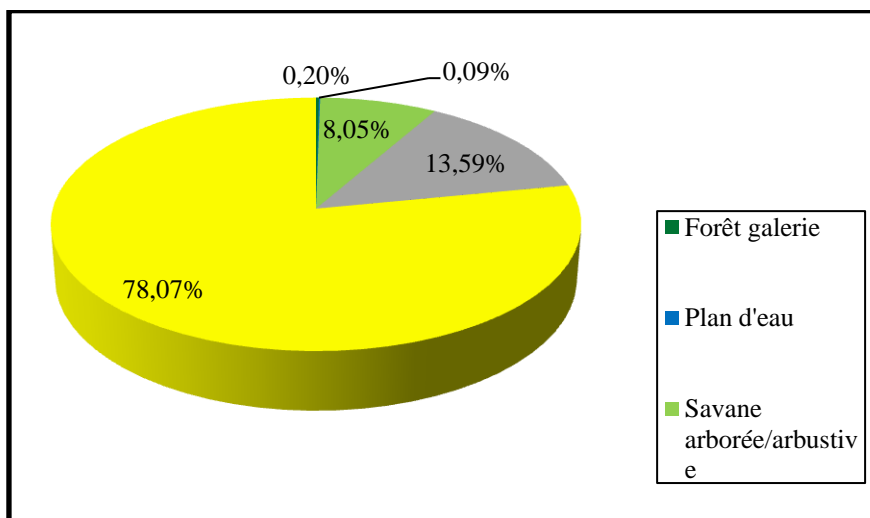


ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

L'observation de la carte 2 permet les constats suivants pour 2030:

- la savane arborée/arbustive disparaîtra pour céder la place aux zones de culture ;
- les deux plans d'eau naturelle au nord et au sud-ouest du bassin vont disparaître ;
- Les berges des plans d'eau seront occupées par des zones de culture ;
- Les zones de culture et les sols nus/rocheux connaîtront une augmentation de leur superficie. La figure 4 présente la proportion de ces unités d'occupation des terres pour 2030.

Figure 4: Proportion des unités d'occupation des terres projetées pour 2030



Source : Landsat 2014 OLI-TIRS, n° 195050 et 195051 projetés

La figure ci-dessus montre qu'en 2030 près des 4/5 de l'espace du bassin versant seront occupés par des zones de culture. La formation végétale (savane et forêt galerie) et les plans d'eau seront au 1/5 du bassin. Statistiquement, les zones de culture passeront de 164714,27 ha en 2000 à 221 073,35 ha en 2030, soit un taux d'accroissement de 9,1% par an. Dans ces conditions, l'agriculture sera marquée la monoculture céréalière sur les mêmes parcelles, ayant pour corollaire la baisse de la production et la dégradation continue des terres. Les zones dénudées connaîtront aussi une augmentation de leur superficie. Les formations végétales (savanes et forêt galerie) vont, quant à elles, connaître une régression importante et verront alors leur superficie évoluer de 67 324,14 ha en 2000 à 1 059,63 ha en 2030. La diminution sensible des formations végétales va contraindre bon nombre d'espèces fauniques à disparaître ou à migrer vers des meilleurs

endroits. Le bétail subira le poids d'une ressource fourragère de plus en plus inexistante. Les plans d'eau passeront de 2 885,67ha en 1986 à 850,03ha compromettant ainsi l'activité maraîchère. Les conséquences qui en découleront seront entre autres la mise au chômage, la baisse des revenus et la migration des ménages dans le bassin versant.

Le scénario socioéconomique a posé le problème de survie des formations naturelles et partant celui des ménages du bassin versant d'où la nécessité d'envisager une autre situation (optimiste) qui pourrait donner plus de possibilité de développement pour les populations de cet espace.

- *scénario optimiste*

Pour ce scénario, les hypothèses émises sont les suivantes :

- la situation économique des populations s'est améliorée avec l'exploitation de l'or ;
- la part du bois dans la satisfaction des besoins en énergie domestique des populations est réduite de moitié au profit d'autres sources d'énergie (bio-digesteur; gaz butane etc.) ;
- les ressources tirées de l'or sont injectées dans l'amélioration des outils agricoles et l'utilisation d'intrants ;
- le taux de la dynamique de l'occupation des terres est réduit de moitié par rapport celui obtenu entre 1986, 2000 et 2014 ;
- les méthodes de conservation des eaux et des sols (CES) sont vulgarisées dans l'espace du bassin ;
- la mise en place d'une politique de préservation des berges est effective ;
- l'aménagement du lac Bam dont les travaux ont été lancés à Kongoussi est effectif ;
- La pluviométrie est bien répartie dans le temps et dans l'espace.

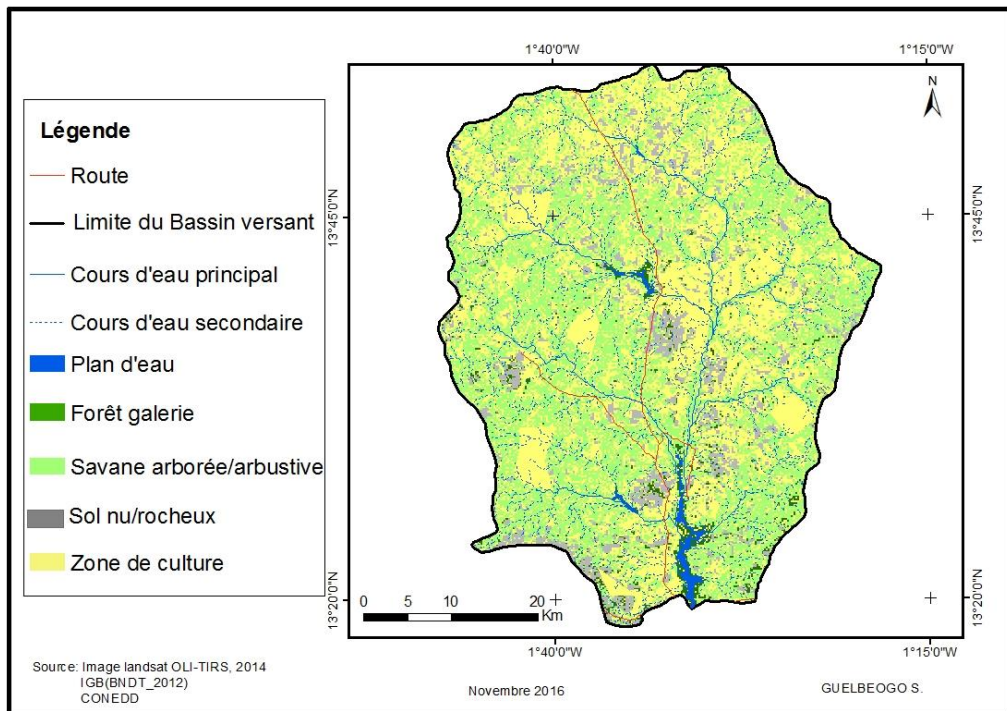
En considérant que ces hypothèses priorisent la préservation et la gestion contrôlée des ressources environnementales, certaines unités de l'occupation des terres pourraient voir leur durée de vie doubler ou tripler. La simulation ainsi réalisée donne le résultat présenté par la carte 3.

Elle montre des tendances opposées à celles du scénario précédent. Elle illustre l'existence d'une importante formation végétale (savane, forêt galerie) d'une superficie de 146 134,31 ha, soit plus de la moitié du bassin. Elle constituera non seulement un énorme poumon vert du bassin versant en 2030 ; mais aussi un réservoir pour la satisfaction des différents besoins des populations (pharmacopée, alimentation, énergie). On note également une restauration des plans d'eau (1 530,31ha, soit 1,61% de la superficie du bassin), accompagnée d'une importante reprise de la galerie forestière. Dans ce cas, le maraîchage se développerait mieux que dans le premier scénario.

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

Cela permettra une amélioration des conditions de vie des ménages. La galerie forestière constituerait un écran de protection contre les risques d'ensablement. Dans le même sens, l'émigration de la population se verra réduite ainsi que les risques de paupérisation. Ce second scénario est source d'espoir pour le bassin versant du lac Bam et sa mise en œuvre devrait être prise en compte par tous les acteurs du développement (acteurs publics et privés, population locale). Mais les hypothèses sont si optimistes que la question à se poser est de savoir si les paramètres actuels aussi bien socioéconomiques que biophysiques du bassin versant sont favorables à ce scénario.

Carte 3: Projection des unités d'occupation des terres en 2030 (scénario optimiste)



Dans tous les cas, l'utilisation de ce modèle a permis de se projeter sur l'occupation des terres à l'horizon 2030 dans le bassin versant. Les résultats obtenus montrent que les zones de culture, les sols nus/rocheux vont continuer à s'étendre au détriment de la formation végétale et des plans d'eau si des dispositions de conservation ne sont pas prises. Des résultats similaires ont été trouvés dans le centre du Bénin et dans le sous bassin-versant de Loubila respectivement par Oloukoi (2013) et Ouédraogo (2013). Ils sont

unanimes à travers ces deux scénarii pour dire que les formations végétales disparaîtront progressivement au profit des champs et jachères (pessimiste) sauf si des mesures de restauration sont mises en œuvre (optimiste). Pour ce faire des dispositions palliatives peuvent être envisagées pour contenir la situation au niveau du lac Bam. Il s'agit principalement de :

- la mise en place d'un système de gestion des données spatiales à travers une cellule SIG à la mairie de Kongoussi pour une exploitation des résultats des recherches effectuées ;
- la mise à jour régulière de l'occupation des terres dans le bassin versant tous les dix ans afin de disposer d'informations pour aider à la prise de décision. Elles sont réalisables, d'autant plus des outils modernes tels la Télédétection et le Système d'Information Géographique qui ont fait leurs preuves sont disponibles ;
- la dotation des communes de Plan d'Occupation des Sols (POS). Ce document précisera les zones d'intérêt économique sensibles (surtout les bordures des retenues d'eau) qu'il convient de préserver ;
- mettre l'accent sur la sensibilisation et la formation des populations riveraines des plans d'eau aux techniques de protection des berges.

CONCLUSION

Le traitement des images satellitales a permis de faire la cartographie de l'occupation des terres dans le bassin versant du lac Bam. Il fait ressortir un état passé, actuel et pour un proche avenir des ressources naturelles qui ont subi une pression anthropique ces dernières décennies. L'hypothèse de recherche est ainsi confirmée parce que les superficies des zones cultivées ont connu une évolution croissante les années 1986, 2000 et 2014 ; alors que les formations végétales ont perdu en superficie avec des reconversions de certaines d'entre elles. Il en est de même pour le plan d'eau du lac qui s'est rétréci au fil du temps. Les déficits pluviométriques, les variations des températures et la pression anthropique sont les facteurs explicatifs de cette dynamique.

L'utilisation du modèle SpaCelle a permis de faire une analyse prospective de l'occupation des terres du bassin versant du lac Bam à l'horizon 2030 suivant deux scénarii. Pour le premier, il ressort que les plans d'eau, les forêts galeries et la savane connaîtront une régression de leurs superficies. Par contre, les zones de culture et les sols nus/rocheux continueront à augmenter. Il sera comme une continuité de la dégradation constatée depuis 1986. A contrario, le second prévoit une reprise des formations végétales qui occuperont plus de la moitié de l'espace d'étude si des activités de restauration et de récupération sont adoptées.

SpaCelle est un programme de modélisation qui comporte certainement des insuffisances dont les implémentations à d'autres

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATURELLES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC BAM AU BURKINA FASO

thématiques et à de plus grande échelle pourraient contribuer à son amélioration. Néanmoins les résultats obtenus par la présente étude peuvent être une invite aux décideurs à l'échelle provinciale et communale à l'action par des mesures qui participeront à limiter la dynamique régressive des ressources naturelles.

BIBLIOGRAPHIE

BANDRE (E.), 1989. « La dynamique du couvert végétal dans la région du Gboue, Province de la Kossi, Burkina Faso », in *Cahiers du CERLESHS* n°4, pp. 95-125

BOENA (C.), 2001. *L'ensablement du lac Bam : Causes et conséquences*. Mémoire de Maitrise du département de Géographie, Université de Ouagadougou. 134 p.

BOENA (F.), 2013. *Changements climatiques et mutations des pratiques agricoles dans la province du Bam : le cas des communes de Kongoussi et de Sabcé (Centre-Nord du Burkina Faso)*, Mémoire de Maitrise, Université de Ouagadougou, 103 p.

DUBOS PAILLARD (E.), et LANGLOIS (P.), 2008. « De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle », 16 p.

GUELBEOGO (S.), 2017. *Dynamique des ressources naturelles dans le bassin versant du lac Bam. Mémoire de master professionnel en Système d'information géographique. Option environnement et développement durable*. 97 p. + annexes.

Institut national de la statistique et de la démographie (INSD), 2008. *Recensement général de la population et de l'habitation de 2006*. Rapport définitif. 52 p.

Institut national de la statistique et de la démographie (INSD), 2014. *Annuaire statistique 2013*, INSD, Ouagadougou, 412 p.

KABORE (O.), OUEDRAOGO (B.), OUEDRAOGO (L.) et DA (D. E.C.), 2016. « Trajectoires d'évolution de l'utilisation des terres autour du lac du barrage hydroélectrique de la Komienga (Burkina Faso) » in, *Afrique SCIENCE*. 12 (6) ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>, pp. 137 – 150, octobre 2016

KABORE (T.), 2013 : *Dynamique du couvert végétal dans la commune rurale de Imasgo : causes et conséquences sur les sols*. Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Koudougou ; 94 p.

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 », In *Cybergeo : European Journal of Geography*. Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 405, mis en ligne le 18 octobre 2007, consulté le 26 juillet 2017. URL : <http://cybergeo.revues.org/11882> ; DOI : 10.4000/cybergeo.11882

MANKOKO, (S.) et MALDAGUE, (M.), 2015. « Approche systémique appliquée à la gestion de la biodiversité : cas de la réserve de biosphère de Luki (RDC) » in, *vertigo, revues.org*, 7 p.

OLOUKOI (J.), 2013. *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*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, FLASH-FAST, Université d'Abomey Calavi, 305 p.

OUEDRAOGO (B.), OUEDRAOGO (L.) et KABORE (O.), 2015. « Fragmentation de l'espace et conflits d'usage au sahel : cas du bassin versant de Yakouta (Burkina Faso) » In, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 9, n° 6, pp. 2727-2739, décembre 2015

OUEDRAOGO (V.), 2013. *Analyse de l'occupation des terres dans le Bassin versant de Loumbila*. Mémoire de DESS, RECTAS, OAU, 83 p.

REEB III, 2013. *Troisième rapport sur l'état de l'environnement au Burkina Faso*, 263pages

YANOOGO (P. I.), OUEDRAOGO (L.), ZOUNGRANA (B. J.-B.) et ZOUNGRANA (T. P.) 2014. « Analyse spatiotemporelle de la dynamique du front agricole dans le Sahel burkinabé » In, *Wiiré, revue de langue, lettre, arts, sciences humaines et sociales* n° 01, n° ISBN 2-915071-98-5, pp. 449-465, octobre 2014

YONKEU S., DA D.E.C., SOULE M., 2000. *Activités agro-pastorales et dégradations du couvert végétal dans le Centre-nord du Burkina Faso: Cas du Bassin versant de Bourzanga*

ZOUNGRANA (B. J. B.), 2010. *La dynamique du front agricole dans le Sahel Burkinabè : analyse spatio-temporelle*. Mémoire de Master en SIG. Université de Ouagadougou, Département de Géographie.