

Trajectoires d'évolution de l'utilisation des terres autour du lac du barrage hydroélectrique de la Kompienga, Burkina Faso

Oumar KABORE^{1*}, Blaise OUEDRAOGO², Lucien OUEDRAOGO² et Dapola Evariste DA³

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), CREAf Kamboinse, Cellule de Télédétection et SIG (CTIG), 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

² Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), CREAf Kamboinse, Cellule de Télédétection et SIG (CTIG), 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

³ Université de Ouaga | Professeur Joseph Ki Zerbo, Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés, 06 BP 10411 Ouagadougou 06, Burkina Faso

* Correspondance, courriel : oumarkabore@hotmail.com

Résumé

L'accroissement de la population installée autour du lac de barrage de la Kompienga a occasionné la dégradation du couvert végétal et la réduction des pâturages, au profit des champs de cultures. Des travaux antérieurs ont montré les contraintes liées à l'utilisation de l'espace, notamment la dégradation des terres, la restriction des espaces de productions agricoles et pastorales, les questions de pollution des eaux et des sols, les conflits entre communautés à cause des besoins d'appropriation des terres. Ces travaux n'ont cependant pas mis l'accent sur les études prospectives pour une meilleure connaissance de l'avenir de ces terres dans un contexte de réduction des ressources naturelles et d'accroissement des besoins. La présente recherche est une contribution à une meilleure connaissance de l'évolution future des ressources naturelles en vue de permettre aux décideurs et acteurs locaux d'anticiper sur les stratégies pour leur préservation. La méthodologie utilisée a été axée sur le traitement des images satellites, la cartographie, et la modélisation de l'évolution de l'utilisation des terres. Les projections à l'horizon 2020 ont permis à travers deux scénarii, de se rendre compte du risque de saturation des terres agricoles et pastorales. Il est alors indispensable d'intensifier la production agropastorale, et veiller au respect strict des aires protégées seuls espoirs pour la préservation des ressources naturelles locales.

Mots-clés : *évolution, utilisation des terres, lac, modélisation, Kompienga, Burkina Faso.*

Abstract

Land use change trajectories around the lake of Kompienga hydroelectric dam, Burkina Faso

The increase in population around the lake of Kompienga caused the degradation of vegetation and the reduction of pasture area, converted to fields. Previous works showed the constraints in land use, specially land degradation, restriction of area for agricultural and pastoral productions, the soils and water pollution, the conflicts between communities for lands appropriation. These works did not however strongly based on prospective studies to improve knowledge about future lands in a context of reduction of natural resources

and increase of needs. The present research is a contribution for a better knowledge of natural resources evolution in future, in order to allow the decision-makers and the local actors to anticipate the strategies for their conservation. The methodology was centred on the satellite images processing, the cartography, and the modelling of land use evolution. The projections on the horizon 2020 through two scenarios, showed an important risk of saturation for farmlands and pastoral area. It is then essential to intensify the agricultural and pastoral production, and to preserve from the protected areas for the local natural resources conservation.

Keywords : *evolution, land use, lake, Modelling, Kompienga, Burkina Faso.*

1. Introduction

La dynamique d'occupation des terres est fondamentalement liée à la présence de l'homme à travers les activités de production ainsi que les actions de transformation de l'espace [1, 2]. De manière spécifique, les recherches ont montré que les activités agricoles et pastorales sont à la base de la plupart des transformations qui ont affecté l'occupation de l'espace [3 - 10]. Elles se manifestent principalement par la conversion des forêts en espaces cultivées ainsi que la destruction de la végétation naturelle par le surpâturage. L'accroissement de la population est donc souvent perçue comme la principale variable explicative de la déforestation [11] d'après [12, 13], même si la relation de cause à effet entre croissance démographique et défrichement n'est pas partagée par tous les auteurs [14] à cause de la nécessité d'intégrer d'autres paramètres. En Afrique et particulièrement au Burkina Faso, la présence des ressources naturelles a souvent conditionné le déplacement et l'installation de populations rurales à la recherche de terres pour les activités de production agricoles ou pastorales [15, 16].

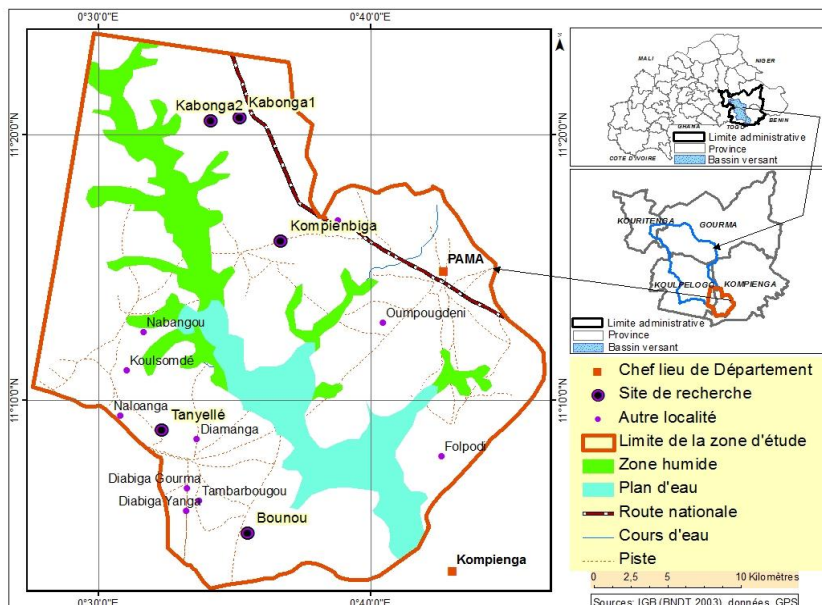
Dans la région est du Burkina Faso, les conditions naturelles favorables autour du lac du barrage hydroélectrique de la Kompienga, ont occasionné l'installation de populations dans les localités riveraines, avec pour conséquence l'extension des superficies cultivées et la réduction progressive des pâturages. La concurrence dans l'utilisation de l'espace entre les communautés d'agriculteurs et d'éleveurs est source de conflits face à des besoins en espace de production de plus en plus importants. La dégradation progressive du couvert végétal et la rareté des jachères constituent les signes les plus visibles d'un espace de plus en plus exposé aux risques de détérioration des ressources en sols et à la surexploitation agricole et pastorale. Ces observations ont été amplement décrites à travers entre autres, les travaux de [17, 18] en ce qui concerne la Kompienga. Des stratégies de préservation des ressources naturelles ont été développées par les pouvoirs politiques à travers une série d'arrêtés municipaux visant la création d'aires de protections avec des vocations diverses (pâturages, chasse, protection du lac, conservation des ressources forestières). Ces différentes tentatives si elles ont le mérite de contribuer à la résolution des problèmes actuels ne permettent pas cependant d'évaluer leur rôle à l'avenir.

Déjà, ces solutions semblent parfois en déphasage avec les besoins actuels. La connaissance des trajectoires de changement des conditions futures est perçue comme une contribution importante pour une stratégie de développement durable. La principale question est alors de savoir comment prévoir à travers des moyens d'anticipation, des stratégies à mêmes d'assurer la durabilité des activités agricoles et pastorales, malgré une population et des besoins en pleine croissance. Les transitions dans l'évolution de l'utilisation des terres permettent d'apprécier la durabilité des activités agricoles et pastorales autour du lac de la Kompienga, offrant des possibilités d'anticipation dans leur gestion. La présente recherche a pour objectif de contribuer à une production agropastorale durable, par une meilleure connaissance des transitions observées dans l'utilisation des terres, et une simulation de l'évolution future. Elle s'articule autour des points suivants : la présentation de l'espace d'étude, la description de la méthodologie de recherche, les résultats obtenus, la discussion, et la conclusion.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

L'aire d'étude est limitée par les longitudes 0°27'36" à 0°46'19" Est, et les latitudes 11°02'56" à 11°23'49" Nord, avec une superficie de 835 km². Elle prend en compte des sites de recherche choisis à l'intérieur du bassin versant du lac de la Kompienga. Au plan administratif, cet espace relève en grande partie de la province de la Kompienga (*Carte 1*). Le choix de cet espace est partiellement lié aux ressources naturelles favorables, notamment à la présence du plan d'eau du barrage, qui représente un intérêt certain pour les migrants à la recherche de ressources en eau nécessaires à la production agricole et pastorale. Entre 1961 et 2010, la pluviométrie moyenne enregistrée dans l'aire d'étude était d'environ 998 mm / an. Cette partie du pays est donc privilégiée en ce qui concerne les hauteurs d'eau de pluie reçues, car seulement 21 % du territoire national bénéficie de plus de 900 mm / an. Au plan hydrologique, le stockage en surface des eaux de pluie permet certaines activités de production telles que les cultures maraichères en saison sèche. Leur prélèvement pour les besoins de l'homme et des animaux ne représentait que 2 % de la recharge en 2005 [19], ce qui pourrait confirmer l'importante disponibilité de cette ressource. La végétation dans l'espace d'étude est surtout représentée par la savane composée de formations mixtes, ainsi que des formations de types arbustives, arborées, ou boisées. Les galeries forestières, les forêts claires ainsi que des reliques de forêts sèches sont aussi représentées dans des proportions moindres. La production pastorale peut donc bénéficier d'un potentiel fourrager assez important et diversifié. Les savanes parcs occupent les champs. Les espèces qui y sont dominantes sont : *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Lannea microcarpa* [20 - 23] in [24]. Les sols présentent divers niveaux d'aptitudes aux cultures céréalières, maraichères, fourragères et cotonnières. Ces conditions favorables ont contribué à créer d'importants afflux de population, avec un risque accru de saturation de l'espace cultivable et de très fortes pressions sur les écosystèmes de savane et le système agricole.



Carte 1 : Localisation de l'espace d'étude

2-2. Choix des images satellites

Les images de 1984, 1988, 1998, et 2010 ont été utilisées. Quelques informations liées à ces images sont contenues dans le *Tableau 1*

Tableau 1 : Références des images

Capteur	Référence de l'image	Date de prise de vue	Résolution	Période de référence
Landsat TM	193_052	1984	30 mètres	Période avant la construction du barrage (Situation de départ)
Landsat TM	193_052	1988	30 mètres	Début de la construction du barrage et date de recensement de la population
Landsat ETM ⁺	193_052	1998	30 mètres et 15 mètres (panchro)	Période après la mise en eau du barrage et période du premier recensement de la population après la mise en eau du barrage
ASTER		2010	15 mètres	

2-3. Traitement des images satellites et analyse cartographique

Le traitement des images satellites a comporté diverses étapes dont : le choix des bandes spectrales à même de restituer le maximum d'informations, la correction géométrique des images, la réalisation de la composition colorée, l'ajustement radiométrique visant à faciliter la comparaison d'images prises à des dates différentes, la classification des images par Maximum de vraisemblance, suivie de l'amélioration puis de la validation de l'image classifiée. Une cartographie d'unités d'occupation des terres a ensuite été réalisée sur la base des couches vectorielle extraites du traitement des images satellites. Des aires protégées ont aussi été cartographiées par géo localisation des bornes matérialisant leurs limites à l'aide d'un récepteur GPS. Une analyse multi date a été réalisée sur la base des cartes de 1984 ; 1988 ; 1998 et 2010. Une évaluation des superficies aux différentes dates a été réalisée ce qui permet d'apprécier leur évolution dans le temps. Les variables explicatives de la localisation des types d'occupation des terres ont été spatialisées. Elles concernent : la densité de population, l'altitude, les pentes, les sols, les distances aux localités, aux routes et au lac. Cette cartographie a été réalisée suite à des traitements à l'aide du SIG. Par la suite, une sélection des variables déterminantes par analyse statistique régressive, a été réalisée.

2-4. Analyses statistiques et choix des variables déterminantes

Deux types de variables ont été utilisés : les variables dépendantes et les variables indépendantes. Le premier type regroupe les unités d'occupation des terres. Ces variables ont été obtenus suite au traitement des images satellites et extraction de couches vectorielles. Les transitions ayant affectés ces variables sont analysées par la présente recherche. Dans ce sens, les différentes conversions observées entre les temps t_0 et t_1 sont regroupées dans une matrice à n colonnes et m lignes. L'ensemble des valeurs des cellules $a(i, j)$ représente alors les aires de conversion d'une unité i au temps t_0 en unité j au temps t_1 , sauf les cellules $a(i, i)$ qui correspondent aux situations stables. Le calcul de la superficie totale d'une catégorie i au temps t_0 est exprimé par *l'Équation (1)*.

$$Eit_0 = \sum a(i, j), i = 1, n \quad (1)$$

Quant à la superficie totale d'une catégorie j au temps t_1 , elle est obtenue à l'aide de *l'Équation (2)*.

$$Ejt_1 = \sum a(i, j), j = 1, m \quad (2)$$

Les transitions observées servent de base pour le calcul des probabilités de transition par lesquelles des projections peuvent être effectuées à une période $t + n$, par *l'Équation (3)*.

$$P(i, j) = \frac{a(i, j)}{Eit_0} \quad (3)$$

où, $P(i, j)$ est la probabilité de transition de l'état i au temps t_0 (temps initiale de transition) à l'état j au temps $t + n$ (fin de transition); $a(i, j)$ l'aire de transition d'une catégorie i au temps t_0 vers une catégorie j au temps $t + n$; Eit_0 la surface totale d'une catégorie i au temps t_0

Le second groupe de variables dites indépendantes a été soumise à une analyse statistique régressive de type logistique sous SPSS. Cette analyse est basée sur la corrélation entre les variables dépendantes et indépendantes. Le pouvoir explicatif des variables indépendantes sur les unités d'occupation des terres est alors mesuré par un test de corrélation, en vue de sélectionner les variables déterminantes. Il s'agit de voir dans quelle mesure chaque variable ou groupe de variables indépendantes permet d'expliquer la présence ou l'absence d'une variable dépendante. Ces dernières de types binaires, comportent donc deux modalités (Présent ou Absent). La courbe ROC (*Receiver Operating Characteristics*) est le produit d'un test dont les résultats déterminent soit la présence soit l'absence d'un type d'utilisation des terres. Plusieurs cas de figure se présentent :

- La présence de l'utilisation des terres observée a été prédite, et est notée PP ;
- La présence de l'utilisation des terres observée n'a pas été prédite, et est notée PNP ;
- L'absence de l'utilisation des terres observée a été prédite, et est notée AP ;
- L'absence de l'utilisation des terres observée n'a pas été prédite, et est notée ANP.

La proportion des présences prédites est donnée par ***l'Équation (4)*** et est appelée *sensitivité*.

$$P(\%) = \frac{PP}{PP+PNP} \quad (4)$$

Quant à la proportion des absences prédites, elle est appelée *spécificité* et est obtenue par calcul à l'aide de ***l'Équation (5)***.

$$A(\%) = \frac{AP}{AP+ANP} \quad (5)$$

La courbe ROC est décrite par les valeurs de sensibilité et de spécificité. Les valeurs ROC varient de 0 à 1 :

- Lorsque $R = 1$, la prédiction du modèle est parfaite ;
- Lorsque $R = 0,5$ alors la prédiction aléatoire.

Plus la valeur ROC est grande, plus le pouvoir explicatif de la variable indépendante (variables biophysiques, géographiques, humaines) sur la variable dépendante (type d'utilisation des terres) est grand. Cette valeur ROC permet de mesurer la qualité d'une régression de type logistique, à l'image du coefficient de détermination R^2 dans le cas d'une régression linéaire.

2-5. Méthodes de simulation des trajectoires de l'utilisation des terres

La simulation des trajectoires d'évolution de l'utilisation des terres est conditionnée par deux scénarii qui décrivent respectivement une tendance pessimiste et une tendance optimiste. Un paramétrage du modèle a ensuite permis de mettre en forme des données constituées des unités d'occupation des terres désignés comme variables dépendantes et des variables indépendantes que sont les facteurs d'évolution de l'occupation des terres. Les variables dépendantes à différentes dates sont présentées sous la même légende.

Toutes les variables sont en format raster et ont les mêmes caractéristiques concernant la résolution, le nombre de lignes et de colonnes ainsi que les espaces correspondant aux *nodata*. L'uniformité de ces paramètres est indispensable pour une superposition parfaite des données. Dès lors, ces dernières sont introduites dans le programme *Land Change Modeler* suivant les modules ci-après :

- Le module *Change Analysis* qui a permis l'observation des transitions provoquées par les changements d'utilisation des terres pour une période de calibrage allant de 1998 à 2010. Les valeurs obtenues de ces observations servent de base pour des projections sur des périodes futures ;
- Le module *Transition Potentials* qui a été utilisé pour définir les différentes formes de transitions et mesurer leur capacité d'occurrence. La sélection des variables indépendantes au regard du pouvoir explicatif de leur présence a été confirmée. La valeur de *Cramer* a été alors utilisé comme critère de sélection à travers un indice de mesure de la corrélation. Pour une valeur au-dessus de 0,15, la variable est considérée comme acceptable. La valeur est cependant jugée bonne lorsqu'elle est au-dessus de 0,4. Les potentiels de transitions ont été calculés par la suite ;
- Le module *Change Prediction* qui, quant à lui, a permis d'effectuer des projections en ce qui concerne les trajectoires de l'utilisation des terres. Ce module a permis de calculer les superficies des unités d'occupation des terres pour l'année de projection par la *chaîne de Markov*. Cela a permis d'évaluer la demande future en terres liée aux besoins de la population. L'allocation des changements et localisation des unités d'utilisation des terres a été réalisée pour la période de projection.

2-6. Méthode de validation du modèle

Une mesure de la précision des résultats du modèle a été jugé indispensable. Pour cela, une série d'images a été utilisée dont l'image de l'occupation des terres en 1998, l'image de la prédiction de l'occupation des terres en 2012 et l'image de l'occupation des terres observée en 2012. Trois situations sont alors prises en compte :

- Les changements prédits et observés ;
- les aires stationnaires prédites non observées ;
- les aires stationnaires prédites et observées.

3. Résultats

3-1. Les variables engagées dans le modèle

3-1-1. Les variables dépendantes

Elles sont composées : des champs, des pâturages, du plan d'eau, de l'agglomération de Pama, du drain central. Les pâturages prennent en compte les espaces non cultivés y compris les affleurements rocheux et cuirassés, les Zovic (Zones villageoises d'intérêt cynégétique), les aires partiellement protégées.

3-1-2. Les variables indépendantes

Ce sont des variables biophysiques, géographiques et humaines sélectionnées sous SPSS, confirmées par la valeur de *cramer* sous *land change modeler*, et qui ont un pouvoir explicatif de la présence ou de l'absence des variables dépendantes. Il s'agit : des distances aux localités, des distances aux routes et pistes, des densités de population, des distances au lac, des sols, des altitudes et des pentes. Le pouvoir explicatif de ces variables est mesuré par la valeur ROC. La **Figure 1** représente un ensemble de courbes décrivant ces valeurs

en ce qui concerne les deux principaux groupes de variables dépendantes que sont les champs et pâturages. Les valeurs sont toutes supérieures à 50 %, ce qui indique que les variables indépendantes considérées ont un pouvoir explicatif suffisant pour déterminer la présence des champs et pâturage.

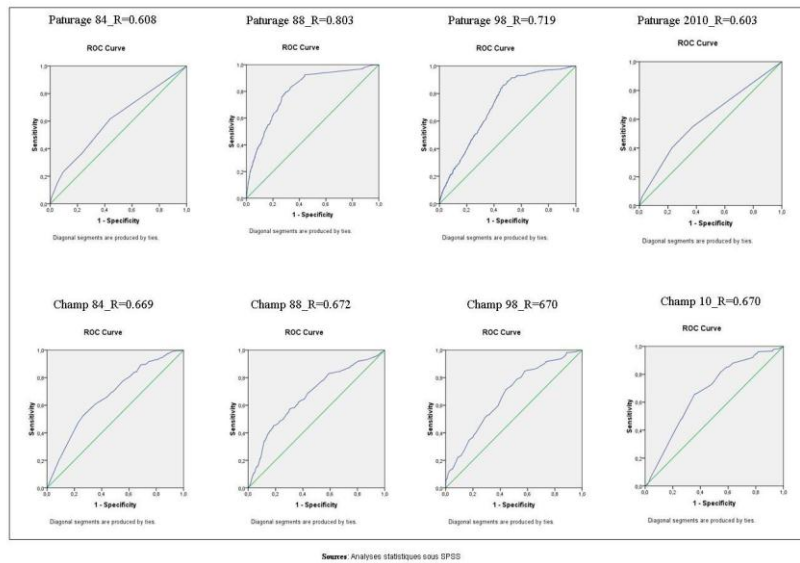
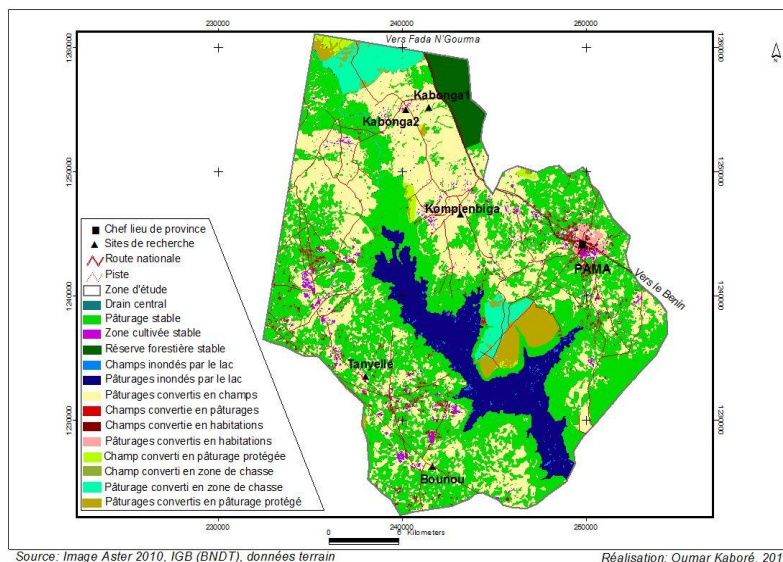


Figure 1 : Courbes décrivant les valeurs ROC pour les champs et pâturages

3-2. Transitions observées dans l'utilisation des terres entre 1984 et 2010

Diverses formes de transitions ont été observées dans l'utilisation des terres entre 1984 et 2010 (*Carte 2*). En effet, en dehors de certaines parties de l'espace restées stables notamment dans les pâturages, les espaces cultivés et les réserves forestières, la plupart des unités a connu des changements dans le temps et dans l'espace.



Carte 2 : Évolution de l'utilisation des terres de 1984 à 2010

Ainsi, l'évolution de l'utilisation des terres entre 1984 et 2010 a été marquée par l'apparition de diverses transitions (*Tableau 2*). Une forte dynamique a été enregistrée en ce qui concerne les surfaces cultivées. En

effet, la superficie de champs restée stable entre 1984 et 2010 ne représente que 1,54 % du territoire, alors que 31,62 % a été marqué par la conversion de pâturages en champs. C'est la forme de transition la plus forte, suivie de celle causée par l'inondation des pâturages par les eaux du lac. Les autres formes de transition entre pâturages naturelles et aires protégées ; entre agglomération et pâturages ou champs ; entre le lac et les champs ; entre champs et Zovics, montrent des proportions variant entre 0,12 et 3,30 % de l'espace d'étude. La plus faible transition est celle liée à la conversion des espaces cultivées en agglomération qui n'a occupé que 0,12 % de l'espace d'étude.

Tableau 2 : Matrice de transition des unités d'utilisation des terres de 1984 à 2010

2010 1984	Chp	Zovic	Pâtpr	Résforest	Pât	Aggl	Lac	Drain	Total 1984
Chp	1287 (1,54 %)	284 (0,34 %)	526 (0,62 %)	0	1333 (1,60 %)	107 (0,12 %)	160 (0,19 %)	0	3697 (4,42 %)
Résforest	0	0	0	1974 (2,36 %)	0	0	0	0	1974 (2,36 %)
Pât	26407 (31,62 %)	2763 (3,30 %)	1878 (2,24 %)		38434 (46,02 %)	341 (0,40 %)	7906 (9,46 %)	0	77729 (93,08 %)
Drain	0	0	0	0	0	0	0	100	100 (0,12 %)
Total 2010	27694 (33,16 %)	3047 (3,63 %)	2404 (2,87 %)	1974 (2,36 %)	39767 (47,62 %)	448 (0,53 %)	8066 (9,65 %)	100	83500 (100 %)

Source : Images Aster 2010 ; IGB (BNDT) ; données terrain.

Chp : Champ ; Zovic : Zone d'intérêt cynégétique ; Pâtpr : Zone de pâturage protégée ; Pât : Zone de pâturage non protégée ; Aggl : Agglomération ; Lac : Lac du barrage hydroélectrique ; Drain : Drain centrale ; Résforest : Réserve forestière.

3-3. Scénarii d'évolution future de l'utilisation des terres

- Scénario pessimiste

Ce scénario pessimiste prévoit une évolution de l'espace conformément à la théorie de Malthus. Compte tenu de l'accroissement des effectifs de population, la pression continue et irréversible sur l'environnement va aboutir à l'épuisement des ressources naturelles sur lesquelles repose la survie des hommes. L'extension des champs se fera au détriment des formations végétales. Cela va occasionner la dégradation de la savane, des formations rupicoles, et même l'occupation des aires marginales que constituent les espaces à affleurements rocheux ou de cuirasse. La disparition des pâturages convertis en champs va conduire à une insuffisance ou inexistence de ressources fourragères.

- Scénario optimiste

Le second scénario par contre, fait intervenir l'ingéniosité de l'homme en vue de faire face aux contraintes liées à la dégradation des ressources naturelles dans un contexte d'accroissement démographique. Il s'agit alors d'un scénario optimiste de type *Boserupien*. Dans ce cas, l'exploitation abusive et la destruction des ressources forestières, l'occupation de l'espace par les cultures aux dépens des pâturages, vont conduire à une prise de conscience des acteurs de la nécessité de préserver l'environnement. Dans ce sens un certain nombre de territoires ont été affectés à des utilisations spécifiques avec des exigences pour leur gestion. Des *zones pastorales* ainsi que des *aires de pâtures* ont été définis en vue d'offrir des espaces propices à

l'élevage. Les espaces ayant un statut de zone pastorale, sont exclusivement réservés au pâturage des animaux. Par ailleurs, d'autres espaces ont été affectés aux activités de chasse et peuvent être utilisés comme aires de parcours pour les animaux. Dans tous ces espaces, l'ouverture de champs pour l'agriculture est formellement interdite. De surcroit, l'exploitation anarchique des berges du lac a conduit à la délimitation d'une aire de protection matérialisée par une limite suivant la cote topographique 180 m. Il s'agit de préserver l'écosystème aquatique des risques et des menaces liées aux activités agricoles surtout. Il est supposé dans le cadre de ce scénario que l'affectation des terres et la protection de certains espaces seront entièrement respectées, à l'avenir.

3-4. Vision prospective de l'évolution de l'utilisation des terres de 2010 à 2020

- Evolutions suivant le scénario pessimiste

Les surfaces à affleurements de cuirasse, l'agglomération urbaine de Pama, les champs ainsi que les unités de savane vont connaître une évolution dans le temps et dans l'espace. D'après les tendances observées, les superficies des champs passeront de 28.530 Ha en 2010 à 70.106 Ha en 2020, soit un taux de croissance de 14,5 % par an.

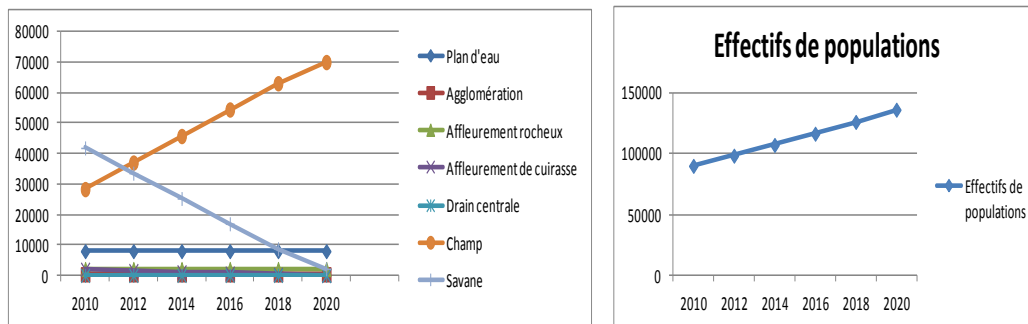


Figure 2 : *Évolution de l'utilisation des terres dans le bassin versant de la Kompienga selon un scénario pessimiste*

Sources : Résultats du Land Change Modeler et données de populations de l'INSD

Il y aura une régression des formations de savane suivant un taux 9,03 % par an représentant des superficies de 46.457 Ha en 2010 et 4.478 Ha en 2020. La pression agricole est si forte que même les aires à affleurements de cuirasse, sont progressivement converties en champs, soit 2.012 Ha entre 2010 et 2020. D'après les projections de l'Institut nationale de la statistique et de la démographie (INSD) en 2009 [25], la population évoluera de 89.955 hbts en 2010 à 135.991 hbts en 2020 avec un taux d'accroissement de 4,2 % (**Figure 2**). Cela contribue sans doute à expliquer l'évolution de l'agglomération urbaine de Pama, dont la superficie évaluée à 448 Ha en 2010 occupera 654 Ha en 2020 suivant un taux de croissance annuel de 4,6 %. Les cartes de simulation de l'évolution de l'utilisation des terres indiquent une progression des champs suivant un axe préférentiel le long des deux rives du lac (**Figure 3**). Cette évolution va aboutir en 2010, à la naissance de foyers plus importants en matière d'occupation agricole préférentiellement aux environs des villages de Kabonga et Kompienbiga situés en amont du lac.

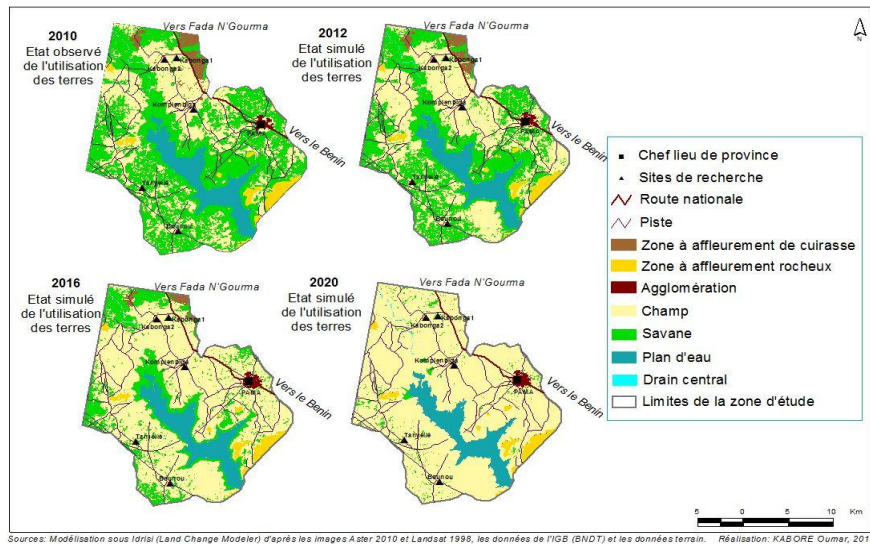


Figure 3 : Simulation de l'occupation des terres de 2010 à 2020 dans le bassin versant de la Kompienga (scénario pessimiste)

- Evolutions suivant le scénario optimiste

L'observation de l'évolution des espaces cultivés montre qu'en une décennie, il y aura une augmentation de leur superficie, allant de 25.143 Ha en 2010 à 52.445 Ha en 2020, avec un taux de croissance de 10,85 % par an. Cette évolution se fera aux dépens de la savane. En effet, cette dernière, d'une superficie de 27.503 Ha en 2010 (présence d'aires protégées) sera réduite à 1.706 Ha en 2020, soit un taux de réduction annuel de 9,37 %. L'agriculture va se développer aussi dans les espaces à indurations ferrugineuses subaffleurantes, où la superficie des champs va atteindre de 291 Ha. L'agglomération urbaine tout comme dans le scénario précédent, va connaître une augmentation globale de sa superficie. Dans la même période, les effectifs de population auront la même tendance évolutive que dans le premier scénario (*Figure 4*).

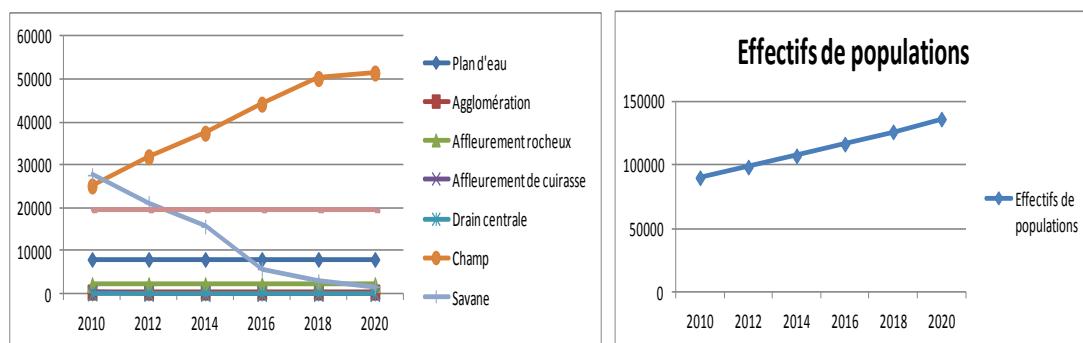


Figure 4 : Évolution de l'utilisation des terres en rapport avec la population dans le bassin versant de la Kompienga selon un scénario optimiste

Sources : Résultats du Land Change Modeler et données de populations de l'INSD

Les tendances d'évolution de l'occupation des terres observées sur les cartes indiquent dans le cas de ce second scénario, la possibilité de disposer en 2020, d'une importante réserve forestière qui pourrait contribuer énormément à la pérennité de l'activité pastorale en même temps qu'elle pourrait offrir d'autres services (*Figure 5*). Elle va occuper une superficie de 19423 Ha et pourrait constituer une alternative sérieuse pour l'espace d'étude.

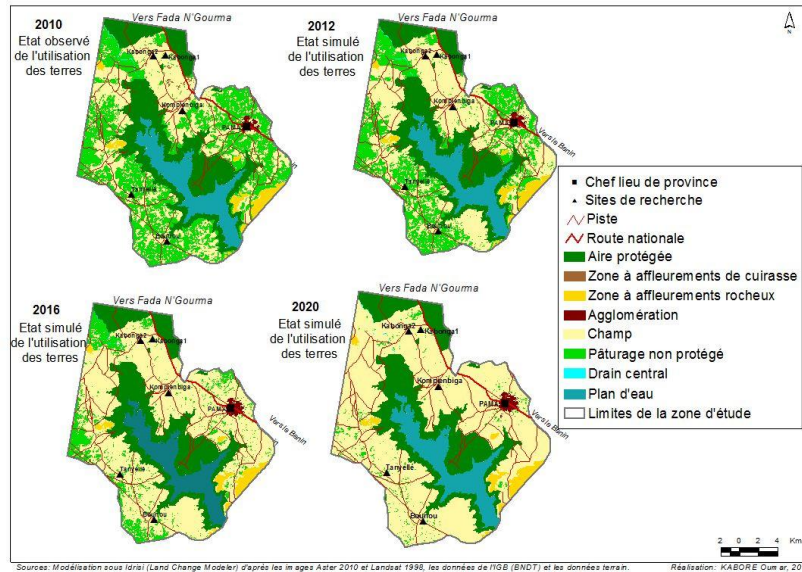


Figure 5 : Simulation de l'occupation des terres de 2010 à 2020 dans le bassin versant de la Komienga (scénario optimiste)

3-5. Evaluation du modèle

Les prédictions de persistance occupent 21.102 Ha soit 25 % des pixels, alors que dans la réalité, ces espaces occupés sont soumis à diverses transitions. Dans d'autres cas, des persistances observées correspondent à des transitions dans les résultats de prédiction, et représentent 3448 Ha soit 4,2 % de la superficie totale. Les valeurs ainsi obtenues permettent de mesurer le niveau des erreurs lié au modèle qui, dans le cas présent offre des résultats acceptables (**Tableau 3**). En effet, les erreurs de prédiction représentent 29,5 % de l'espace étudié soit une superficie de 24.649 Ha, pendant que les cas de concordance entre prédiction et données observées occupent 71,1 % de l'espace, soit 58.851 Ha de terres. Il y a par conséquent, 273.877 pixels mal prédits contre 653.900 pixels correspondant à des cas de prédictions concordantes.

Tableau 3 : Répartition spatiale de la précision des prédictions

Résultat	Superficie en Ha	Nombre de Pixels
Négatif	24.649	273.877
Positif	58851	653900

Sources : Résultats du Land Change Modeler et données de populations de l'INSD (2009)

4. Discussion

La technique de modélisation utilisée ici est conforme à l'approche dite prospective. Il ne s'agit donc pas d'une approche prédictive où la précision et l'exactitude des résultats est mise en avant. La démarche de type prospectif est perçue comme basée sur l'élaboration d'un récit cohérent qui décrit différentes anticipations possibles par rapport à un phénomène donné [26, 27] à partir duquel des simulations sont effectuées. Dans le cas de la présente recherche, ces dernières sont basées sur la chaîne de Markov qui permet d'effectuer des projections sur l'évolution de l'occupation des terres, à partir d'une matrice des probabilités de transition. Cette technique a permis d'étudier l'évolution des superficies de forêt dans la zone de contact entre la forêt

et la savane de l'est de la Côte d'Ivoire entre 1986 et 2050 par [28]. Pour notre cas, les traitements ont été effectués par le programme de modélisation *Land Change Modeler* (LCM) sous Idrisi. La chaîne de Markov associée à cette plateforme, a été utilisée pour calculer la matrice des probabilités de transition d'un état d'occupation des terres à un autre. La validation du modèle a montré un niveau de précision acceptable permettant d'être suffisamment proche de la réalité. Cependant toutes les unités n'ont pas été prises en compte. L'analyse de l'évolution a concerné seulement les champs, les savanes, l'agglomération urbaine de Pama, ainsi que les aires à affleurement de cuirasse. Il a été considéré que les autres unités sont restées constantes pendant la simulation compte tenu du fait qu'elles ne contribuent que très peu dans la dynamique des champs et pâturages en ce qui concerne la période concernée par l'étude. Des insuffisances sont à relever dans l'utilisation de LCM malgré la bonne qualité des résultats obtenus. En effet, LCM possède une structure rigide comparée à d'autres logiciels, ce qui ne favorise pas la personnalisation des modèles [29]. Ses procédures sont automatisées au point qu'elles ne laissent pas une grande liberté dans la prise en compte des connaissances de l'expert dans le processus de modélisation. Il y a alors une forte dépendance du logiciel aux données de calibrages.

Par ailleurs, le fait de considérer que la matrice de transition est homogène dans le temps ne permet pas de tenir compte de certaines influences à même de modifier les trajectoires d'évolution dans la période de simulation. Cela n'est pas assez réaliste. Des travaux comme celui réalisé sur les parcelles forestières de Fianarantsoa [30], ont permis de contourner le problème lié à l'homogénéité de la matrice de transition. En effet, il a été appliqué des matrices de transitions homogènes par périodes. Dans ce cas, la période de simulation est subdivisée en tenant compte des événements susceptibles d'influencer l'évolution. A chaque sous période correspond alors une matrice de transition qui lui est propre. Les résultats ont montré que l'épuisement des terres conduit à la mise en valeur des espaces marginaux ; là où se trouvent des cuirasses subaffleurantes. Ces endroits sont exploités pour l'agriculture alors que les affleurements rocheux en amas de blocs très accidentés, servent de parcours pour les animaux à cause de la végétation qui y pousse. Par ailleurs, les projections sont conformes à celles qui ont été réalisées concernant les pays en voie de développement de manière générale. D'après les résultats, les fortes densités de population dans ces pays, doublés d'une dégradation des sols par l'utilisation des terres constitueront une menace pour la production alimentaire ainsi que les moyens de subsistance en 2020 [31].

5. Conclusion

Les résultats obtenus ont permis à travers l'analyse multi date de connaître les transitions qui ont marqué l'évolution de l'utilisation des terres autour du lac de la Kompienga. Sur la base de ces transitions, et de deux scénarii portant sur des options de gestion et d'utilisation de l'espace, il a été possible de décrire deux trajectoires possibles d'évolution de l'utilisation des terres. La première repose sur le scénario pessimiste et devrait aboutir à une saturation presque totale des terres, ne laissant aucune possibilité de pérennisation des activités de production agricole et pastorale. La seconde trajectoire par contre est axée sur le scénario optimiste dans lequel les ressources forestières seront préservées dans les aires protégées malgré les besoins d'extension des champs et des pâturages. Cela va offrir plus de possibilités de poursuite des activités pastorales surtout, avec cependant de nouvelles stratégies de production ainsi qu'une intensification de l'agriculture. Ces résultats ne sont que les fruits d'une analyse prospective qui n'a pas la prétention de prédire avec précision l'avenir, mais d'offrir des tendances d'évolution qui constituent des pistes d'investigations pour des stratégies durables en matière de production agropastorale dans l'espace d'étude.

Références

- [1] - P. M. VITOUSEK, H. A. MOONEY, J. LUBCHENCO and J. M. MELILLO, *Science*, 277 (1997) 494.
- [2] - M. J. KOTCHEN and O. R. YOUNG, *Global Environmental Change*, 17 (2007) 149 - 151.
- [3] - E. F. LAMBIN, B. L. TURNER, H. J. GEIST, S. B. AGBOLA, A. ANGELSEN, J. W. BRUCE, O. T. COOMES, R. DIRZO, G. FISCHER, C. FOLKE, P. S. GEORGE, K. HOMEWOOD, J. IMBERNON, R. LEEMANS, X. LI, EF. MORAN, M. MORTIMORE, P. S. RAMAKRISHNAN, J. F. RICHARDS, H. SKANES, W. STEFFEN, G. D. STONE, U. SVEDIN, T. A. VELDKAMP, C. VOGEL, and J. XU, *Global Environmental Change*, 11 (2001) 261 - 269.
- [4] - H. J. GEIST et E. F. LAMBIN, *BioScience*, Vol. 52, (2) (2002) 143 - 150.
- [5] - E. F. LAMBIN, H. J. GEIST, et E. LEPERS, *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 28 (2003) 205 - 41.
- [6] - E. F. LAMBIN et P. MEYFROIDT, *PNAS*, Vol. 108, (9) (2011) 3465 - 3472.
- [7] - S. J. WRIGHT, *TRENDS in Ecology and Evolution*, Vol. 20, (10) (2005) 553 - 560.
- [8] - P. MEYFROIDT, T. K. RUDEL, et E. F. LAMBIN (2010), *PNAS*, Vol. 107, (49) (2010) 20917 - 20922.
- [9] - K. H. ERB, *Ecological Economics*, 76 (2012) 8 - 14.
- [10] - K. J. H. WILLIAMS, J. SCHIRMER, *Journal of Rural Studies*, 28 (2012) 538 - 548.
- [11] - E. F. LAMBIN, *Progress in Physical Geography*, 21(1997) 375 - 393.
- [12] - D. A. WARDELL, A. REENBERG, and C. TÖTTRUP, *Global Environmental Change*, 13 (2003) 235 - 254.
- [13] - N. LELE, H. NAGENDRA et J. SOUTHWORTH, *Remote Sens.*, 2(2010) 306- 332; doi:10.3390/rs2010306
- [14] - J. WILLIAM and I. MCCONNELL, *Madagascar conservation & development*, Vol. 4, (1) (2009) 13 - 24.
- [15] - S. PARE, U. SÖDERBERG, M. SANDEWALL, J.M. OUADBA, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 127 (3-5) (2008) 277 - 285.
- [16] - O. KABORE, J. M. DIPAMA, *Annales de l'Université de Ouagadougou, Série A*, Vol. 019, (2014) 147 - 167.
- [17] - J. M. DIPAMA, « *Les impacts du barrage hydro-électrique sur le bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso)* » Thèse de doctorat : Université de Bordeaux 3, (1997).
- [18] - O. KABORE, « *Dynamique de l'utilisation des terres dans les écosystèmes de savane et systèmes agraires du bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso)* ». Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, (2013).
- [19] - J. P. SANDWIDI, "Groundwater potential to supply population demand within the Kompienga dam basin Burkina Faso" *Ecology and Development*, 55 (2007).
- [20] - S. GUINKO, « *La végétation de la Haute Volta* », Thèse de doctorat es-Sciences naturelles : Université Bordeaux II, (1984).
- [21] - S. VERZANDVOORT, R. HESSEL, O. KABORÉ, J. HALEEGOAH, O. OWUSU SEKYERE, F. AMU-MENSAH, F. BAGAYOKO, N. V. GIESEN, G. MEIJERINK, J. VAN DEN BERG, E. QUAGLINO and M. PESTARINI, "Impact of changing land cover on the production and ecological functions of vegetation in inland valleys in West Africa (VINVAL)". Final report, (2005).
- [22] - E. MBAYNGONE, A. THIOMBIANO, K. HAHN-HADJALI et S. GUINKO, *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 11 (2008) 25 - 34.
- [23] - A. THIOMBIANO, « *Contribution à l'étude des Combretaceae dans les formations végétales de la région Est du Burkina Faso*. Thèse de 3ème cycle : Université de Ouagadougou", (1996).
- [24] - I. OUÉDRAOGO, "Land use dynamics and demographic change in southern Burkina Faso". *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 63 (2010).
- [25] - INSD, « *Projections démographiques de 2007 à 2020 par région et province* ». Projet ARC-SSN & Union Européenne. Burkina Faso, (2009).
- [26] - H. L. MOY, S. GORGNE, T. HOUET et C. TISSOT, « *Modélisation prédictive et prospective des changements de l'occupation des sols. Interaction nature-société, analyse et modèles* ». La Baule, (2006).
- [27] - X. POUX in : *Prospectives pour l'environnement : quelles recherches ? quelles ressources ? quelles méthodes ?* Mermet L. (éd.). La documentation française, (2003) 33 - 50.

- [28] - S. S. Y. BARIMA, M. W. EGNANKOU, C. T.A. N'DOUME, F. N. KOUAME et J. BOGAERT, *Revue Télédétection*, 9(2) (2010) 129 - 138.
- [29] - J. F. MAS, M. KOLB, T. HOUET, M. PAEGELOW et M. T. C. OLMEDO, « *Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols. Une approche comparative* ». RIG - 21/2011. Géomatique et occupation des sols, (2011) 405 - 430.
- [30] - V. RATIARSON, J. P. TREUIL, B. O. RAMAMONJISOA, S. M. CARRIERE, J. RANDRIAMALA et D. HERVE, In : « *Pratiques locales, dynamiques écologiques et construction de paysages* » GEREM, IRD Madagascar (éd.), (2005) 117 - 125.
- [31] - J. SARA et YS. SCHERR, « *Dégradation des sols dans le monde en développement : questions et options décisionnelles pour 2020* », (1997).