
EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DE ZIGA DANS LE YATENGA (BURKINA FASO) À PARTIR DE PHOTOS AERIENNES

Hamado SAWADOGO

*Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 06 BP 8645 Ouagadougou, Burkina Faso,
Tel: + 226 5034 02 70, Courriel: sawahamado@yahoo.fr*

Nabsanna Prosper ZOMBRE

*Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche Sciences de la Vie et de la Terre, Auteur correspondant
03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso,
Courriel: prosper.zombre@univ-ouaga.bf ou nabizom@yahoo.fr*

Laurent BOCK

*Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux,
Avenue Maréchal Juin, 5030 Gembloux, Belgique, +32 (0) 81 62 25 42, Courriel: bock.l@fsagx.ac.be*

Daniel LACROIX

*Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux,
Avenue Maréchal Juin, 5030 Gembloux, Belgique, +32 (0) 81 62 25 42, Courriel: lacroix.d@fsagx.ac.be*

© Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 1, p.59-73

Résumé

Le Burkina Faso est affecté par des processus de désertification. La présente étude évalue les changements de l'occupation du sol entre 1952 et 1996 dans la région du Nord Ouest du Burkina Faso. La méthodologie est basée sur l'interprétation des photographies aériennes de différentes dates du site de Ziga. En 1952, la couverture végétale était importante et diversifiée. En 1984, la végétation a régressé tandis que les zones nues sont devenues nombreuses. En 1996, une reprise de la végétation est observée dans les zones aménagées en techniques de conservation des eaux et des sols (CES) comme le zaï et les cordons pierreux. Toutefois, les jachères ont disparu dans le village et les champs ont augmenté en superficie. Il est donc nécessaire de poursuivre les efforts dans le domaine de la CES en vue de maintenir la dynamique de la réhabilitation de l'environnement.

Mots clés : Burkina Faso, occupation du sol, technique CES, régénération de la végétation, jachère

EVOLUTION OF LAND USE SYSTEM AT ZIGA USING AERIAL PHOTOS IN YATENGA REGION (BURKINA FASO)

Abstract

Burkina Faso is affected by desertification. The study focused on land use evolution between 1952 and 1996 in the north western region of Burkina Faso. The methodology is based on the interpretation of aerial photographs of Ziga land use at three different dates. In 1952, the vegetation was important and diversified in Ziga. In 1984, the vegetation has regressed and bare soil became extensive. In 1996, a reconstitution of the vegetation is observed in areas treated with soil and water conservation techniques such as zaï and rock bunds. However fallow areas have regressed and field plots areas have increased in size in the village. It is necessary to continue the efforts of soil and water conservation techniques to maintain the dynamic of the environment reconstitution.

Key words: Burkina Faso, soil occupation, soil and water conservation, regeneration, fallow area

1. INTRODUCTION

Les problèmes de désertification sont des préoccupations constantes des producteurs de la zone sahélienne (Mainguet, 2003). La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification créée en 1992, suite à une recommandation du Sommet "Planète Terre" de Rio définit la désertification comme la dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches. Elle se produit lorsque les sols sont fragiles, le couvert végétal amenuisé et le climat particulièrement impitoyable. Les effets cumulés des sécheresses, la pression démographique et le développement de l'élevage ont entraîné une rapide dégradation des écosystèmes sahéliens (Hulme, 2001 ; Gonzalez, 2001). Les ressources naturelles ont été donc particulièrement affectées. Les aspects les plus ressentis par les populations ont été la réduction significative de la couverture végétale avec une crise du bois, la dégradation des sols avec la perte de potentialités d'où une chute des rendements agricoles et une diminution des ressources en eaux avec l'assèchement et l'ensablement des cours d'eau (Mietton, 1988 ; Dugué, 1989 ; Zombré, 2006).

Les solutions pour combattre la désertification doivent être étroitement corrélées avec la gestion des causes de la désertification sachant que la complexité du phénomène rend leur identification difficile (Hess *et al.* 1996 ; Gommès, 1998 ; Diouf et Lambin, 2001). Bien que la gestion de la pression démographique doive être une priorité, de telles solutions doivent également impliquer des actions locales guidées par les conditions climatiques et une bonne utilisation des sols via notamment des pratiques agricoles adéquates dans le contexte du moment et dans une perspective de durabilité, tout cela en harmonie avec les besoins et les attentes des populations locales (Eklundh et Olsson, 2003 ; Symeonakis et Drake, 2004). C'est pourquoi les programmes de recherche actuels intègrent des données sur la dégradation du sol et des terres à des données socio-économiques de manière à formuler des stratégies pour réhabiliter les territoires affectés, mais également ceux qui sont vulnérables au fléau. Ces stratégies de réhabilitation des zones désertifiées incluent des thèmes tels que la gestion de l'eau, la réintroduction de plantes résistantes à la sécheresse dans les forêts, une amélioration de la productivité des terres agricoles et l'arrêt des pertes de terres irriguées (L'Hôte *et al.*, 2002). Elles impliquent le suivi à long terme de la situation, avec une insistance particulière sur les zones où de telles solutions sont mises en œuvre.

Les changements dans l'environnement biophysique sahélien sont notables et il était impérieux de pouvoir évaluer leur ampleur en vue d'y apporter des réponses appropriées. La télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont des outils adéquats pour appréhender ces différents changements en particulier dans l'occupation du sol et de la couverture végétale (Lambin, 1988 ; Nonguierma, 2005). L'usage conjoint de la télédétection multi-échelle et d'observations *in situ* pluridisciplinaires selon des protocoles rigoureux est un outil unique pour répondre à ces objectifs (Hountondji *et al.*, 2007).

L'intérêt scientifique de l'utilisation des techniques de télédétection pour l'étude des écosystèmes africains n'est plus à démontrer (Elliott, 1996 ; Hulme, 1996 ; Gueye et Ozer, 2000). En effet, les systèmes d'information géographique permettent de faire le point sur l'état des ressources naturelles à des périodes données mais également de comprendre les grands principes qui gouvernent l'utilisation et l'évolution de ces ressources pour la proposition de schémas de mise en valeur (Bock et Lacroix, 2004). L'évaluation, le suivi et une meilleure connaissance de l'état présent et des évolutions des écosystèmes des régions arides et de leurs services est une priorité (Hiernaux et Turner, 2002 ; Hountondji *et al.*, 2003). L'identification d'un ensemble pertinent et focalisé de variables et de protocoles harmonisés à utiliser en télédétection et dans les observations au sol reste un grand défi (Foody, 2003 ; Eklundh et Olsson, 2003).

Néanmoins, il existe des problèmes pour l'utilisation du SIG comme outil d'aide à la décision dans les pays en développement (Duivenbooden *et al.*, 1999). Son application au contexte africain pour le suivi des cultures et de l'environnement souffre toujours de sérieuses limitations (Nonguierma, 2005). Les principales lacunes identifiées sont les suivantes :

- le manque de données adéquates ;
- le problème de fiabilité et/ou de précision des données existantes ;
- les niveaux d'échelle et les agrégations.

En dépit de ces insuffisances, l'intérêt pour l'utilisation des produits des SIG est allé croissant dans le domaine de la gestion des ressources naturelles des terroirs au Burkina Faso. C'est dans cette perspective que notre étude a été initiée.

Cette étude a été menée dans la région Nord Ouest du Burkina Faso (figure 1), précisément dans la province du Yatenga. Le site d'étude est Ziga, situé à 25 km au sud de Ouahigouya.

Le but principal est d'apprécier les changements majeurs de l'occupation du sol de 1952 à 1996. L'étude a pour objectifs d'évaluer l'occupation de l'espace dans le temps en vue d'une meilleure gestion des terres.



Figure 1 : Carte de situation de Ziga. Map of Ziga location

2. CADRE NATUREL

La zone de la présente étude correspond à la province du Yatenga. Elle s'inscrit dans les coordonnées géographiques suivantes : 13°06' et 14°26' de latitude nord, et 1°43' et 2°55' de longitude ouest. Sa superficie est d'environ 12.300 km², soit 4,5 % du territoire national.

2.1. Modelé physique

Le modelé physique a été largement décrit par Marchal (1983) ; le Yatenga est à la marge du plateau mossi et du sahel burkinabè. Sa moitié sud correspond à la zone septentrionale du plateau mossi (alternance de tables cuirassées et de dépressions) ; on y retrouve des formations végétales caractéristiques du plateau, bien que plus dégradées. Il s'agit d'une savane arborée à base de *caïlcédrat* (*Khaya senegalensis*), *Tamarindus indica*, *Sclerocarya birrea* et *Parkia biglobosa* dans les zones basses ; de *Parkia biglobosa*, *Acacia albida*, *Sclerocarya birrea* et *Vitellaria paradoxum* sur les champs les plus fertiles. Les hauts de pente sont recouverts de formations très dégradées comportant des arbustes (*Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*), et une strate herbacée peu dense à base de *Loudetia togoensis*.

2.2. Sols

Selon le Bunasols (1992), on distingue cinq groupes de sols dans le Yatenga:

- Groupe 1: sols minéraux bruts (lithosols sur cuirasse surtout), plus ou moins durs et peu profonds, inaptes aux cultures (12,44 % des surfaces) ;
- Groupe 2 : sols peu évolués plus répandus présentant un horizon humifère de 20 cm (57,12 % des superficies et susceptibles de se prêter aux activités agricoles en utilisant des pratiques de conservation des eaux et des sols ;

- Groupe 3 : sols ferrugineux lessivés profonds (10,66 % des superficies), situés sur glacis moyens et ayant en commun une fertilité chimique faible à moyenne. Ils sont assez sensibles à l'érosion ;
- Groupe 4 : association de sols bruns et de sols ferrugineux. Ce groupe rassemble des sols d'une profondeur satisfaisante (80 à 120 cm), mais ne représente que 0,29 % des superficies.
- Groupe 5 : les sols hydromorphes associés à des sols ferrugineux qui occupent 19,49% des surfaces.

2.3. Climat

La majeure partie du Yatenga est couverte par un climat de type subsahélien, caractérisé par une pluviométrie de 500 à 700 mm et une longue saison sèche de 7 à 9 mois (Guinko, 1984). Seule une petite portion de l'extrême nord plonge dans la zone sahélienne.

La pluviométrie du Yatenga se caractérise par une très grande variabilité interannuelle et par une mauvaise répartition spatio-temporelle (figure 2).

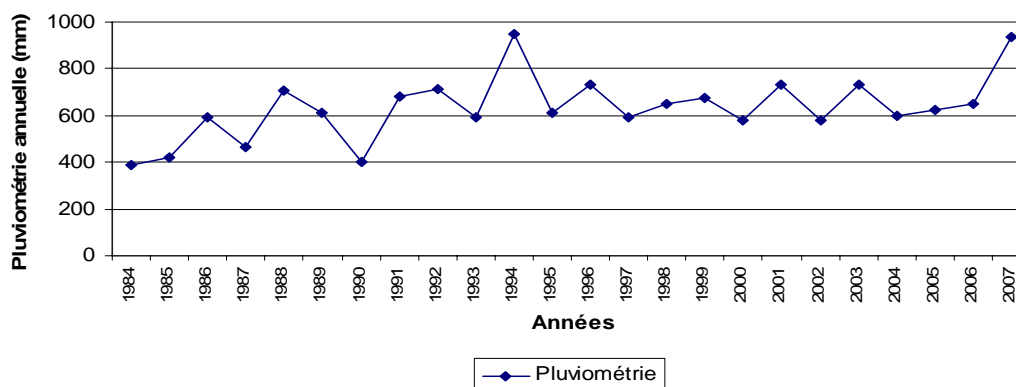


Figure 2 : Pluviométrie annuelle (en mm) du Yatenga de 1984 à 2007. *Annual rainfall (mm) of Yatenga region from 1984 to 2007*

De 1989 à 2001, le maximum d'eau tombée à Ouahigouya est de 946 mm et le minimum de 403 mm, respectivement en 1994 et 1990. Au cours de la même période, le nombre de jours de pluies par saison agricole a varié de 49 à 108 (figure 3). Les variations annuelles de la température sont de 8°C. Pendant la saison froide (décembre - février), les moyennes mensuelles enregistrées sont de l'ordre de 25°C pour la période 1989-2001; elles sont de l'ordre de 33°C pendant la saison chaude (avril- mai). Ces températures interviennent directement dans le bilan hydrique. L'humidité relative de l'air est faible en saison sèche ; elle amorce sa remontée un peu avant l'arrivée des premiers vents de mousson, pour atteindre son maximum au mois d'août. A l'opposé, l'évaporation est généralement plus élevée, notamment en saison sèche et atteindrait le double des quantités d'eau météoriques annuelles reçues.

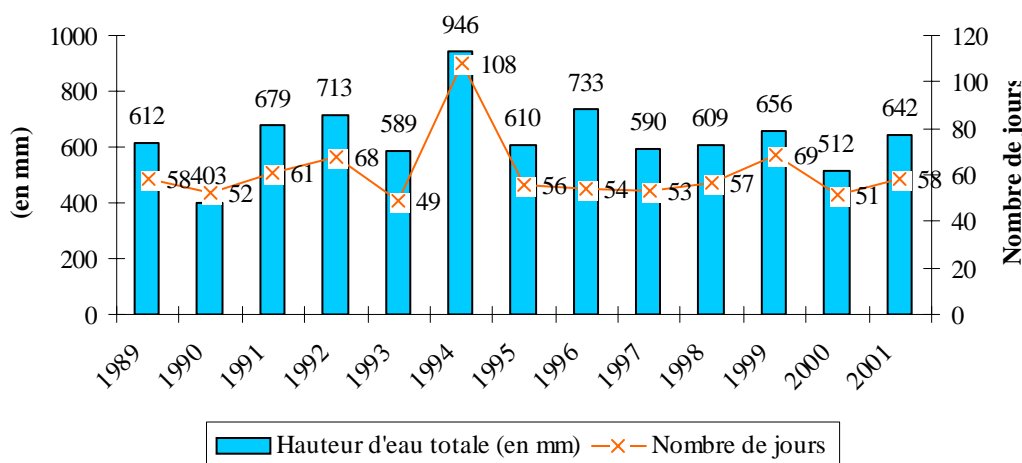


Figure 3: Hauteur d'eau totale et nombre de jours de pluies à la station de Ouahigouya de 1989 à 2001. *Height and day number of rain at Ouahigouya station from 1989 to 2001.*

2.4. Milieu humain

Le Yatenga est caractérisé par un accroissement démographique régulier qui s'est accéléré au 20^e siècle (Dugué, 1989) malgré une importante migration à partir des années soixante. Ce flux migratoire permet de ralentir, voire de stabiliser l'accroissement de la population résidente, et d'injecter dans l'économie de la région, des revenus monétaires indispensables en cas de mauvaises récoltes. Au recensement de 1996, la population du Yatenga était estimée à 683 556 habitants dont 53,57 % de femmes, pour une population active (14-65 ans) de 310 543 habitants soit 45 % de la population résidente (INSD, 1996). Le tableau 1 présente l'évolution de la population du Yatenga de 1910 à 1996. Ziga est un village situé dans le département de Oula à 25 km au sud de Ouahigouya. Il compte une population de 3828 habitants en 1996. La population est composée de *Mossés*, ethnie majoritaire au Burkina Faso. Les principales activités sont l'agriculture et l'élevage mais le commerce occupe une place importante compte tenu de la taille de la population.

Tableau 1 : Évolution de la population de la région du Yatenga de 1910 à 1996.
Evolution of the number of inhabitants of Yatenga region from 1910 to 1996

Années	Population	Densité
1910	200 000	16
1930	300 000	24
1960	400 000	32
1975	530 000	43
1985	537 205	44
1996	683 556	55

Source : Dugué (1989), INSD (1996).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1. Matériel

Pour cette étude, les photographies aériennes ont été les principaux supports pour une analyse multi temporelle. Elles sont présentées au tableau 2.

Tableau 2 : Données iconographiques du site de Ziga. *Iconographic data of Ziga*

Année de prise de vue	Numéro de la mission	Numéro des Prises de vue aérienne	Nombre de Prises de vue aérienne	Echelle
1952	Mission IGN AOF 017 Ouahigouya du 15/02/1952	110 à 112, 154 553 à 555, 581 à 583	10	1/50 000
1984	Mission IGB 84 066B Ouahigouya de décembre 1984	5551 à 5553, 5605 à 5607, 5744 à 5746,	9	1/50 000
1996	Mission IGB 145B Ouahigouya de février 1996	5425 à 5427, 9327 à 9332, 9370 à 9373	13	1/50 000

Les autres matériels utilisés ont été le stéréoscope pour la lecture des photographies aériennes et le GPS GARMIN 12 pour le relevé des coordonnées sur le terrain.

3.2. Méthode

Après l'étape de la documentation qui a permis de rassembler les documents existants sur le village (rapports, mémoires, thèses et cartes réalisées), il a été procédé à la définition de grands ensembles de paysages sur le terrain. Il s'est agi d'observer et de décrire les caractères du milieu (unités de paysage homogènes) et la définition de ceux-ci. La délimitation des unités homogènes a été faite en tenant compte du relief, de l'occupation des terres, de la densité du couvert végétal. Les limites du terroir ont été matérialisées en compagnie de deux personnes ressource du terroir. Les relevés des coordonnées UTM ont été faits à l'aide du GPS en utilisant des repères comme les courbures des cours d'eau, les pointes des buttes, les croisements des voies, etc.

L'interprétation des photographies aériennes a consisté en une lecture stéréoscopique et en une analyse déductive des images examinées sur les prises de vue aériennes (PVA) et le dessin des unités identifiées. Après la réalisation des cartes provisoires, des sorties de validation ont été effectuées. L'opération de numérisation a été faite à l'aide du logiciel ARCVIEW. Pour cette fin, le géo-référencement a été une étape indispensable.

A partir de l'interprétation des photo aériennes et du travail de terrain (transects du terroir, visite des sites anti-érosifs, échanges avec des informateurs clés comme les notables et les responsables d'organisations paysannes ayant réalisé des aménagements) et de l'analyse des documents existants (cartes morphopédologiques, cartes de végétation), il a été possible de définir des unités de paysage et d'étudier leur évolution en fonction des différentes périodes (1952, 1984 et 1996).

La typologie du milieu physique fait ressortir 5 grandes unités de paysage dans le village de Ziga (tableau 3). Ces unités s'obtiennent en superposant les facettes morphologiques (buttes cuirassées, glacis de différentes positions topographiques, bas-fonds), les types de sols, la végétation et l'occupation du sol (utilisation agricole, agro-pastorale, sylvicole).

Tableau 3 : Les grandes unités du paysage. *The major units of the landscape*

Principales caractéristiques	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5
Géomorphologie	Tables collines et buttes cuirassées	Glacis de pente supérieure	Glacis de pente moyenne et inférieure	Glacis de pente moyenne et inférieure	Bas-fonds, plaines alluviales et axes de drainage
Pédologie	Sols minéraux bruts	Sols peu évolués/sols ferrugineux	Sols ferrugineux tropicaux lessivés	Sols ferrugineux lessivés, sols bruns eutrophes	Sols hydromorphes à pseudogley
Végétation	Savane arbustive	Savane arbustive	savanes arborée	savanes boisée et arbustive	Formations ripicoles
Utilisation/Exploitation	Sylvo pastorale bois/pâturage	Agro-pastorale (cultures/pâturages)	Agro- pastorale (cultures/ pâturages)	Agro-sylvo-pastorale (jachères)	Agro-pastorale (cultures)
Erosion	En nappe, en ravine sur les versants	en ravine	en nappe, en rigoles	en nappe, en rigoles	en ravine, épandage

La première unité de paysage est constituée par les buttes et collines cuirassées du relief résiduel. Elles sont facilement reconnaissables par leur altitude plus élevée. Les sols sont généralement des sols minéraux bruts. La végétation est constituée d'une savane arbustive claire. Dans le passé, il y avait une grande diversité d'essences végétales sur cette unité mais à l'heure actuelle, ce sont surtout les espèces comme *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* qui sont dominantes. La couverture herbacée est également peu diversifiée, clairsemée et intercalée entre les blocs de cuirasse. Les femmes y coupent le bois et les pâturages pauvres sont utilisés par les petits ruminants. Par conséquent, cette unité est utilisée à des fins de sylvo-pastoralisme. L'unité ne reçoit pas de soins particuliers sur le plan aménagement. Elle constitue la zone de départ du ruissellement des eaux et des traces de ravinement sont souvent observées sur les versants.

La deuxième unité de paysage est constituée par les glacis de pente supérieure. Au plan pédologique, on retrouve les sols peu évolués développés sur matériaux détritiques associés localement à des sols ferrugineux tropicaux indurés. Les sols ne sont pas très épais. C'est toujours le domaine de la savane arbustive avec quelques arbres isolés comme le

Sclerocarya birrea. Cette unité est fortement occupée par les activités agro-pastorales. En effet, on y retrouve fréquemment de nombreux champs. La couverture herbeuse est plus importante et diversifiée que dans la première unité ; ce qui lui confère également, une vocation pastorale. Ces zones ont fait l'objet d'interventions au plan de l'édification des dispositifs anti-érosifs comme les cordons pierreux mais pas sur toute l'étendue de l'unité. En parcourant cette unité en hivernage, on peut facilement noter la présence d'une érosion en nappe et en rigoles.

La troisième unité de paysage est constituée par les glacis de pente moyenne et ceux de pente inférieure. Ce sont des glacis à longue pente faible de 0,5 à 1% s'étendant sur plusieurs kilomètres. Les sols sont constitués en grande majorité de sols ferrugineux tropicaux lessivés, mais des sols brunifiés et des sols sodiques y ont été identifiés. C'est le domaine de la savane arborée, où les arbres utilitaires sont épargnés par les agriculteurs dans les champs. Ces zones sont occupées par les activités agricoles et toutes les cultures, des céréales aux légumineuses y sont représentées. L'essentiel des mesures de conservation des eaux et des sols s'observe dans cette unité notamment les cordons pierreux, les zaï, les anciennes diguettes en terre du GERES (Groupement Européen de Restauration des Eaux et des sols) et quelques demi-lunes. La technique du zaï consiste à creuser des trous dans le sol, à y apporter de la fumure organique avant d'ensemencer les cultures (photo 1). L'érosion en nappe et en rigoles est dominante mais on trouve de temps à autre des ravines.



Photo 1 : Zipella en récupération à l'aide du zaï en juin 2002 (culture de sorgho à la levée).
Restoration of zipella with zaï in June 2002 (sorghum growing in pockets).

La quatrième unité de paysage que nous avons distinguée est constituée par les formations naturelles (brousses), les bosquets villageois et les jachères de longue durée. Ils s'observent sur les glacis et sur les hauts de pente. Elle est constituée d'une savane arbustive dense. Ce sont, soit des zones de mises en défens organisées par les paysans en collaboration avec les organismes de développement, soit les reliques des grandes brousses d'antan. Ce sont les plus grandes aires de couverture végétale. Ces zones sont grignotées par les champs. Les animaux traversent ou séjournent dans l'unité pour exploiter les pâturages qui sont riches et diversifiés. Les sols sont pratiquement les mêmes que ceux de l'unité précédente. Ils sont moyennement profonds à profonds. Sur le plan des aménagements, certaines zones ont été enrichies par des plantations d'arbres tandis que des pratiques de régénération naturelle assistée sont de plus en plus développées au niveau des jachères. Cette unité fournit le bois pour la préparation des aliments mais également le bois de service.

La cinquième unité de paysage est constituée par les bas-fonds, les plaines alluviales et les cordons ripicoles. C'est le domaine des sols hydromorphes à pseudogley, en association parfois avec les sols ferrugineux. Ce sont les sols les plus profonds. La végétation est constituée d'une savane arborée où dominent les espèces utilitaires comme le karité (*Vitellaria paradoxa*) et le raisinier (*Lannea microcarpa*). Des activités agro-pastorales sont développées sur cette unité. On trouve généralement des champs de sorgho ou quelquefois de riz tandis que les berges des cours d'eau sont destinées à la pâture des animaux. C'est une zone d'épandage des eaux et de ravinement. Des ouvrages hydrauliques importants comme les *boulis* (ouvrage de forme ovale creusé dans le sol pour capter les eaux de pluie pour divers usages) sont construits dans cette unité (photo 2).



Photo 2 : vue de face d'un bouli à Ziga, janvier 2002 *A bouli at Ziga in January 2002*

A partir de ces unités principales, il a été distingué d'autres situations pour les années 1984 et 1996 qui sont soit une évolution par suite d'érosion soit de tentatives de reconstitution de certaines unités citées haut. Ce sont :

- les buttes dénudées et les zones nues (*zipella*) qui se caractérisent par une absence de couverture végétale ; les *zipella* signifient en langue locale *mooré* endroits blancs ou clairières. Ce sont généralement des sols ferrugineux dont l'horizon A a été totalement ou partiellement décapé par l'érosion. Sur ces *zipella* sont appliqués les zaï. Le zaï est une technique de récupération des sols dégradés ;
- les zones avec cordons pierreux qui sont des endroits où des sites anti-érosifs en pierres ont été implantés ;
- les zones de régénération végétale qui sont des zones où des actions d'agroforesterie et de régénération naturelle assistée (RNA) ont été menées. Ce sont des plantations d'essences ligneuses ou des ensemencements d'herbacées utilitaires. Ce sont la plupart des endroits où les cordons pierreux avaient été implantés il y a plus de 10 ans ;
- les zones érodées qui sont des terrains où s'observent des signes d'érosion (rigoles, début de ravinement).

4. RÉSULTATS

4.1. Etat des ressources à Ziga en 1952, 1984 et 1996

Les figures 4 à 6 présentent les cartes d'occupation du sol pour le terroir de Ziga, respectivement en 1952, 1984 et 1996 et le tableau 4 donne les superficies.

Tableau 4: Superficies des unités d'occupation du sol en 1952, en 1984 et en 1996 à Ziga.
Land use units and surfaces in 1952, 1984, and 1996 at Ziga

Type d'occupation	Superficie en 1952		Superficie en 1984		Superficie en 1996	
	en ha	en %	en ha	en %	en ha	en %
Buttes ou affleurements de cuirasse	520	11	655	13	607	12
Buttes dénudées et zones nues	0	0	213	5	59	1
Champs	2601	53	2894	59	2540	51
Zone avec cordons pierreux	0	0	239	4	157	3
Jachères	730	15	436	9	128	3
Zones érodées	97	2	334	7	617	13
Zones de régénération végétale	0	0	0	0	109	2
Savane arbustive claire	884	18	131	3	328	8
Savane arbustive dégradée	0	0	0	0	204	4
Formations ripicoles	70	1	0	0	188	3
Total	4902	100	4902	100	4902	100

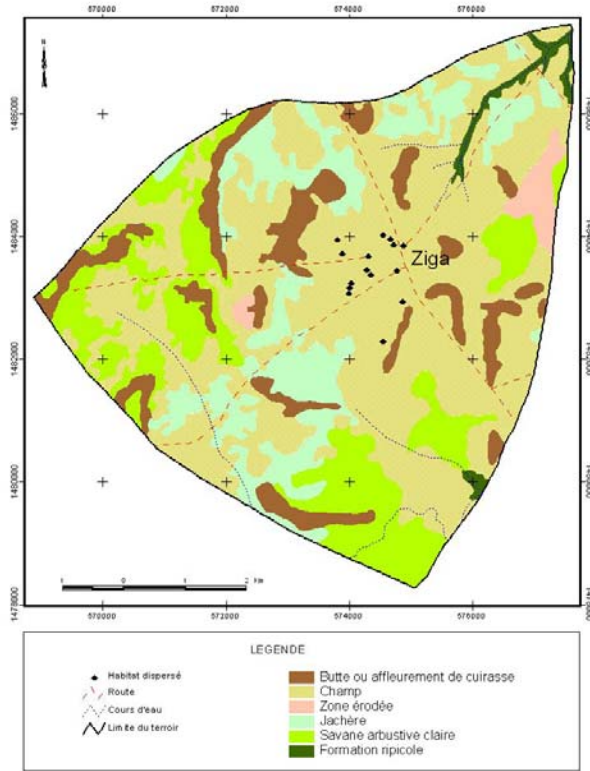


Figure 4: Carte d'occupation du sol de Ziga en 1952. *Land use map of Ziga in 1952*

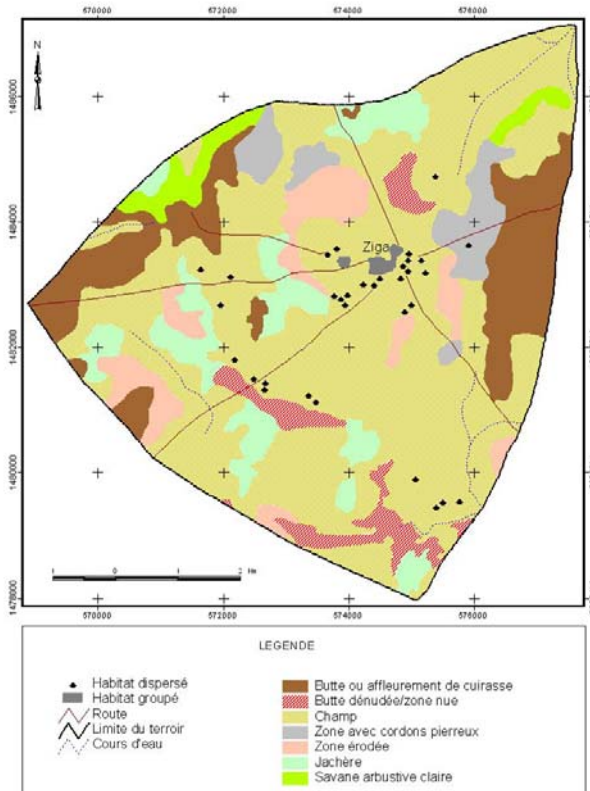


Figure 5: Carte d'occupation du sol de Ziga en 1984. *Land use map of Ziga in 1984*

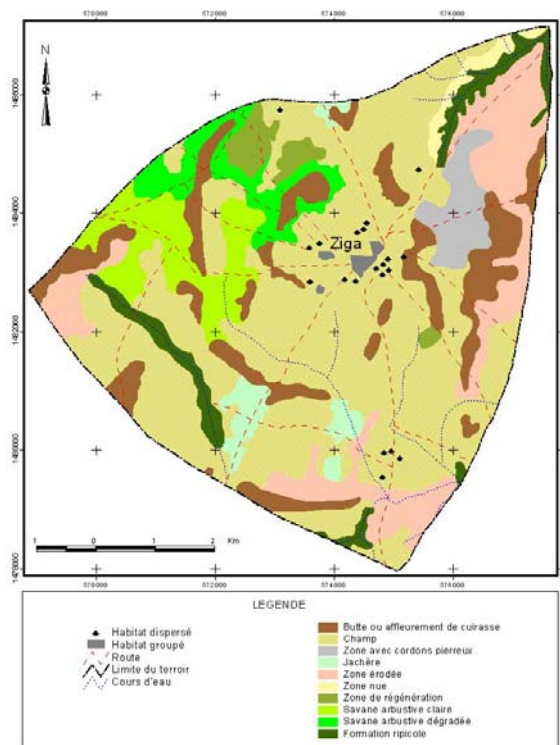


Figure 6: Carte d'occupation du sol de Ziga en 1996. *Land use map of Ziga in 1996*

La superficie totale du terroir étudié est de 4902 ha. La carte d'occupation des sols de 1952 montre une couverture végétale appréciable (figure 4). La savane arbustive claire occupait 884 ha soit 18% du terroir. Les formations ripicoles représentaient 70 ha. En fait, les surfaces avec couverture végétale étaient plus grandes car les buttes et les collines portaient une savane arbustive claire.

Les champs occupaient 2601 ha soit 53% du terroir. On peut dire que déjà en 1952, le terroir de Ziga présentait déjà des signes de saturation.

Les jachères étaient nombreuses et disséminées sur l'ensemble du terroir. Elles occupent 730 ha soit 15% du terroir. Les surfaces présentant des signes d'érosion (zones érodées) s'élevaient à 97 ha. Les aménagements comme les cordons pierreux étaient absents.

En 1984, les zones de couverture végétale se sont rétrécies. La savane arbustive claire est très réduite et les surfaces ne sont plus que de 131 ha soit 3% du terroir. Beaucoup de buttes ont perdu de leur végétation et se sont transformées en zones nues. Les buttes et les zones nues ont atteint 213 ha soit 5% de l'ensemble de la superficie du terroir.

Les champs ont augmenté par rapport à la période de 1952 atteignant 2894 ha soit 59% de la superficie de l'ensemble du terroir. Les jachères sont devenues moins nombreuses. Elles sont estimées à 436 ha soit une réduction de près de 300 ha par rapport à la période de 1952. Les zones érodées sont en 1984 de 334 ha. On note en 1984, l'apparition d'ouvrages anti-érosifs comme les cordons pierreux qui sont érigés sur 239 ha. En général, les lignes de cordons pierreux sont accompagnées soit d'un enherbement, soit d'une végétalisation (plantation d'arbustes) pour renforcer leur stabilité. Les formations ripicoles ont disparu, remplacées par des champs.

En 1996, les zones de végétation couvraient 328 ha pour la savane arbustive claire, et 204 ha pour la savane arbustive dégradée. Les formations ripicoles envahies par les champs réapparaissent et s'étendent en superficies. L'apparition de zones de régénération végétale aux anciens emplacements des cordons pierreux de 1984 traduit un impact positif de ces dispositifs de conservation des eaux et des sols sur la reconstitution de l'environnement. Elles sont de 109 ha. Les champs sont de 2540 ha en 1996 soit une régression de 12,4% par rapport à la période de 1984. Les zones érodées sont en augmentation passant de 334 ha en 1984 à 617 ha en 1996, soit 13% du terroir. Elles sont concentrées aux abords des axes de drainage et s'expliquent par la mise en culture de ces surfaces dans les années 1984 sans mesures anti-érosives.

4.2. Evolution de l'occupation du sol à Ziga

L'occupation du sol a connu des variations importantes entre les différentes dates. De 1952 à 1984, les surfaces cuirassées se sont accrues et ne se limitent pas aux seules collines et buttes mais ont gagné les glacis de pente supérieure

et même certains glacis localisés en position plus basse. En 1984, les surfaces cuirassées se sont accrues de 26% comparativement à la période de 1952. En fait, beaucoup de zones cuirassées visibles en 1984 étaient dans les années 1952 des lithosols sur cuirasse qui ont perdu leur mince couche arable par suite d'érosion et de la disparition de la végétation due à la sécheresse et aux activités de coupe du bois. Entre 1984 et 1996, les zones de cuirasses sont en diminution, à cause du travail de récupération des sols, entrepris par les paysans et les groupements de paysans avec le concours des ONG et des services étatiques. Ces zones sont, soit aménagées en zaï ou en cordons pierreux et sont semées en céréales, ou soit elles ont fait l'objet d'un travail d'agroforesterie ou d'enherbement en vue de renforcer leur utilisation comme zones pastorales. Les mêmes constats peuvent être faits avec les surfaces dénudées. Elles étaient insignifiantes en 1952 pour être prises en compte dans notre échelle d'observation. Les zones nues ont gagné des surfaces considérables (213 ha) dans les années 1984 conduisant des paysans à abandonner leurs champs en entier.

A partir de 1996, on observe une forte diminution des zipella dans le terroir de Ziga. Ces derniers ont fait l'objet d'un travail de récupération qui se poursuit de nos jours. Bien aménagés avec les cordons pierreux et les zaï, les zipella produisent très bien, surtout ceux qui ont des textures plus limoneuses.

Quant aux surfaces érodées, elles sont en augmentation constante. De 1952 à 1984, elles ont connu des variations très fortes. On constate un triplement de ces surfaces entre les deux dates passant de 97 ha à 334 ha. De même, elles ont augmenté entre 1984 et 1996. Ces zones érodées apparaissent le long des axes de drainage et sont dues à la mise en culture sans mesures de défense et de restauration des sols. Des zones érodées se retrouvent également au niveau de certains espaces traités anciennement par des diguettes en terre.

Les champs ont également connu des variations très grandes entre les différentes dates. Entre 1952 et 1984, les champs ont augmenté parallèlement à l'augmentation de la population. L'accroissement est de 12% en moyenne entre 1952 et 1984. Mais cet accroissement des surfaces cultivées paraît modeste au regard de la taille de la population.

Une explication à ce constat est que certaines familles ont émigré dans les années 1980 vers les régions du Burkina plus nanties sur le plan des ressources naturelles (régions de Kouka et du Sourou) et vers la Côte d'Ivoire. De 1984 à 1996, les superficies consacrées aux champs ont diminué, passant de 2894 ha à 2540 ha. Cela constitue une réduction des surfaces cultivées de 12%. On peut émettre deux hypothèses pour cet état de fait. Premièrement, il est logique de penser que les jachères ont été remises en culture, car dans le même temps, elles sont passées de 434 ha à 128 ha. Deuxièmement, avec l'utilisation des techniques de CES et d'intensification comme le compost, les rendements se sont améliorés.

La végétation est l'indicateur le plus pertinent pour évaluer les changements entre plusieurs dates dans la région du Yatenga. Comme les autres aspects déjà évoqués ci-dessus, la végétation a connu d'importantes perturbations liées aux sécheresses récurrentes et aux activités humaines. De 1952 à 1984, le taux de perte moyen de la savane arbustive claire peut être évalué à 23,5 ha annuellement. En fait, plus de trois quarts de la couverture végétale ont été affectés. Cette régression de la couverture végétale a entraîné la perte de centaines de pieds d'espèces ligneuses utilitaires comme *Vitellaria paradoxum*, *Adansonia digitata*, *Bombax costatum*, *Anogeissus leocarpus*, *Pterocarpus lucens*, et *Cassia siberiana*. Les espèces herbacées appréciées comme *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon gayanus* ainsi qu'une espèce utilitaire comme *Andropogon ascinodis* (utilisée dans la confection des toitures des habitations) ont été particulièrement affectées. Les herbacées indicatrices d'une baisse de la fertilité comme *Striga hermonthica*, *Loudetia togoensis*, *Tribulus terrestris* et *Eragrotis tremula* sont devenues les espèces les plus fréquemment rencontrées dans les champs. Ces différentes espèces ont été citées par les producteurs lors des échanges de validation de l'interprétation des photographies aériennes. Les formations ripicoles ont été transformées en champs dans les années 1980 car le risque d'inondation est devenu négligeable à cause des nombreuses sécheresses.

Une telle situation catastrophique sur une bonne partie du Yatenga, a amené les autorités gouvernementales du Burkina Faso, par l'intermédiaire des structures de recherche et de vulgarisation en collaboration avec le Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) à développer en partenariat un projet pour d'intensification les systèmes de production et de préservation de l'environnement. Ce projet R/D (Recherche/Développement) a duré de 1984 à 1992 et a concerné plusieurs terroirs dont Ziga. Les reboisements et les mises en défens ont permis de réhabiliter une partie de la savane d'où l'augmentation des superficies constatées en 1996.

5. DISCUSSION

La dynamique des écosystèmes est en relation directe avec les perturbations climatiques et les causes anthropiques (Mainguet, 2003). En effet, les sécheresses successives ont eu des conséquences sur la végétation ligneuse, en particulier sur les espèces qui ne supportent pas un manque d'eau prolongé, d'où leur disparition (Marchal, 1983). La régression de la végétation a privé les sols d'une couverture protectrice, d'où leur exposition aux agents de l'érosion que sont le ruissellement et les vents. Les causes anthropiques sont liées aux activités agro-pastorales à savoir la mise en culture de zones fragilisées et la réduction de la pratique des jachères, ce qui empêche les sols de se reconstituer (Totté, 1996). Le surpâturage et le piétinement des animaux participent à la dégradation des sols détruisant la couverture

ligneuse et herbacée, exposant ainsi les sols aux effets de l'érosion. Il s'en suit l'apparition de plages de sols dénudés ou *zipella*.

Dans les années 1980, les conditions pluviométriques se sont dégradées dans le Yatenga. Les grandes sécheresses des années 1973, 1983 et 1984 ont laissé des traces indélébiles dans la mémoire collective des populations de la région. Les signes les plus visibles de la dégradation des sols ont été l'apparition des zones nues ou *zipella*. Les *zipella* apparaissent lorsque les champs, devenus improductifs par suite d'érosion et d'une diminution de la fertilité, sont abandonnés sans mesures de conservation des eaux et des sols. Ces plages dénudées ou *zipella* ont été qualifiées de « lèpre du Yatenga » par Marchal (1983). Le développement des plages nues a été étudié en zone soudanienne du Burkina Faso par Puech et al. (2000). Zombré (2003) qualifie le processus d'apparition des *zipella*, de *zipellisation*. Les *zipella* ont engendré une perte en terres cultivables. Une étude comparative d'un bassin versant du Plateau Central du Burkina Faso et utilisant des photographies aériennes a mis en évidence une perte de surfaces cultivables atteignant 20 à 30% sur une période de trente années (Duivenbooden *et al.*, 1999).

Il a été mentionné une forte mise en culture des bas-fonds et des axes de drainage en 1984. Plusieurs raisons expliquent la mise en culture des zones topographiques basses en 1984. Il y a d'abord le fait que les zones situées en position basse dans la toposéquence (bas-fonds, dépressions) portent les sols argilo-sableux et argileux qui sont régulièrement enrichis par les apports d'alluvions et de colluvions. Elles sont donc propices aux cultures. Les risques d'inondation et d'excès d'humidité permanente d'antan, se sont estompés ou sont minimisés suite à la dégradation du climat depuis les sécheresses des années 1970 et 1980 pendant que les conditions du milieu se sont dégradées sur les plus hauts reliefs (déforestation, cuirasses affleurantes). L'autre fait est l'inadéquation des plus hauts reliefs (tables, buttes, et collines cuirassées) pour les activités de production céréalière. Ces unités ont le désavantage d'une dégradation continue de leurs couvertures végétales et pédologiques (Boulet, 1973). Les sols sont squelettiques et cuirassés. Par conséquent, l'infiltration de l'eau est faible et l'humidité n'y est pas maintenue, le ruissellement est intense. Ils sont par conséquent inutilisables pour la mise en cultures céréalières en l'état d'où leur exclusion agricole.

Un des faits marquants dans la dynamique de l'occupation est la diminution des zones de couverture végétale en 1984. Cette régression des zones à couverture végétale, est le fait combiné de la coupe du bois de chauffe par suite de la pression démographique et des mises en culture aux dépens des jachères. D'autre part, le surpâturage a entraîné un appauvrissement progressif des pâturages avec une diminution des espèces appréciées et l'apparition d'espèces peu appréciées comme *Loudetia togoensis*. (Sawadogo, 2001). En effet, les passages répétés des animaux aux mêmes endroits entraînent une surexploitation de la biomasse herbacée qui constitue l'essentiel du fourrage ; de même le piétinement a des conséquences néfastes sur les sols qui se tassent et s'encroûtent. La diminution des jachères a conduit à un épuisement rapide des sols à la suite de l'agriculture minière sans apports conséquents de fertilisants. Les travaux de Marchal (1983) et de Dao (1996) faisaient ressortir un taux d'occupation de l'espace compris entre 50 et 75% dans le Yatenga, ce qui signifie une saturation du terroir. Aussi, dans le document cadre du Plan d'Ajustement du Secteur Agricole du Burkina (PASA), il est mentionné que neuf provinces du Plateau Central dont le Yatenga n'ont plus de réserves foncières (MARA, 1996).

Toutefois, il convient de nuancer toutes ces évolutions constatées, car il y a des limites objectives liées à la qualité des photographies aériennes. En effet, les photographies aériennes de 1984 ainsi que quelques photos de 1996 étaient de qualité moyenne ; ce qui rend l'interprétation délicate. Il y a une confusion possible entre les jachères récentes et les champs de culture. La disparition des formations ripicoles en 1984 pourrait être due à la sécheresse successive des années 1983 et 1984 mais il n'est pas exclu que la mauvaise qualité des photographies de 1984 ait conduit à des erreurs d'interprétation.

La planète terre connaît de nos jours, un phénomène de changement climatique correspondant à une modification dans le temps du climat global ou au niveau des divers climats régionaux (FFEM, 2004). Le Burkina Faso n'échappe pas à cette réalité. Les principaux effets du changement climatique projetés au Burkina Faso s'observeront aussi bien au niveau de la température que de la pluviométrie. En ce qui concerne la température, elle aura tendance à s'augmenter de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à l'horizon 2050 (PANA, 2006). On assistera en même temps à des mois de décembre, janvier, août et septembre plus chauds que d'habitude. A titre illustratif, Ouagadougou connaîtra en avril une température moyenne de 33°C en 2025 et de 34°C en 2050 alors que de 1961 à 1990, la ville a enregistré une moyenne de 32,5°C dans le même mois.

Quant à la pluviométrie, elle sera marquée par une diminution de l'ordre de -3,4% en 2025 et de 7,3% en 2050. Il sera observé dans le même temps une baisse de la pluviométrie dans les mois de juillet, août et septembre de 20 à 30% et une augmentation de 60 à 80% de la pluviométrie dans le mois de novembre sans que cela n'augmente les quantités totales tombées.

Face aux effets consécutifs au changement climatique, les producteurs ont déjà réagi à travers des stratégies d'adaptation notamment en développant des techniques de conservation des eaux et des sols telles que le zaï, les diguettes en pierres, les demi-lunes ainsi que les pratiques d'agroforesterie et de régénération naturelle assistée. Des ouvrages de collecte des eaux tels que les *boulis* améliorés se sont multipliés pour permettre l'abreuvement du cheptel, la production maraîchère à petite échelle et les pépinières pour la production des plants pour les reboisements. C'est dans un tel contexte que les actions de CES ont commencé dans les années 1980 pour s'intensifier au début des années 1990

suite à la prise de conscience des différents acteurs sur les effets dévastateurs de la dégradation des sols (Maatman et al., 1998).

Une dynamique positive a été observée à partir de 1996. Elle se caractérise par deux aspects essentiels qui sont, l'intensification des pratiques de conservation des eaux et des sols avec toute la panoplie de techniques vulgarisées (diguettes, cordons pierreux, digues filtrantes, zaï, demi-lunes, tapis herbacés, agroforesterie etc.) et la reconstitution des surfaces végétalisées.

Il a été constaté de manière générale qu'en 1996, les superficies cultivées n'ont pas augmenté dans le terroir ; elles ont connu plutôt une petite diminution alors que la population s'est accrue. On pourrait donc penser à un début d'intensification. Il y a une remise en culture de nos jours des zones jadis abandonnées dans les années 80. La raison principale qui explique cette remise en culture des *zipella* et des glacis de pente moyenne ou supérieure est l'utilisation de plus en plus généralisée par les paysans des techniques de conservation des eaux et sols (aménagements en cordons pierreux, digues filtrantes, zaï et demi-lunes) et de la fumure.

Un autre aspect positif mis en exergue dans cette étude est la reconstitution de surfaces de végétation dans les champs. Elle est la conséquence directe des activités de CES développées ci-dessus notamment de la récupération des *zipella* et de l'amélioration des zones de pâturages.

Différentes études ont indiqué que la reprise de la végétation est constatée au niveau de plusieurs terroirs du Yatenga où les aménagements ont joué un rôle positif. Totté (1998) en utilisant des images satellitaires pour évaluer les changements dans l'occupation du sol dans le nord du Yatenga entre 1987 et 1993 a trouvé que la couverture végétale s'est améliorée sur pratiquement tous les supports morpho-pédologiques. Les sols non végétalisés représentaient 51% en 1987 et 38% en 1993 ; ce qui signifie une progression de la végétation assez substantielle en l'espace de 6 ans. L'amélioration est surtout visible sur les sols « brillants » c'est-à-dire les couches argileuses blanches en surface des *zipella* et aussi sur les sols gravillonnaires (Totté, 1998). Dans le nord du Yatenga, les surfaces couvertes par la végétation passent de 43% à 57% en l'espace de 6 ans ; ce qui est appréciable. La reprise de la végétation dans le sud du Yatenga est beaucoup plus importante que dans le Nord. En effet, Belemviré (2003) puis Sanou *et al.* (2003) et Reij et Thombiano (2003) ont indiqué une reprise importante de la végétation dans les terroirs de Ziga, Somyaga et Ranawa en utilisant des images satellites de 1968 et 2002 et en interprétant des photographies aériennes récentes. Ces auteurs ont en outre, réalisé des transects représentatifs dans ces différentes localités et les constats se rejoignent. Selon Belemviré (2003), sur sites aménagés en CES, la densité des ligneux est de 126 pieds/ha tandis qu'elle est de 93 pieds/ha sur sites non aménagés.

Nonobstant tous ces aspects positifs, des préoccupations demeurent. C'est le recul de la pratique des jachères au niveau des agriculteurs au milieu des années 90. En effet, beaucoup de champs ne peuvent plus changer de place car le terroir est déjà très saturé ; ce qui explique logiquement la diminution des jachères observée dans les terroirs (Sawadogo, 2006). Ce constat impose donc une nouvelle vision, celle de l'intensification de l'agriculture. Une autre remarque est que les zones situées aux abords des cours d'eau et des axes de drainage sont désormais touchées par l'érosion comme c'est le cas dans le terroir de Ziga. Il est impératif de stopper le phénomène de dégradation des sols en ces endroits par la construction de digues filtrantes au niveau des zones d'épandage des eaux.

6. CONCLUSION

Cette étude dans le Yatenga, a montré l'intérêt des outils de télédétection et de la photo-interprétation dans l'analyse de la dynamique des ressources naturelles. L'occupation du sol a considérablement évolué entre les différentes dates examinées. Les constats alarmants de la dégradation du couvert végétal entre 1952 et 1984 font place à une reconstitution des îlots de végétation à partir des années 1990 dans certaines zones. Dans les champs aménagés avec des diguettes en pierres et en zaï, la végétation se reconstitue progressivement. Par contre, les zones de pâturages continuent de se dégrader. Le constat le plus encourageant est la récupération des *zipella* qui se transforment progressivement en champs de culture ou en zones herbeuses augmentant la disponibilité fourragère des terroirs.

Il reste que toute cette dynamique ne peut être soutenue sans une organisation efficace des producteurs eux-mêmes en vue de gérer leurs ressources. L'équilibre écologique reste encore fragile car certains groupes défavorisés dans le terroir continuent de couper les arbres pour la vente du bois afin de se procurer des revenus pour l'achat des céréales. Nous pensons que l'élaboration de plans locaux de développement où tous les groupes d'intérêt (agriculteurs, pasteurs, artisans, groupes marginalisés etc.) sont représentés constitue un véritable gage de succès dans la gestion des ressources naturelles. Dans ces cas de figures, les services techniques de vulgarisation et les ONG seront des facilitateurs pour la mise en œuvre des consensus arrêtés de commun accord entre tous les intervenants. Les appuis devront permettre l'équipement des producteurs en matériel de réalisation des activités CES et des fosses fumières pour préserver la fertilité des terres.

Références

- Belemviré, A. (2003) Impact de la Conservation de l'Eau et des Sols sur la régénération naturelle assistée. Rapport de travail N°1. 42p.
- Bock, L., Lacroix, D. (2004). Improving the productivity and sustainability of crops systems on fragile slopes in the highlands of south China and Thailand.
- Boulet, R. (1973) Etude pédologique de la Haute-Volta, région centre nord + carte pédologique de reconnaissance de la république de Haute-Volta au 1/500 000. Carrefours, Paris, France 160 p.
- Bunasols, (1992). Etude pédologique des provinces du Yatenga et du Passoré. Ouagadougou, 46 pages + annexes.
- Dao, V. (1996) Contribution à l'analyse des stratégies paysannes de production agro-sylvo-pastorale: approche cartographique du milieu physique et géographique du terroir de Lankoé (Sourou) INERA - ASP/Nord-Ouest, 30 p.
- Diouf, A. et Lambin, E.F. (2001) Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48 : 129-148.
- Dugué, P. (1989) Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de cultures en soudano-sahélienne : le cas du Yatenga. Thèse de doctorat. DSA/CIRAD n°9. 350p.
- Duivenbooden, N. V., Groten, S. & Sohero, A. (Eds.) (1999) Les systèmes d'aide à la décision basés sur les systèmes d'information géographiques et les modèles bio-économiques' Compte rendu d'atelier international ICRISAT, INERA, ITC, 6 – 14 Avril 1999, Ouahigouya, Burkina Faso.
- Eklundh, L., Olsson, L. (2003) Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999. *Geophysical Research Letters*, 30, 10.1029/2002 GL016772.
- Elliott, D.C. (1996) A conceptual framework for geoenvironmental indicators. In : *Geoindicators – Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Berger, A.R. et Iams, W.J. eds., A.A. Balkema, Rotterdam : 337-349.
- FFEM (2004) Fonds Français pour l'Environnement Mondial ; 2^e édition du guide des mécanismes de projets prévus par le protocole de Kyoto ; Mission Interministérielle de l'effet de Serre. Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, République Française, Novembre 2004.
- Foody, G.M. (2003) Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: an example focused on the NDVI-rainfall relationship. *Remote Sensing of Environment*, 88: 283-293.
- Gommes, R. (1998) Some aspects of climate variability and food security in the sub-Saharan Africa. In : *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*. Demaree, G., Alexandre, J. et De Dapper, M. eds. Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 655-673.
- Gonzalez, P. (2001) Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Climate Research*, 17 : 217-228.
- 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 : *La télédétection en Francophonie: analyse critique et perspectives*. Dubois, J.M.M., Caloz, R. et Gagnon, P. eds., AUPELF-UREF, 141-151.
- Guinko, S. (1984) Végétation de la Haute Volta. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III, 394p.
- Hess, T., Stephens, W. et Thomas, G. (1996). Modelling NDVI from decadal rainfall data in the North East arid zone of Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 48 : 249-261.
- 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 : 135-148.
- 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: *Les Journées des Géographes Belges, Tome 1: Evaluer la capacité du milieu*, Schmitz, S. et Meert, H. (eds.), Editions BEVAS/SOBEG: 19-24.
- Hountondji, Y.C., Ozer, P. et Nicolas, J. (2007) Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger », *Cybergeogéographie, Environnement, Nature, Paysage*, article 291, mis en ligne le 10 novembre 2004, modifié le 03 juillet 2007. URL : <http://www.cybergeogeu/index2761.html>. Consulté le 21 avril 2008.
- Hulme, M. (1996) Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical Research Letters*, 23 : 61-64.
- Hulme, M. (2001) Climatic perspectives on Sahelian dessication: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11 : 19-29.
- INSD (1996) Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso du 10 au 20 Décembre 1996. Résultats Définitifs, Edition de 1998. BURKINA FASO. 46p.
- L'Hôte, T., Mahé, G., Somé, B. et Triboulet, J.P. (2002) Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000 ; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal*, 47: 563-572.
- Lambin, E. (1988) Apport de la télédétection satellitaire pour l'étude des systèmes agraires et la gestion des terroirs en Afrique occidentale. Exemple au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 239p.
- Maatman, A., Sawadogo, H., Scheigman, C., and Ouédraogo, A. (1998) Application of zaï and rock bunds in the northwest of Burkina Faso: study of its impact on household level by using a stochastic linear programming model. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 46: 123-136.
- Mainguet, M. (2003) *Les Pays Secs, Environnement et Développement* - éd Ellipses, collection Carrefours, Paris, France 160 p.
- MARA (1996) Etude de l'approvisionnement et la distribution des intrants et des équipements agricoles. Contrat cadre PASA. Rapport définitif. 130p.

- Marchal, J.,Y. (1983) Société, espace et désertification dans le Yatenga (Haute Volta): La dynamique de l'espace rural soudano-sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM, 167, 873p.
- Mietton, M. (1988) Dynamique de l'interface lithosphère –atmosphère au Burkina Faso. L'érosion en zone de savane. EDITEC 14, Caen, France, 511p.
- Nonguierma, A. (2005) Evaluation et suivi par télédétection des zones humides au Sahel. Centre Agrhymet, CILSS, 15p.
- PANA (2006) Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques. Les pratiques d'adaptation au changement climatique au Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso, 72p.
- Puech, C., Bechler, M. et Mietton, M. (2000) Apport de la télédétection à l'étude des plaques de sols nus en zone soudanienne (Burkina Faso). International Journal of Remote Sensing, Vol. 21, pp. 221-235.
- Reij, C., Thombiano, T. (2003) Développement rural et Environnement au Burkina Faso : La réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie nord du Plateau Central entre 1980 et 2001. Rapport de synthèse, GTZ/PATECORE, USAID, 82p.
- Sanou, P., Sanon, O., Da, S.A. (2003) L'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols dans 12 villages d'étude du Plateau central du Burkina Faso. Rapport de travail N° 10. 48p.
- Sawadogo, H. (2001) Gestion de la matière organique et récupération des potentialités de sols dégradés en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso. Mémoire de DEA. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 87p.
- Sawadogo, H. (2006) Fertilisation organique et phosphatée en système de culture zaï en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso. Thèse de doctorat. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 232p.
- Symeonakis, E. and Drake, N. (2004) Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa. International Journal of Remote Sensing, 25: 573-592.
- Totté, M. (1996) Systèmes agraires, problématique de l'intensification agricole et télédétection. Exemples au Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique 349p.
- Totté, M. (1998) Intérêt et conditions d'appropriation pour les projets de développement. Partie 2: Mesures d'impact des aménagements et des changements d'occupation du sol- Exemples au Yatenga (Burkina Faso). In COTA, bulletin N° 78.
- Zombré, N.P. (2003) Les sols très dégradés (Zipella) du Centre Nord du Burkina Faso : Dynamique, Caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou, 374p.
- Zombré, N.P. (2006) Evolution de l'occupation des terres et localisation des sols nus dans le Centre Nord du Burkina Faso. Télédétection, 2006, vol. 5, n°4, pp 285-297.