

## **DYNAMIQUE DES UNITÉS DE VÉGÉTATION ET RÉPONSE DES ESPÈCES LIGNEUSES A LA DÉGRADATION DES TERRES EN ZONE SUB-SAHÉLIENNE DU BURKINA FASO**

**Abel KADÉBA<sup>1,5\*</sup>, François Wenemi KAGAMBÈGA<sup>2,5</sup>,  
Soungalo SOULAMA<sup>2,5</sup>, Marco SCHMIDT<sup>3,4</sup>,  
Adjima THIOMBIANO<sup>5</sup> et Joseph Issaka BOUSSIM<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Université de Dédougou, Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, BP 176 Dédougou, Burkina Faso*

<sup>2</sup> *Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Département Environnement et Forêts, 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso*

<sup>3</sup> *Senckenberg Biodiversity and Climate Research Centre, Data and Modelling Centre, Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt, Germany*

<sup>4</sup> *Palmengarten der Stadt Frankfurt, Scientific Service, Siesmayerstr. 61, 60326 Frankfurt, Germany*

<sup>5</sup> *Université Joseph Ki-Zerbo, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso*

---

\* Correspondance, e-mail : [kadebab@yahoo.fr](mailto:kadebab@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

L'environnement naturel est en plein changement sous l'influence du climat et des pressions anthropiques en témoignent la dégradation accélérée des terres et des écosystèmes. L'objectif de cette étude est d'examiner l'évolution des unités de végétation ainsi que l'impact des modifications du couvert végétal sur la diversité et la structure des espèces ligneuses dans le bassin versant de Faga en zone sub-sahélienne du Burkina Faso. Pour ce faire, des images satellitaires analysées via les logiciels Erdas Imagine 9.2 et ArcGIS 10.1 ont été associées à des mesures de terrain réalisées suivant un gradient de dégradation des terres. Six (06) classes d'unités de végétation ont été identifiées et cartographiées (les zones cultivées, les zones nues, les cordons ripicoles dont les superficies augmentent, les steppes arbustives, les steppes herbeuses et les plans d'eau dont les superficies décroissent). Les données de terrain ont été collectées en appliquant la méthode de Braun-Blanquet pour la réalisation des relevés de 1000 m<sup>2</sup>. Les résultats indiquent que la diversité et la structure diamétrale des espèces ligneuses sont fonctions du stade de dégradation des glaciés. Ainsi, un total de vingt-deux (22) espèces ligneuses ont

été recensées dont dix-neuf (19) sur les glacis peu dégradés, dix (10) sur les glacis moyennement dégradés et une (01) sur les glacis dégradés. *Balanites aegyptiaca* est la seule espèce ligneuse présente dans tous les stades de dégradation du glacis. Elle pourrait être recommandée pour réhabiliter les glacis dégradés du Sahel en réponse à la désertification accélérée dans le sub-Sahel du Burkina Faso.

**Mots-clés :** *facteurs de dégradation, végétation, diversité structurale, Burkina Faso.*

## ABSTRACT

### **Vegetation units dynamics and woody species response to the land degradation in the sub-Saharan zone of Burkina Faso**

The natural environment is changing under the influence of climate and human pressures. This accelerates land and ecosystems degradation. The objective of this study is to examine the evolution of vegetation units as well as the impact of changes in vegetation cover on the diversity and structure of woody species in the Faga catchment located in the sub-Saharan zone of Burkina Faso. Satellite images were used and analyzed via the Erdas Imagine 9.2 and the ArcGIS 10.1 softwares. Field investigations were performed according to the degradation gradient stage by using the Braun-Blanquet method. The size of the plots was 50 m x 20 m. A total of six (06) vegetation units classes were identified and mapped: cultivated lands, bare lands, low land which all spatially increased. Steppe savannahs lands, grasslands and water layers which all spatially decreased. Other land cover classes (roads and building), were also identified in the study areas. The woody species structures were generally stable in all the degradation stage of the glacis. Plant diversity and species densities are variables depending on the glacis degradation stage. Twenty-two woody species (19, 10 and 1 respectively on degraded glacis, moderately degraded glacis and slightly degraded glacis) were recorded. *Balanites aegyptiaca* is the alone woody species present in all the glacis. It could be recommended to rehabilitate degraded glacis in the Sahel in response to combat desertification in the sub-Saharan of Burkina Faso.

**Keywords :** *degradation factors, vegetation, structural diversity, Burkina Faso.*

## I - INTRODUCTION

L'analyse de la mutation des habitats est nécessaire et primordiale pour un suivi et pour une gestion durable des ressources floristiques et fauniques. Les transformations des écosystèmes naturels se traduisent essentiellement par la

diminution de la superficie des formations naturelles, l'extension des champs au détriment des forêts, la disparition de la jachère et le surpâturage qui dégradent les ressources naturelles encore disponibles [1 - 3]. Dans les zones arides et semi-arides, l'agriculture et l'élevage constituent les activités prédominantes [4]. Les principaux facteurs de dégradation des unités de végétation sont les activités anthropiques (agriculture extensive, déforestation, surpâturage, etc.), le climat, la géomorphologie et le sol. Facteur naturel, la géomorphologie constitue un filtre de la diversité floristique [5]. Au sein d'une même unité géomorphologique, la variation de la couverture végétale est perceptible [6, 7]. Ce qui entraîne la modification des conditions écologiques stationnelles et de la diversité floristique. La variation de la couverture végétale peut être aussi expliquée par plusieurs facteurs dont les activités anthropiques, les aléas climatiques et environnementaux [8]. Ces facteurs contribuent à la modification de la structure des espèces [9, 10]. Dans le contexte de dégradation accélérée des terres, des mesures méritent d'être prises pour leur exploitation durable à travers l'aménagement des écosystèmes dans les zones arides et semi-arides. Dans cette lancée, des études analysant la disponibilité des ressources naturelles suivant le type d'utilisation des terres existent [11 -14]. Celles qui s'intéressent à la dynamique des espèces suivant le stade de dégradation des terres basé sur le taux de la couverture végétale sont aussi nombreuses [10, 14].

Mais ces cas d'études restent insuffisants en Afrique de l'Ouest, en général et au Burkina Faso, en particulier. Pourtant, cette zone d'Afrique connaît une surexploitation des ressources naturelles due à l'augmentation exponentielle de la population. Elle est aussi la zone la plus vulnérable aux modifications dues aux aléas climatiques [15]. Dans un contexte de changements climatiques et de pressions, il devient urgent d'évaluer les effets de l'utilisation des terres sur la dynamique des unités de végétation. Pour ce faire, les analyses diachroniques à travers la télédétection et les systèmes d'informations géographiques se présentent comme des outils efficaces pour appréhender les mutations des unités de végétation [4, 16, 17]. Dans la zone sahélienne du Burkina Faso où les effets du pâturage sont difficilement séparables de ceux de l'agriculture [6], les glacis se caractérisent par des faciès spatiaux variables. Trois types de faciès spatiaux basés sur le taux de la couverture végétale y ont été définis et caractérisés [6]. Ce sont les glacis très dégradés (couverture végétale inférieure à 10 %), les glacis moyennement dégradés (couverture végétale comprise entre 10 % et 30 %) et les glacis peu dégradés (couverture végétale supérieure à 30 %). L'objectif général de cette étude est d'examiner l'évolution des unités de végétation ainsi que la diversité et la structure des espèces ligneuses dans le but de proposer un chemin d'aménagement. Les objectifs spécifiques poursuivis sont : (i) d'examiner l'évolution des unités de

végétation dans le bassin versant de Faga entre 1992 et 2010, (ii) d'appréhender la diversité et la structure des espèces ligneuses dans les stades de dégradation et enfin (ii) de rechercher les espèces ligneuses qui peuvent être proposées dans des campagnes de reboisement dans la zone. Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été testées: (H1) les unités de végétation du bassin versant de Faga sont en dégradation; (H2) la diversité et la structure des espèces ligneuses sont fonction du stade de dégradation du glaciaire; (H3) il existe des espèces ligneuses qui se développent dans tous les stades de dégradation des glaciaires sub-sahariens.

## **II - MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **II-1. Zone d'étude**

La zone d'étude (*Figure 1*) est le bassin versant de Faga localisé dans la zone phytogéographique sub-saharienne [18]. Le bassin versant de Faga appartient à la province de Namentenga ayant pour chef-lieu Boulsa. Avec une superficie d'environ 547 400 hectares, il est localisé entre les latitudes 13°10' et 13°20' N et les longitudes 0°40' et 0°30' W. Le bassin versant de Faga est sous un climat tropical de type soudano-sahélien avec alternance d'une saison humide de quatre (04) mois (juin-septembre) et d'une saison sèche de huit (08) mois (octobre-mai). La moyenne pluviométrique maximale est de 577, 34 mm durant la période 1985-2014. Comparativement aux travaux de certains auteurs [19], qui ont trouvé 750 mm, cette moyenne est en baisse. La zone d'étude se caractérise par de longs glaciaires (pentes d'environ 2 %) qui se raccordent insensiblement à de vastes dépressions. La végétation est dominée par les savanes arbustives, les savanes arborées et les formations ripicoles. Le réseau hydrographique est formé par le cours d'eau Gouaya d'orientation générale Ouest-Est et occupant l'extrême Nord du bassin. La population de la zone se compose majoritairement de Mossi, de Fulani et de Gourmantché. Outre l'élevage et l'agriculture, les populations pratiquent également l'orpaillage, l'artisanat, la cueillette et l'exploitation du bois [20]. L'exploitation de l'or, qu'elle soit industrielle ou traditionnelle, occasionne une fouille et un retournement des couches superficielles de sol à l'origine d'une destruction de la végétation ligneuse [21]. Cette population est aussi spécialisée dans l'artisanat du bois et des peaux pour la vente au marché. De l'exploitation des ressources végétales, on assiste à la confection d'outils, de meubles etc., et à la fabrication des objets d'usage courant pour les besoins de ménage [8].

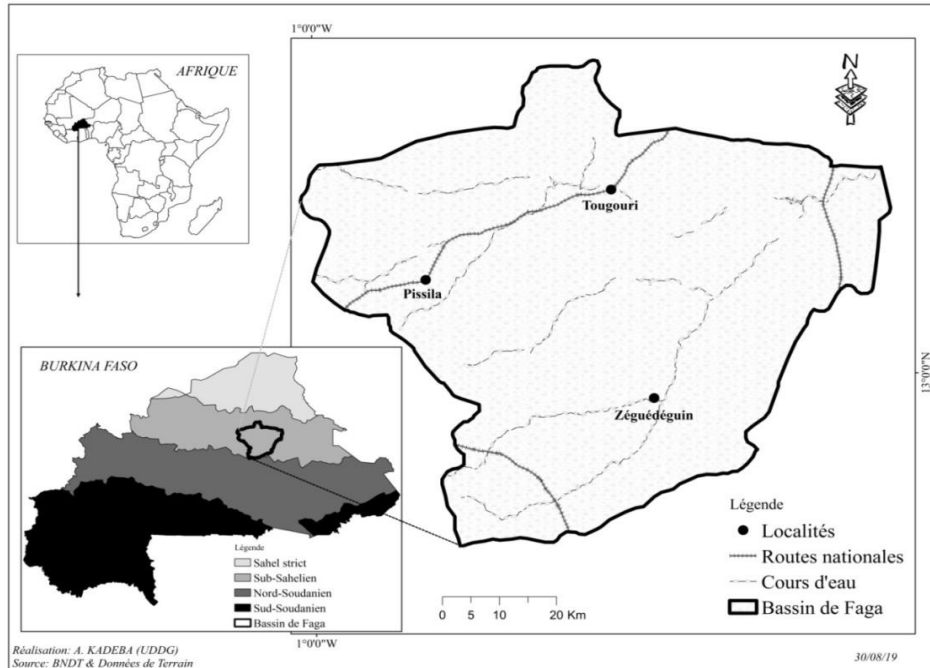


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## II-2. Méthode d'étude de la dynamique des unités de végétation

### II-2-1. Caractéristiques et choix des images satellitaires

Des images Landsat multi-temporelles de type TM (Thematic Mapper) ont été utilisées pour cette étude (*Tableau 1*). Le choix de ces images est dû au fait qu'elles sont caractérisées par une haute fréquence de surveillance couvrant de larges zones géographiques et de plus, elles sont gratuites. Les dates indiquées s'expliquent par le fait que ce sont ces images qui sont disponibles au moment des travaux. De plus, les variations des unités de végétation sont supposées significatives et quantifiables durant ces périodes.

**Tableau 1** : Caractéristiques des images utilisées pour les analyses diachroniques

Satellites	Date d'acquisition	Bandes spectrales	Résolution (m)	Path	Row
Landsat-4 TM	20-oct-92	1-7 bandes	30	195	51
Landsat-4 TM	18-oct-92	1-7 bandes	30	194	50
Landsat-7 TM	21-oct-02	1-7 bandes	30	195	51
Landsat-7 TM	17-oct-02	1-7 bandes	30	194	51
Landsat-5 TM	29-oct-10	1-7 bandes	30	194	51
Landsat-5 TM	04-oct-10	1-7 bandes	30	195	51

### ***II-2-2. Analyse des images satellitaires***

Les logiciels Erdas Imagine 9.2 et ArcGIS.10 ont été utilisés pour analyser les images satellitaires. Les images satellitaires des années 1992, 2002 et 2010 ont été analysées via la méthode de classification non-supervisée par maximum de vraisemblance [22, 23]. Cette classification a permis d'obtenir au préalable 16 classes d'unités de végétation. Ensuite, dans une deuxième étape, les 16 classes thématiques obtenues, offrant trop de détails, ont été regroupées de manière visuelle en fonction du type d'occupation du sol. Sept (07) classes d'unités de végétation ont ainsi été obtenues par fusion des classes semblables. Les statistiques ont été d'abord générées en utilisant Erdas Imagine puis les cartes ont été élaborées à l'aide du logiciel ArcGIS.10. Les résultats ont été ensuite validés sur le terrain. La procédure proposée par [24], adoptée par de nombreux auteurs a été utilisée pour la validation. Trente (30) points ont été sélectionnés de façon randomisée pour chaque classe d'unités de végétation. Les différentes classes d'unités de végétation ont été alors comparées avec celles sur les cartes élaborées. Ainsi, le sens d'évolution (positive ou négative) a été apprécié pour chaque classe d'unité de végétation. Des matrices de confusions ou matrices d'erreurs ont été établies afin de se rendre compte de l'exactitude de la classification effectuée [24]. Les indices d'exactitude (IE) et de Kappa (IK) ont été calculés pour chaque image. La qualité des indices a été appréciée à travers l'échelle de classification proposée par [25] qui se présente comme suit : Excellent : 1-81 %; Bon : 80-61%; Moyen : 60-41%; Faible : 40-21 %; Négligeable : 20-0 %; Mauvais : < 0 %.

### **II-3. Méthode d'étude de la diversité et de la structure des espèces ligneuses**

En vue d'examiner la diversité ligneuse et la structure des différents glacis, des mesures dendrométriques ont été effectuées courant mi-août à septembre 2012 sur des glacis très dégradés, des glacis moyennement dégradés et des glacis peu dégradés. Les données ont été récoltées suivant un échantillonnage stratifié et aléatoire. Le critère de stratification est le type de glacis basé sur le taux de couvert végétal. La taille des placeaux a été de 50 m x 20 m pour les individus adultes. Dans chaque placette, tous les individus d'espèces ligneuses dont le diamètre à 20 cm du sol est supérieur à 5 cm ont été mesurés. Au total 104 relevés dendrométriques ont été faits dont 18 relevés dendrométriques par stade de dégradation du glacis. Au cours de chaque relevé, les paramètres récoltés sont: la liste de toutes les espèces ligneuses et la circonférence à 20 cm du sol de chaque individu ligneux.

### II-3-1. Analyse des données de diversité ligneuse des glacis

La diversité a été évaluée à travers un récapitulatif de toutes les espèces ligneuses sur l'ensemble des relevés et aussi par stade de dégradation du glacis. L'importance écologique relative de chaque espèce ligneuse a été exprimée à l'aide de l'Indice de Valeur d'Importance (IVI). L'IVI d'une espèce se définit comme la somme de sa dominance relative, de sa densité relative et de sa fréquence relative qui sont exprimées par les **Formules** suivantes :

$$\text{❖ la surface terrière (G)} = D^2 20 \frac{\pi}{4} \text{ où D est le diamètre à 20 cm du sol} \quad (1)$$

$$\text{❖ la dominance relative (DR)} = \frac{\text{Surface terrière totale d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale de toutes les espèces}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{❖ la densité relative (Dr)} = \frac{\text{Nombre d'individus d'une espèce}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{❖ la fréquence spécifique (Fs)} = \frac{\text{Nombre de relevés dans lequel l'espèce est présente}}{\text{Nombre total de relevés}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{❖ la fréquence relative (FR)} = \frac{\text{Fréquence d'une espèce}}{\text{Somme de toutes les fréquences}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{❖ l'indice de valeur d'importance (IVI)} = \text{dominance relative} + \text{densité relative} + \text{fréquence relative} \quad (6)$$

La surface terrière (G) correspond à la somme des surfaces des sections en m<sup>2</sup> de tous les individus d'espèces dont le diamètre à 20 cm au-dessus du sol est au moins égal à 5 cm et est rapporté à l'hectare. Les valeurs de la dominance relative, de la fréquence, de la fréquence relative, de la densité relative varient entre 0 et 100 %; celle de l'IVI des espèces varie de 0 à 300 %.

### II-3-2. Analyse de la structure en diamètre des espèces ligneuses

Pour un individu multicaule avec  $s$  tiges en-dessous de la hauteur de mesure, le diamètre  $d$  est égal à la somme quadratique de tous les diamètres  $ds_i$  des tiges de l'individu mesuré. La **Formule** du diamètre  $d$  s'établit comme suit :

$$d = (ds_1^2 + ds_2^2 + ds_3^2 + \dots + ds_i^2)^{1/2} \quad (7)$$

La structure horizontale des formations végétales a été établie en considérant l'ensemble des relevés effectués pour chaque stade de dégradation du glacis. L'ensemble des individus de chaque stade de dégradation a été regroupé dans des classes de diamètres d'amplitude 5 cm d'intervalle. Les structures observées ont été ajustées à la distribution théorique de Weibull à 3 paramètres

[26, 27]. Cette distribution simple et flexible s'ajuste aussi bien parfaitement aux distributions asymétriques positive et négative, qu'à celles normales. Sa fonction de densité de probabilité  $f(x)$  suit la **Formule** :

$$f(x) = \frac{c}{b} \left( \frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[ - \left( \frac{x-a}{b} \right)^c \right] \quad (8)$$

Où  $x$  représente le diamètre des arbres,  $a$  le paramètre de position,  $b$  le paramètre d'échelle ou de taille et  $c$  le paramètre de forme lié à la structure en diamètre considérée. Si  $c < 1$ , la distribution est en "J inversé". Si  $c = 1$ , la distribution est exponentielle négative. Si  $c > 1$ , la distribution est une fonction unimodale. Si  $1 < c < 3,6$ , la distribution est asymétrique positive. Si  $c = 3,6$ , la distribution est approximativement normale. Si ( $c > 3,6$ ) la distribution est asymétrique négative.

### III - RÉSULTATS

#### III-1. Dynamique des unités de végétation dans le bassin versant

Sept (07) unités de végétation ont été identifiées et classifiées. Ce sont les champs, les zones nues, les cordons ripicoles, les steppes herbueses, les steppes arbustives, les plans d'eau et les autres représentés par les agglomérations, les routes, etc. La répartition spatiale des sept (07) classes d'unités de végétation a été faite (**Figure 2**). La qualité de la classification est présentée par les matrices de confusion (**Tableau 2**).

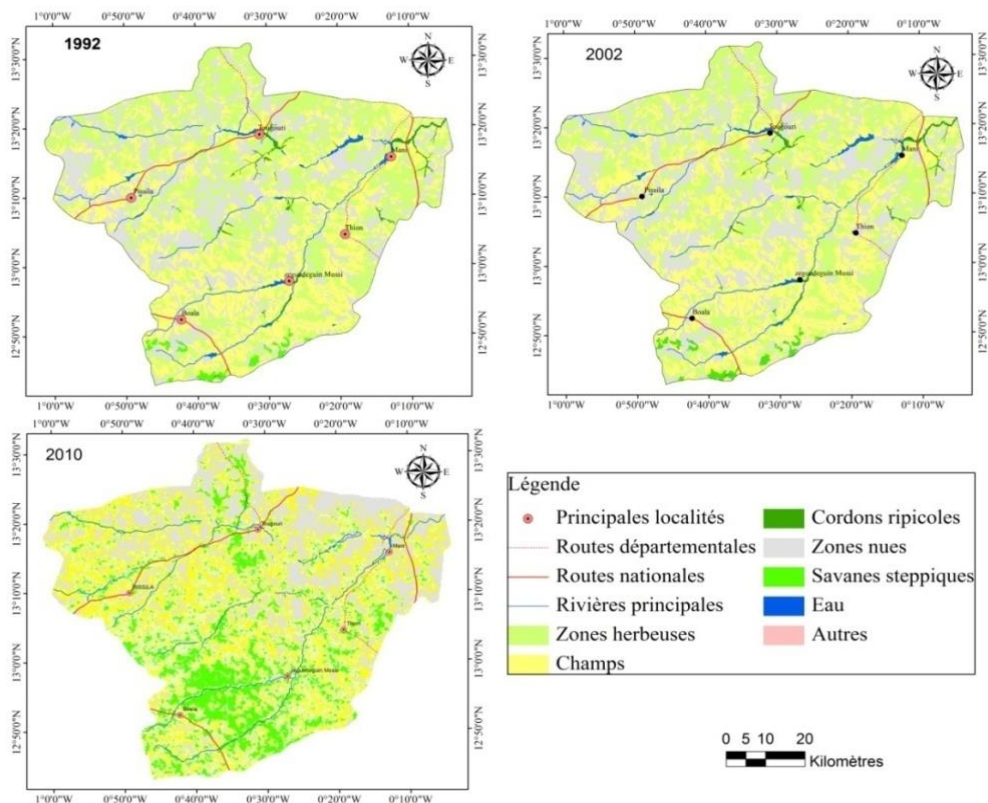
**Tableau 2 :** Matrices de confusion montrant l'exactitude de la classification des images de 1992, 2002 et 2010 dans le bassin versant de Faga

UV	1992							2002							2010						
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
A	95	5	0	2	0	0	3	100	1	11	1	0	0	0	92	7	3	0	0	0	0
B	6	94	0	0	0	0	0	11	89	0	5	0	0	0	8	92	0	0	0	0	11
C	0	1	100	1	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0
D	0	0	0	98	1	0	0	0	0	5	95	4	0	7	9	0	6	94	1	0	5
E	0	2	0	0	91	0	0	0	0	0	0	91	0	0	0	1	4	6	95	0	6
F	0	0	0	0	4	100	0	0	0	5	0	10	100	3	0	0	5	0	4	100	0
G	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	5	0	92	0	0	2	0	0	0	85
IE	96,78							90,60							89,12						
IK	0,90							0,92							0,95						

UV : Unités de Végétation; A : champs; B : zones nues; C : cordons ripicoles; D : steppes herbueses; E : steppes arbustives; F : plans d'eau; G : autres; IE : précision de la classification; IK : indice de Kappa



Les indices d'exactitude qui sont de 96,78 %; 90,60 % et 89,12 % ont permis d'obtenir un coefficient de Kappa de 90 % ; 92 % et 95 % respectivement pour les trois images satellitaires des années 1992, 2002 et 2010. Les statistiques des différentes unités de végétation durant les années 1992, 2002 et 2010 dans le bassin versant de Faga ont été extraites des images analysées.



**Figure 2 :** Variations des unités de végétation dans le bassin versant de Faga entre 1992, 2002 et 2010

L'analyse de ces résultats a révélé deux grandes tendances évolutives dans le bassin versant de Faga entre 1992 et 2002 (**Tableau 3**). La première exprime une évolution positive dans le bassin versant: champs (+2,1 %) pour la période 1992-2002, (+16,62 %) pour 2002-2010 et (+18,72 %) pour 2002-2010; zones nues (+0,00 %) pour la période 1992-2002, (+3,63 %) pour 2002-2010 et (+3,34 %) pour 1992-2010; cordons ripicoles (+1,42 %) pour la période 2002-2010 et (+1,34 %) pour la période 1992-2010; eau (+0,07 %) pour la période 1992-2002; autres (+0,24 %) pour la période 2002-2010. La seconde tendance traduit quant à elle une évolution négative: steppes arbustives (-0,48 %) pour la période 1992-2002, (-14,59 %) pour 2002-2010 et (15,07 %) pour

1992-2010; steppes herbeuses (-1,03 %) pour la période 1992-2002, (-7,1 %) pour 2002-2010 et (-8,13 %) pour 2002-2010; plan d'eau (-0,22 %) pour la période 2002-2010 et (-0,14 %) pour 1992-2010; autres (-0,58 %) pour la période 1992-2002 et (-0,34 %) pour 1992-2010.

**Tableau 3 :** Statistiques des unités d'occupation des terres dans le bassin versant de Faga

Unités de végétation	1992		2002		2010		C (%)	C (%)	C (%)
	S (ha)	%	S (ha)	%	S (ha)	%	1992-2002	2002-2010	1992-2010
Champs	232525,25	42,5	244020,14	44,58	334994,01	61,2	+2,1	+16,62	+18,72
Steppes arbustives	138486,08	25,3	135858,68	24,82	55996,54	10,23	-0,48	-14,59	-15,07
Steppes herbeuses	148174,63	27,1	142536,66	26,04	103672,98	18,94	-1,03	-7,1	-8,13
Zones nues	8922,22	1,63	8922,22	1,63	28791,96	5,26	+0	+3,63	+3,63
Cordons ripicoles	13410,70	2,45	12972,80	2,37	20745,54	3,79	-0,08	+1,42	+1,34
Plans d'eau	1696,86	0,31	2080,02	0,38	875,80	0,16	+0,07	-0,22	-0,15
Autres	4160,05	0,76	985,27	0,18	2298,97	0,42	-0,58	+0,24	-0,34

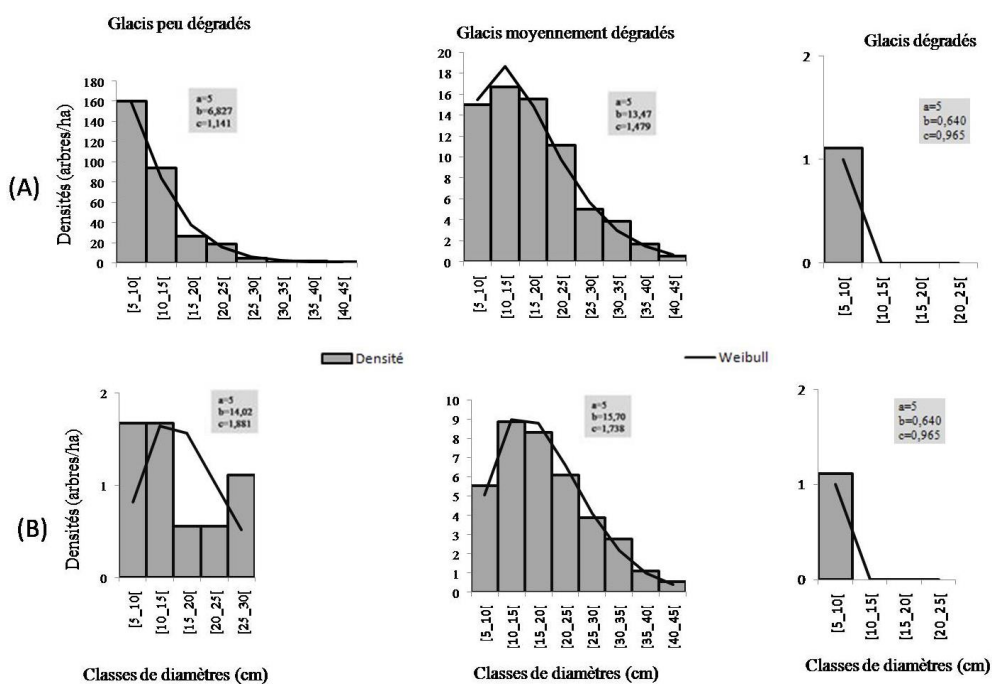
S: superficies, ha: hectare, C: Changements, %: Pourcentages

Aussi, les superficies cultivées ont augmenté durant les dix-huit (18) dernières années; elles sont passées de 42,50 % en 1992 à 44,58 % en 2002 puis à 61,20 % en 2010. Au cours de la même période, les zones nues ont augmenté en superficie car étant à 1,63 % en 1992, elles ont atteint 5,26 % en 2010. Durant cette même période, les cordons ripicoles sont passés de 2,45 % en 1992, à 2,37 % en 2002 puis à 3,79 % en 2010. Outre ces unités de végétation, les steppes arbustives et les steppes herbeuses ont diminué en superficies. Les steppes arbustives étaient à 25,3 % en 1992 puis à 24,82 % en 2002 et 10,23 % en 2010. Les steppes herbeuses, quant à elles, étaient à 27,10 % en 1992, 26,04 % en 2002 et à 18,94 % en 2010.

### III-2. Diversité et structure des espèces ligneuses

Au total, vingt-deux (22) espèces ligneuses ont été recensées sur l'ensemble des unités de végétation (**Tableau 4**) dont dix-neuf (19) espèces sur les glacis peu dégradés. *Combretum nigricans* (IVI = 75,71), *Pterocarpus lucens* (IVI = 31,03), *Combretum glutinosum* (IVI = 28,25) *Anogeissus leiocarpa* (IVI = 22,11), *Combretum micranthum* (IVI = 18,81) sont les espèces les plus dominantes de ce stade de dégradation. Dix (10) espèces ligneuses ont été

recensées sur les glaciers moyennement dégradés avec pour espèces dominantes *Balanites aegyptiaca* (IVI = 99,13), *Acacia nilotica* (IVI = 33,25), *Acacia seyal* (IVI = 32,41), *Pterocarpus lucens* (IVI = 30,24), *Combretum glutinosum* (IVI = 29,44), et une (01) seule espèce *Balanites aegyptiaca* (IVI = 300) recensée sur les glaciers dégradés. *Balanites aegyptiaca* est la seule espèce présente sur tous les types de glaciers. Son indice de valeur d'importance (IVI) est de 13,07; 99,98 et 300 respectivement dans les stades peu dégradés, moyennement dégradés et dégradés. L'analyse de la structure globale des peuplements montre que le paramètre de forme « c » est compris entre 1 et 3,6 dans les stades peu dégradés et dans les stades moyennement dégradés ; dans le stade moyennement dégradé, le paramètre de forme c est inférieur à 1 (**Figure 3A**). En considérant *Balanites aegyptiaca*, qui est l'espèce présente dans tous les stades de dégradation des glaciers, l'analyse de sa structure montre un paramètre de forme c compris entre 1 et 3,6 dans les stades peu dégradés et dans les stades moyennement dégradés, alors que dans les stades dégradés, ce paramètre c est inférieur à 1 (**Figure 3B**).



**Figure 3 :** Structures en diamètres des espèces ligneuses (A) et de *Balanites aegyptiaca* (B) dans les stades de dégradation des glaciers

**Tableau 4 :** Indices de valeurs d'importance (IVI) des espèces ligneuses des glacis suivant le stade de dégradation

Espèces	Glacis peu dégradés						Glacis moyennement dégradés						Glacis dégradés					
	G	DR	Dr	Fs	FR	IVI	G	DR	Dr	Fs	FR	IVI	G	DR	Dr	Fs	FR	IVI
<i>Acacia macrostachya</i>	58,50	1,87	1,73	27,78	6,33	9,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia nilotica</i>	-	-	-	-	-	-	130,41	5,14	9,92	33,33	18,18	33,25	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia raddiana</i>	-	-	-	-	-	-	53,85	2,12	0,76	5,56	3,03	5,92	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia senegal</i>	61,00	1,95	1,38	27,78	6,33	9,66	195,18	7,70	7,63	16,67	9,09	24,42	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia seyal</i>	100,74	3,21	4,49	16,67	3,80	11,50	69,22	2,73	17,56	22,22	12,12	32,41	-	-	-	-	-	-
<i>Anogeissusleiocarpus</i>	602,93	19,23	0,35	11,11	2,53	22,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Balanites aegyptiaca</i>	236,60	7,55	1,73	16,67	3,80	13,07	275,36	10,86	51,91	66,67	36,36	99,13	20,39	100,00	100,00	5,56	100,00	300,00
<i>Bosciasenegalensis</i>	28,76	0,92	0,52	5,56	1,27	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combretumglutinosum</i>	70,05	2,23	12,09	61,11	13,92	28,25	630,97	24,88	1,53	5,56	3,03	29,44	-	-	-	-	-	-
<i>Combretummicranthum</i>	35,86	1,14	5,01	55,56	12,66	18,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combretumnigricans</i>	86,98	2,77	56,48	72,22	16,46	75,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Commiphoraaficana</i>	85,58	2,73	1,55	27,78	6,33	10,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dalbergia melanoxyton</i>	203,15	6,48	0,35	5,56	1,27	8,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diospyrosmespiliformis</i>	86,75	2,77	0,35	5,56	1,27	4,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grewia bicolor</i>	175,97	5,61	0,69	11,11	2,53	8,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Guierasenegalensis</i>	29,77	0,95	0,52	16,67	3,80	5,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Piliostigmareticulatum</i>	34,49	1,10	0,52	5,56	1,27	2,88	199,15	7,85	0,76	5,56	3,03	11,65	-	-	-	-	-	-
<i>Prosopis africana</i>	126,24	4,03	0,17	5,56	1,27	5,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocarpuslucens</i>	224,13	7,15	11,23	55,56	12,66	31,03	342,80	13,52	7,63	16,67	9,09	30,24	-	-	-	-	-	-
<i>Sclerocaryabirrea</i>	480,51	15,33	0,52	5,56	1,27	17,11	609,88	24,05	1,53	5,56	3,03	28,61	-	-	-	-	-	-
<i>Sterculiasetigera</i>	407,23	12,99	0,35	5,56	1,27	14,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ziziphusmauritiana</i>	-	-	-	-	-	-	28,76	1,13	0,76	5,56	3,03	4,93	-	-	-	-	-	-

G = Surface terrière ; DR = Dominance relative ; Dr = Densité relative ; Fs = Fréquence spécifique ; FR = Fréquence relative ; IVI = Indice de Valeur d'Importance

#### **IV - DISCUSSION**

L'environnement naturel est sous la menace de divers facteurs dont le changement climatique aggravé par les activités anthropiques incontrôlées. Cela accentue la mutation des ressources naturelles dont la végétation et ses différentes composantes. L'objectif visé par cette étude est d'examiner l'évolution des unités de végétation ainsi que l'impact des modifications du couvert végétal sur la diversité et la structure des espèces ligneuses dans le bassin versant de Faga en zone sub-sahélienne du Burkina Faso. Les indices de Kappa sont de 90 %, 92 % et 95 % respectivement pour les images satellitaires de 1992, 2002 et 2010 analysées. Comme l'ont souligné [25], ces indices avec des valeurs supérieures ou égales à 90 % indiquent une classification satisfaisante. La dégradation des unités de végétation dans le bassin versant est principalement due à l'extension des champs et des zones nues. Cette extension pourrait s'expliquer par la croissance exponentielle de la population humaine avec son lot d'usages concurrentiels des ressources forestières dont l'agriculture expansive, la coupe abusive du bois et le surpâturage. Des observations similaires ont été mentionnées par de nombreuses études utilisant les outils de télédétection pour quantifier le changement de la couverture végétale [28 - 30].

Ces auteurs ont souligné lors de leurs travaux que l'urbanisation, la pauvreté ainsi que les variations climatiques constituent les principaux facteurs responsables de la dégradation des terres. La croissance rapide de la population humaine du Burkina Faso en général, et la zone sahélienne en particulier, est en partie due à la crise politique ivoirienne entre 2002 et 2011. En effet, de nombreux migrants burkinabè qui résidaient en Côte d'Ivoire ont été contraints à un retour au Burkina Faso. Ce phénomène a conduit à une augmentation des zones cultivées et conséquemment à la dégradation de la couverture végétale. L'impact négatif des crises politiques sur la dynamique des ressources naturelles a été aussi mentionné [29, 30]. En effet, comme la population croît, les terres autrefois marginalisées sous prétexte qu'elles sont pauvres et non rentables sont exploitées. La conquête de nouvelles terres entraîne la réduction des steppes arbustives. Ces résultats sont similaires à ceux de [31] qui attribuent les causes de la dégradation de la couverture végétale aux effets combinés de la croissance démographique, du développement économique, de la sécheresse et des crises politiques. L'extension des zones nues entraînant la dégradation de la couverture végétale, pourrait s'expliquer par la régression de certaines espèces [32]. Les fluctuations pluviométriques au Burkina Faso, en général, et dans sa partie sahélienne, en particulier, causent souvent des inondations et la destruction des cultures dans des bas-fonds [33]. Cet auteur a signalé que les régimes saisonniers entraînent la crue des rivières

en Afrique semi-aride provoquant ainsi des inondations. Pour éviter ce problème d'inondation, les cultivateurs laissent une zone tampon entre les rivières et les champs. Ce qui pourrait contribuer à l'augmentation de la végétation des cordons ripicoles. La même remarque a été faite dans la zone sub-sahélienne [34]. Le Sahel strict a été baptisé en réserve sylvo-pastorale et partielle en décembre 1970 [35]. De plus, une zone tampon de 100m a été recommandée entre les rivières et les champs. Aussi, de nombreuses institutions de recherche et de développement, par le biais des programmes et projets de restauration, sont intervenues dans la zone sahélienne du Burkina Faso. Ce qui a eu sûrement un impact positif sur la végétation sahélienne. Cet impact positif a été signalé par de nombreux auteurs [36 - 38]. Des études antérieures ont montré que les fluctuations pluviométriques provoquent une variation inter-annuelle de la composition spécifique, du taux de couverture végétale et de la productivité d'un site donné. La progression de la végétation des cordons ripicoles observée pourrait être attribuée à l'expansion de certaines espèces dans les bas-fonds durant ces dernières décennies. Il s'agit de *Cassia obtusifolia* dont l'expansion a été signalée [32]. Ces auteurs ont observé que certaines espèces incluant *Acacia tortilis*, *Cassia obtusifolia*, *Schoenefeldia gracilis*, *Zornia glochidiata* connaissent une expansion dans la zone sahélienne du Burkina Faso.

A tout cela, on peut argumenter que la variation positive de la végétation des cordons ripicoles pourrait aussi s'expliquer par la taille des pixels des images LandSat TM (30m x 30m) qui est assez grossière pour les cordons ripicoles. De plus, les cordons ripicoles sont constitués dans la majorité d'arbres (*Anogeissus leiocarpa*, *Mitragyna inermis*, *Pterocarpus lucens* etc.) dont les cimes restent jointives jusqu'au mois d'octobre lorsque les conditions pluviométriques de l'année sont bonnes. Cette cime jointive pourrait conférer sa signature spectrale aux cordons ripicoles. La stabilité cartographiée s'expliquerait par le fait que certaines activités, en particulier l'agriculture, se mènent dans les mêmes endroits considérés productifs durant des années. C'est le cas des dunes et certaines parties des glacis [36]. Vingt-deux (22) espèces ligneuses ont été recensées sur les glacis du bassin versant de Faga dont dix-neuf (19) espèces sur les glacis peu dégradés, dix (10) sur les glacis moyennement dégradés et une seule espèce sur les glacis dégradés. Ainsi, les glacis peu dégradés sont plus riches en espèces ligneuses que les glacis moyennement dégradés qui, à leur tour, sont plus diversifiés que les glacis dégradés. Cela peut être expliqué par les conditions écologiques stationnelles. En effet, la régénération naturelle des glacis sahéliens est fortement dépendante de l'état de surface du sol, de la microtopographie et des différentes activités anthropiques [39]. Ainsi, les superficies couvertes de végétation ont en général un état de surface à dominance sableuse. Les superficies non couvertes, au

contraire, ont un état de surface à dominance, soit gravillonnaire, soit latéritique. La présence de la végétation sur les glacis sahéliens est déterminée par une accumulation de sable due à l'érosion hydrique et éolienne. Ce sable permet de capturer les semences des espèces généralement transportées par le vent ou l'eau, favorisant leur germination quand les conditions nécessaires (l'humidité du sol) sont réunies. Ainsi, les faciès fortement couverts de sable seront plus diversifiés en ligneux que les faciès moyennement couverts qui, à leur tour, seront plus diversifiés que les faciès non couverts de sable. Nos résultats sont en accord avec ceux de [40] qui ont souligné que la faible diversité des glacis sahéliens est expliquée par leur faible couverture sableuse. Dans ce même sens, [39] ont signalé que les processus d'érosion assurent la fertilisation de certaines portions des glacis par la formation de monticules sableux plus ou moins étendus. Pour ces auteurs, ces monticules sableux sont caractérisés par une forte concentration en Azote total et en matières organiques. Les structures globales en classes de diamètres sont toutes stables dans tous les stades de dégradation des glacis. *Balanites aegyptiaca* qui est une espèce présente dans tous les stades de dégradation des glacis montre une structure stable dans tous les stades de dégradation. La fréquence et l'abondance de *B. aegyptiaca* dans les différents faciès peut également s'expliquer par sa grande capacité de régénération du fait de la propagation de ces graines via les hommes et/ou les animaux [41]. De façon générale, les individus de diamètres compris entre 5 cm et 25 cm pour les stades peu dégradés et 5 cm et 30 cm pour les stades moyennement dégradés sont prédominants.

Il n'existe pas d'individus de diamètres supérieurs à 15 cm dans les stades très dégradés. En plus, les individus de diamètres supérieurs à 35 cm sont rares où inexistantes sur les glacis sahéliens. Cela signifie que les glacis du bassin versant de Faga sont dominés par des individus jeunes. Selon plusieurs auteurs [26, 42], les structures en « J inversé » sont caractéristiques des formations multispécifiques présentant une bonne dynamique avec un recrutement régulier de la population juvénile dans les différentes classes de diamètres successives. En accord avec les travaux antérieurs, ces mêmes auteurs assimilent ces types de structures à celles d'une population stable s'entretenant elle-même. La prédominance des individus de diamètres inférieurs à 30 cm dans les stades peu dégradés et moyennement dégradés s'explique par les conditions climatiques arides (courte saison pluvieuse et longue saison sèche) qui ne permettent pas aux espèces de se développer convenablement en hauteur et en épaisseur. Les individus mesurés, considérés comme jeunes après analyse au laboratoire sont en réalité des adultes rabougris. Cet état rabouгри est la conséquence des effets conjugués des stress et des perturbations dus aux aléas climatiques et au surpâturage. Ces facteurs exercent des effets négatifs considérables sur la croissance et le développement des espèces. La structure

stable observée est aussi expliquée par les caractéristiques génétiques intrinsèques des espèces dominantes qui présentent rarement des individus de gros diamètres sur les glacis sahéliens. Nos observations sont similaires à ceux de [26] qui ont observé des structures stables de *Balanites aegyptiaca* et de *Acacia raddiana* dans les steppes arbustives des glacis sahéliens. La structure en diamètres de *Balanites aegyptiaca* montre que cette espèce est présente dans tous les stades de dégradation des glacis du bassin versant de Faga. Ce qui permet de dire que l'espèce *Balanites aegyptiaca* peut être utilisée pour restaurer avec succès les zones dégradées du sub-Sahel par afforestation.

## V - CONCLUSION

La dégradation des unités de végétation dans la zone sahélienne est principalement due aux mauvaises pratiques agricoles et au surpâturage. Cette variation se caractérise par une diminution des savanes steppiques et des steppes herbeuses au profit des zones de cultures et des zones nues. De légères augmentations s'observent au niveau de la végétation des cordons ripicoles. La variation du taux de couverture végétale est en relation avec la disponibilité des espèces ligneuses. La diversité spécifique ligneuse est fonction du taux de couverture végétale. Cela témoigne du rôle des conditions stationnelles sur la présence des espèces végétales. Sur un même glacis, les portions fortement couvertes de végétation sont plus diversifiées en espèces ligneuses que celles moyennement couvertes de végétation qui, à leur tour, sont plus diversifiées que les portions à faible couverture végétale. La structure des espèces est stable dans tous les stades de dégradation des glacis. *Balanites aegyptiaca* peut être recommandée pour des opérations de reboisement dans le sub-Sahel du fait de sa résilience et de sa grande adaptabilité dans les glacis quel qu'en soit le stade de dégradation.

## REMERCIEMENTS

*Cette étude a été conduite grâce au projet UNDESERT (Understanding and Combating desertification to mitigate its impact on Ecosystem services), financé par l'Union Européenne (EU FP7 243906). Nous exprimons notre gratitude aux populations de la zone d'étude en général et particulièrement aux guides de terrain Larba SAWADOGO du village de Tougouri pour ses aides à la récolte des données de terrain. Nous remercions aussi M. Norbert SIDIBE du SP/CONEDD pour nous avoir fourni gratuitement les images satellitaires et M. François OUEDRAOGO pour son aide à leur traitement.*



## RÉFÉRENCES

- [1] - E. W. PETERMAN, C. A. JOHN, R. K. ANDREW, Using species distribution and occupancy modeling to guide survey efforts and assess species status. *Journal for Nature Conservation*, 21 (2013) 114 - 121
- [2] - W. J. KARL, G. K. JEFFREY, B. NICHOLE, E. JEFFREY, M. HERRICK, C. DUNIWAY, Interpretation of high-resolution imagery for detecting vegetation cover composition change after fuels reduction treatments in woodlands. *Ecological Indicators*, 45 (2014) 570 - 578
- [3] - R. KUMAR, S. NANDY, R. AGARWAL, S. P. S. KUSHWAHA, Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological Indicators*, 45 (2014) 444 - 455
- [4] - K. LALIT, R. MAX, L. V. FRANK, K. V. JOHAN, A. V. JELTE, H. JOHN, R. D. NICO, L. STROOSNIJDER, S. K. ANDREW, T. H. HERBERT, Relationship between vegetation growth rates at the onset of the wet season and soil type in the Sahel of Burkina Faso: implications for resource utilization at large scales. *Ecological Modelling*, 149 (2002) 143 - 152
- [5] - A. KADEBA, Flore et végétation du site écologique et culturel de Koro (Province du Houet/Burkina Faso). Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, (2009) 71 p.
- [6] - A. KADEBA, O. SAMBARE, S. SOULAMA, A. THIOMBIANO, M. SCHMIDT et J. I. BOUSSIM, Typologie spatiale de la végétation sahéenne en relation avec les indicateurs de dégradation au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (3) (2014) 1049 - 1064
- [7] - S. SOULAMA, A. KADEBA, I. M. B. NACOULMA, S. TRAORE, Y. BACHMANN, A. THIOMBIANO, Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87 (2015) 8047 - 8064
- [8] - S. GANABA, J. M. OUADBA, O. BOGNOUNOU, Plantes de construction d'habitations en région sahéenne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 282 (4) (2004) 11 - 17
- [9] - X. GAO, P. WU, X. ZHAO, J. WANG and Y. SHI, Effects of land use on soil moisture variations in a semi-arid catchment: implications for land and agricultural water management. *Land Degradation & Development*, 25 (2014) 163 - 172
- [10] - A. FTERICH, M. MAHDHI, M. MARS, The effects of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana*, soil texture and soil depth on soil microbial and biochemical characteristics in arid zones of Tunisia. *Land Degradation & Development*, 25 (2014) 143 - 152
- [11] - B. M. HIEN, Etude des causes de mortalité de *Pterocarpus lucens* Lepr. en zone sub-sahéenne du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude, Eaux et Forêts, I.D.R, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, (2000) 70 p.
- [12] - J. GONG, L. CHEN, B. FU, Y. HUANG, H. Z. HUANG, Effect of land use on soil nutrients in the Loess hilly area of the loess plateau, China. *Land Degradation & Development*, 17 (2006) 453 - 465

- [13] - K. BIRO, B. PRADHAN, M. BURCHROITHNER, and F. MAKESCHIN, Land use/Land cover change analysis and its impact on soil properties in the northern part of Gadarif region, Sudan. *Land Degradation & Development*, (2011), Doi: 10.1002/ldr.1116
- [14] - P. DLAMINI, P. CHIVENGE, A. MANSON, V. CHAPLOT, Land degradation impact on soil organic carbon and nitrogen stocks of sub-tropical humid grasslands in South Africa. *Geoderma*, 235 - 236 (2014) 372 - 381
- [15] - Y. C. H. HOUNTONDI, Environmental dynamics in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa: Analysis of changes and vegetation cover degradation assessment. PhD Thesis, University of Liege, (2008)153 p.
- [16] - R. MEAILLE, L. WALD, Using geographic information system and satellite imagery within a numerical simulation of regional urban growth. *Int. j. of Geog. Inf. Sys.*, 4 (1990) 445 - 456
- [17] - Q. WENG, Land use change analysis in the Zhujiang delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, 64 (2002) 273 - 284
- [18] - J. FONTES & S. GUINKO, Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération Française. Projet campus (88 313 101), Toulouse cedex, (1995) 67 p.
- [19] - S. GUINKO, Végétation de la haute-Volta. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III, France; Vol. 2, (1984) 394 p.
- [20] - S. GANABA, Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au sahel, Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences Naturelles, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, sénégal, N°117 (2008) 287 p.
- [21] - S. GANABA, J. M. OUADBA et O. BOGNOUNOU, Exploitation traditionnelle des végétaux spontanés en région sahélienne du Burkina Faso. *VertigO*, 6 (2) 227 (2005) 12 - 24
- [22] - ERDAS, Field guide. Fifth edition. Erdas Inc. Buford Highwas, NE, Atlanta, georgia. USA, 75 (8) (1999) 2430 - 2437
- [23] - E. S. BOAKYE, N. ODAÏ, K. A. ADJEI, F. O. ANNOR, Landsat images for assessment of the impact of land use and land cover changes on the Barekese catchment in Ghana. *European Journal of Scientific Research*, 22 (2) (2008) 269 - 278
- [24] - R. G. CONGALTON, A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37 (1991) 35 - 46
- [25] - A. BLUM, L. FELDMANN, F. BRESLER, P. JOUNNY, S. BRIANÇON, D. RÉGENT, Intérêt du calcul du coefficient kappa dans l'évaluation d'une method d'imagerie. *Journal of Radiology*, 76 (7) (1995) 441 - 443
- [26] - L. TRAORÉ, T. K. SOP, S. D. DAYAMBA, S. TRAORE, K. HAHN, A. THIOMBIANO, Do protected areas really work to conserve species? A case study of three vulnerable woody species in the Sudanian zone of Burkina Faso. *Environment, Development and Sustainability*, (2012a) DOI 10.1007/s10668-012-9399-8
- [27] - E. KABORÉ, O. SAMBARÉ, A. OUÉDRAOGO et A. THIOMBIANO, Diversité et structure des cordons ripicoles le long de la sirba (Nord-Est du Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (5) (2013) 1929 - 1950

- [28] - D. T. MESHESHA, A. TSUNEKAWA and M. TSUBO, Continuing land degradation: cause-effects in Ethiopia's central rift valley. *Land Degradation & Development*, (2010) Doi: 10.1002/ldr.1061
- [29] - A. A. HAMMAD and A. TUMEIZI, Land Degradation: socioeconomic and environmental causes and consequences in the eastern Mediterranean. *Land Degradation & Development*, (2010) Doi: 10: 1002/ldr.1069
- [30] - A. KADÉBA, B. M. I. NACOULMA, A. OUEÐRAOGO, Y. BACHMANN, A. THIOMBIANO, M. SCHMIDT, I. J. BOUSSIM, Land cover change and plants diversity in the Sahel: A case study from northern Burkina Faso. *Annals of Forest. Research*, 58 (1) (2015) 109 - 123
- [31] - J. M. AL-AWADHI, S. A. OMAR and R. F. MISAK, Land degradation indicators in Kuwait. *Land degradation & Development*, 16 (2004) 163 - 176
- [32] - A. KIEMA, A. J. NIANOGO, T. OUEDRAOGO, Effets des cordons pierreux sur la régénération d'un pâturage naturel de glacis au sahel. *Cahiers Agricultures*, 17 (3) (2008) 281 - 288
- [33] - W. M. ADAMS, Indigenous use of wetlands and sustainable development in West Africa. *The Geographical. Journal*, 159 (2) (1992) 209 - 218
- [34] - P. COUTERON 1997, Contraction du couvert végétal et sécheresse. Exemples au nord-ouest du Burkina Faso. Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. *John Libbey Euro text*, (1997) 69 - 79
- [35] - MEE, Monographie nationale sur la diversité Biologique du Burkina Faso, (1999) 180 p.
- [36] - K. RASMUSSEN, F. BJARNE, E. M. JENS, Desertification in reverse, Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 11 (2001) 271 - 282
- [37] - L. OLSSON, L. EKLUNDH, J. ARDO, A recent greening of the Sahel: trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environment*, 63 (2005) 556 - 566
- [38] - H. LARS and D. R. NICO, Desertification in the Sahel: a reinterpretation. *Global Change Biodiversity*, 12 (2006) 751 - 758
- [39] - A. I. KRÖPFL, G. A. CECCHI, N. M. VILLASUSO And R. A. DISTEL, Degradation and recovery processes in semi-arid patchy rangelands of northern patagonia, Argentina. *Land Degradation & Development*, 24 (2013) 393 - 399
- [40] - M. M. BOUBACAR, M. M. INOUSSA, K. J. M. AMBOUTA, A. MAHAMANE, A. A. JORGEN, Y. HARISSOU, H. RABIOU, Caractérisation de la végétation ligneuse et des organisations pelliculaires de surface des agroécosystèmes à différents stades de dégradation de la Commune rurale de Simiri (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (5) (2013) 1963 - 1975
- [41] - K. NIANG, O. NDIAYE, A. DIALLO, A. GUISSSE, Flore et structure de la végétation ligneuse le long de la Grande Muraille Verte au Ferlo, nord Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 79 (2014) 6938 - 6946
- [42] - A. GNOUMOU, F. BOGNOUNOU, K. HAHN, A. THIOMBIANO, A comparison of *Guibourtia copallifera* Benn. stands in South West Burkina Faso-community structure and regeneration. *Journal of Forestry Research*, (2011) DOI 10.1007/s11676-011-0198-0