

# Flora<sub>et</sub> Vegetatio Sudano-Sambesica



edited by  
éditées par  
herausgegeben von

**Rüdiger Wittig<sup>1</sup>**  
**Sita Guinko<sup>2</sup>**  
**Brice Sinsin<sup>3</sup>**  
**Adjima Thiombiano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Frankfurt

<sup>2</sup>Ouagadougou

<sup>3</sup>Cotonou

**Volume 17 • 2014**

# Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica

Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica (former "Etudes sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants") is a refereed, international journal aimed at presenting high quality papers dealing with all fields of geobotany and ethnobotany of the Sudano-Sambesian zone and adjacent regions. The journal welcomes fundamental and applied research articles as well as review papers and short communications.

English is the preferred language but papers written in French will also be accepted. The papers should be written in a style that is understandable for specialists of other disciplines as well as interested politicians and higher level practitioners. Acceptance for publication is subjected to a referee-process.

In contrast to its predecessor (the "Etudes ...") that was a series occurring occasionally, Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica is a journal, being published regularly with one volume per year.

## IMPRINT

<b>Volume:</b>	17 • 2014
<b>Publisher:</b>	Institute of Ecology, Evolution & Diversity Chair of Ecology and Geobotany Max-von-Laue-Str. 13 D - 60438 Frankfurt am Main
<b>Copyright:</b>	Institute of Ecology, Evolution & Diversity Chair of Ecology and Geobotany Max-von-Laue-Str. 13 D - 60438 Frankfurt am Main
<b>Online-Version:</b>	<a href="http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:hebis:30:3-61069">http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:hebis:30:3-61069</a> <b>urn:nbn:de:hebis:30:3-61069</b>
<b>ISSN:</b>	1868-3606

### Editor-in-Chief:

**Prof. Dr. Rüdiger Wittig**  
Institute of Ecology, Evolution & Diversity  
Department of Ecology and Geobotany  
Max-von-Laue-Str. 13  
D - 60438 Frankfurt am Main  
eMail:  
[r.wittig@bio.uni-frankfurt.de](mailto:r.wittig@bio.uni-frankfurt.de)

### Co-Editors:

**Prof. Dr. Sita Guinko**  
**Prof. Dr. Adjima Thiombiano**  
Sciences de la Vie et de la Terre  
Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales  
Université de Ouagadougou  
03 BP 7021 Ouagadougou  
Burkina Faso

eMail:  
[sguinko@univ-ouaga.bf](mailto:sguinko@univ-ouaga.bf)  
[adjima\\_thiombiano@univ-ouaga.bf](mailto:adjima_thiombiano@univ-ouaga.bf)

**Prof. Dr. Brice Sinsin**  
Faculté des sciences Agronomiques  
Laboratoire d'Ecologie Appliquée  
Université Nationale du Benin  
B.P. 526 Cotonou  
Benin

eMail:  
[bsinsin@gmail.com](mailto:bsinsin@gmail.com)

### Editorial-Board

**Prof. Dr. Reinhard Böcker**  
Institut 320, Universität Hohenheim  
70593 Stuttgart / Germany

**Prof. Dr. Ulrich Deil**  
Institut für Biologie II, Geobotanik,  
79104 Freiburg / Germany

**Dr. Anne Fournier**  
Laboratoire ERMES ORSTOM  
45072 Orleans / France

**Dr. Karen Hahn**  
Institut für Ökologie, Evolution und Diversität  
J.W.-Goethe-Universität  
Max-von-Laue-Str. 13  
D - 60438 Frankfurt am Main  
Deutschland

**Prof. Dr. Stefan Porembski**  
Institut für Allgemeine und Spezielle Botanik  
Universität Rostock  
18057 Rostock / Germany

---

# Flora<sup>et</sup> Vegetatio Sudano-Sambesica

---

**Volume 17 • 2014**

# Table of contents | Inhaltsverzeichnis | Table des matières

Table of contents | Inhaltsverzeichnis | Table des matières

2

Plant species associated with different levels of species richness and of vegetation cover as indicators of desertification in Burkina Faso (West Africa)

Marco Schmidt,  
Georg Zizka

3-8

Espèces de plantes associées avec différents niveaux de richesse spécifique et de couverture végétale comme indicatrices de désertification au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest)

Mit verschiedenen Stufen des Artenreichtums und der Vegetationsbedeckung assoziierte Pflanzenarten als Desertifikationsindikatoren in Burkina Faso (Westafrika)

Composition floristique et état des peuplements ligneux des inselbergs suivant un gradient climatique au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest)

Elycée Tindano,  
Souleymane Ganaba,  
Adjima Thiombiano

9-27

Species Composition and Ecological Relations of the Woody Population of Inselbergs along a Climatic Gradient in Burkina Faso (West-africa)

Artenzusammensetzung und ökologische Beziehungen der Gehölzbestände von Inselbergen entlang eines Klimagradienten in Burkina Faso (Westafrika)

Dynamics of juvenile woody plant communities on termite mounds in a West African savanna landscape

Arne Erpenbach,  
Rüdiger Wittig,  
Karen Hahn

28-41

Dynamique des plantes ligneuses juveniles sur termitières dans un paysage de savane ouest-africaine

Dynamik juveniler Gehölzgesellschaften auf Termitenhügeln in einer westafrikanischen Savannenlandschaft

UseDa - A new database tool on ethnobotanical uses of West African plant species

Karen Hahn,  
Marco Schmidt,  
Anne Mette Lykke,  
Adjima Thiombiano

42-48

UseDa - un nouvel outil de base de données sur les utilisations ethnobotaniques des plantes de l'Afrique de l'Ouest

UseDa – ein neues Datenbank « tool » zur ethnobotanischen Nutzung von Westafrikanischen Pflanzen

Hommage au / Obituary in memory of Prof. Dr. Laurent Aké-Assi (1931-2014)

Rüdiger Wittig

49-50

Instructions for Authors / Conseils aux auteurs

51-52

## Plant species associated with different levels of species richness and of vegetation cover as indicators of desertification in Burkina Faso (West Africa)

Marco Schmidt<sup>1,2,3</sup>, Georg Zizka<sup>1,2,3</sup>

<sup>(1)</sup> Goethe University, Institute for Ecology, Evolution and Diversity, Frankfurt am Main, Germany.

<sup>(2)</sup> Senckenberg Research Institute, Department of Botany and molecular Evolution, Frankfurt am Main, Germany.

<sup>(3)</sup> Biodiversity and Climate Research Centre (BiK<sup>F</sup>) Frankfurt am Main, Germany.

**Summary:** Desertification is a major problem in Sudano-sahelian West Africa, including the loss of biodiversity and vegetation cover. The loss of related ecosystem services is having a severe impact on human wellbeing. To facilitate assessments of these aspects of desertification, we decided to find plant species suitable as indicators. Based on a large database of vegetation plot data for Burkina Faso, we identified species associated with high or low levels of species richness and vegetation cover by calculating average values of these measures from vegetation plots on which they occur. To account for the differences between the dry Sahel and the more humid Sudan, we separated the plots of our study area in three vegetation zones (Sahel, North Sudan, South Sudan). Furthermore, herbs and woody plants were analysed separately, as they were usually represented in different plot sizes in the primary data. For each combination of species richness or vegetation cover, vegetation zone and growth form we identified ten species indicating low and another ten species indicating high values and assigned indicator values based on the average values of these species in the relevés.

**Key words:** degradation, desertification, indicator species, species richness, vegetation cover

### ESPÈCES DE PLANTES ASSOCIÉES AVEC DIFFÉRENTS NIVEAUX DE RICHESSE SPÉCIFIQUE ET DE COUVERTURE VÉGÉTALE COMME INDICATRICES DE DÉSSERTIFICATION AU BURKINA FASO (AFRIQUE DE L'OUEST)

**Résumé:** La désertification est un problème majeur dans la région soudano-sahélienne en Afrique de l'Ouest, y compris la perte de la biodiversité et de la couverture végétale. La perte des services écosystémiques a de graves répercussions sur le bien-être humain. Pour faciliter l'évaluation de ces aspects de la désertification, nous avons décidé de proposer des espèces végétales comme indicatrices des différents états de dégradation. À partir d'une grande base de données de la végétation pour le Burkina Faso, nous avons identifié des espèces liées aux niveaux élevés ou faibles de la richesse spécifique et la couverture végétale par le calcul des valeurs moyennes des parcelles de végétation dans lesquelles elles se trouvent. Pour tenir compte des différences entre le Sahel plus sec et le soudanien plus humide, nous avons séparé les parcelles de notre zone d'étude en trois zones de végétation (sahélienne, nord-soudanienne, sud-soudanienne). En outre, les herbacées et les ligneux ont été analysés séparément, car généralement étudiés dans des parcelles de différentes tailles dans les données primaires. Pour chaque combinaison de richesse spécifique ou couverture végétale, zone de végétation et forme de croissance on a identifié dix espèces indicatrices de valeurs basses et dix espèces indicatrices de valeurs hautes basées sur les valeurs moyens de ces espèces dans les relevés.

**Mots clés:** dégradation, désertification, espèces indicatrices, richesse spécifique, couverture végétale

### MIT VERSCHIEDENEN STUFEN DES ARTENREICHTUMS UND DER VEGETATIONSBEDECKUNG ASSOZIIERTE PFLANZENARTEN ALS DESERTIFIKATIONSINDIKATOREN IN BURKINA FASO (WESTAFRIKA)

**Zusammenfassung:** Im sudano-sahelischen Westafrika stellt Desertifikation einschließlich des damit verbundenen Biodiversitätsverlustes und der Bodenerosion ein großes Problem dar. Der daraus resultierende Verlust an Ökosystemdienstleistungen hat schwere negative Folgen für die ansässige Bevölkerung. Um die Bewertung dieser Aspekte der Desertifikation zu erleichtern, haben wir nach als Indikatoren geeigneten Pflanzenarten gesucht. Auf der Basis einer umfassenden Datenbank von Vegetationsaufnahmen aus Burkina Faso identifizierten wir Arten, deren Vorkommen mit hoher oder geringer Ausprägung von Artenreichtum oder Vegetationsbedeckung assoziiert ist. Die Identifizierung geschah für jede einzelne Art durch Berechnung der entsprechenden Mittelwerte aus sämtlichen Aufnahmen, in denen die Art vertreten war. Um die Unterschiede zwischen den klimatisch-pflanzengeographischen Regionen des Landes zu berücksichtigen, erfolgte eine separate Berechnung für die drei Vegetationszonen Sahel, Nordsudan und Südsudan. Da krautige Arten und Gehölze in den zur Verfügung stehenden Vegetationsaufnahmen in der Regel auf unterschiedlich großen Flächen dokumentiert wurden, behandelten wir auch diese Gruppen separat. Für jede sich auf diese Weise ergebende Kategorie ermittelten wir die jeweils zehn am stärksten mit geringem bzw. hohem Artenreichtum oder geringer bzw. hoher Vegetationsbedeckung assoziierten Arten.

**Schlagworte:** Degradation, Desertifikation, Indikatorarten, Artenreichtum, Vegetationsbedeckung

## 1 INTRODUCTION

Desertification is defined as land degradation in drylands and is a major ecological and economical problem at global level. The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD 1994) specifically mentions the loss of biological

productivity and long-term loss of natural vegetation, which have direct effects on various ecosystem services ranging from regulating services such as soil protection and water retention to provisioning services such as fodder, food and traditional medicine. The Sudano-Sahelian savanna belt at the southern edge of the Sahara desert is one of the areas especially vulnerable to desertification (NIASSE et al. 2004) and Burkina Faso, situated directly in the centre of this region and very typical for the region with its natural vegetation and land use is a perfect study area for a case study identifying indicator species for key aspects of desertification. Based on a large database of vegetation data for West Africa (JANSSEN et al. 2011, SCHMIDT et al. 2012, <http://westafricanvegetation.senckenberg.de>) we identified plant species associated with high and low levels of vegetation cover and species richness. These two factors representing biological aspects of the definition of desertification proved to be effective in its documentation (GONZALEZ 2001, GONZALEZ et al. 2012) and may be further connected with desertification not only as an effect, but also as a causing factor (CHARNEY et al. 1977).

## 2 METHODS

For the identification of indicator species, we used phytosociological data from the West African Vegetation Database including digitized data from ATAHOLO (2001), BÖHM (1998), DENSCHLAG (1998), GUINKO (1984), KÉRÉ (1996), KIRCHMAIR (2008), KIRCHMAIR et al. 2012, KROHMER (2004), KÜPPERS (1996), SCHMIDT (2006) and ZWARG (2008), which in part have been published in ATAHOLO & WITTIG (2011), BÖHM (2001), MÜLLER (2004), MÜLLER & WITTIG (2002, 2004), WITTIG et al. (2003, 2011), ZWARG et al. (2012). Synonymies have been resolved following THIMBIANO et al. (2012). As relevés have usually been done separately and on different plot sizes for herbs and woody species, we divided the pool of relevé records accordingly. Only plots of similar size (usually 100 m<sup>2</sup> for herb plots and 900 or 1000 m<sup>2</sup> for woody plants) have been considered, as species richness is known to increase with plot size. Using precipitation data from WorldClim (HIJMANS et al. 2005), we further separated relevés from the Sahel, the North and South Sudanian Zone. Only relevés from narrow, well-sampled rainfall ranges of 300 - 450 mm (Sahel, 771 relevés), 750 - 900 mm (N-Sudan, 788 relevés) and 1100 - 1250 mm (S-Sudan, 654 relevés) have been used. For each relevé, the number of occurring species has been counted and the sum of the species coverages (in percent) has been calculated. Conversion from Braun-Blanquet classes into percent has been done according to HAEUPLER (1982), the sum of coverages may exceed 100% due to overlaps and conversion. We have excluded species with less than 5 spatially unique occurrence points and calculated for all remaining species the average species richness and the average total vegetation cover of the relevés in which it occurs. These values have been used as indicator values for the species.

## 3 RESULTS

For all combinations of measure (species richness / vegetation cover), growth form (herbaceous or woody) and vege-

tation zone (Sahel, N-Sudan, S-Sudan), the 10 highest and lowest ranking species with their respective indicator values are shown in Tables 1-4.

Minimum and maximum values of species richness associated with the indicator species (Tables 1-2) are increasing with the rainfall gradient from the Sahel to the South Sudan, both for herbaceous and woody species. This is not the case for vegetation cover (Tables 3-4), where the Sudan in general has species associated with higher covers than the Sahel, but with a maximum in the North Sudan.

Only few species are indicators in more than one category, e.g. *Echinochloa stagnina* indicating high vegetation cover and low species richness in the Sahel. An exception is in the Sahelian woody plants (Tables 2, 4) where several species are indicating high (or low) values of both, vegetation cover and species richness.

## 4 DISCUSSION

Species richness (4.1) and vegetation cover (4.2) are key measures to characterize the vegetation-specific aspects of desertification and the resulting impoverishment in ecosystem services in drylands. It is however important to keep in mind that different habitat types may have naturally lower levels of plant diversity and cover, independent from detrimental impacts of human activities or climate change. It is also important to consider, that these aspects are independent from each other and species associated with low species richness may well be associated with high vegetation cover (e.g. *Echinochloa stagnina*).

### 4.1 Species richness

Among the high diversity indicators in the **Sahel** we find species like the perennial grass *Andropogon gayanus* which has once covered large areas of the region, now almost disappeared with increasing grazing pressure (BREMEN & CISSE 1977, RIETKERK et al. 1996), but also tree species typical of intact tiger bush areas such as the *Grewia* spp. (Müller 2013) and trees highly valued for fodder, like *Pterocarpus lucens*. Within the low diversity indicators are species often occurring in nearly monospecific patches such as the *Echinochloa* spp. of riparian floodplains, but also two of the most frequent trees of the Sahel, *Acacia tortilis* and *Balanites aegyptiaca* which are among the few tree species remaining in the most highly degraded areas and have been identified by WEZEL & LYKKE (2006) to be increasing in the course of the Sahelian vegetation changes of the last decades.

A number of tall savanna grasses like *Hyparrhenia smithiana* and *Andropogon tectorum* are among the high diversity indicators for the **North Sudan**, also species typical for termite mounds such as *Combretum aculeatum* and *Grewia bicolor* (ERPENBACH et al. 2013), which may be explained by increased habitat diversity. Among the low diversity indicators, a number of species occurring on bowé (ZWARG et al. 2012), e.g. *Loudetiopsis kerstingii*, can be found, but also water-bound species such as *Oryza longistaminata* or *Sarcocephalus latifolius*.

In the **South Sudan**, among the high diversity indicators we find species of savanna (e.g. *Psorospermum febrifugum*, *Ziziphus abyssinica*) and gallery forest (e.g. *Ficus sur*; THIMBIANO et al. 2012). Some trees of the low diversity indicators are from gravelly or shallow soils.

#### 4.2 Vegetation cover

Herbs indicating high vegetation cover in the **Sahel** include interestingly a number of C4 dicots (*Portulaca oleracea*, *Boerhavia repens*, *Trianthema portulacastrum*), but also *Echinochloa stagnina*, often forming dense lawns of low diversity in temporarily inundated sites. Among the trees are

several species of the tiger bush (which has been shown to be a highly diverse habitat of the Sahel region by SCHMIDT et al. 2008) but also species of denser riparian forest. Low vegetation cover indicators are often species of dunes like *Leptadenia pyrotechnica* or of degraded glacias.

Among the **North Sudanian** species indicating high vegetation cover are species of high grass savanna like *Hyparrhenia smithiana* and *Andropogon tectorum*, open forests and termitaria thickets (e.g. *Combretum aculeatum*). Herbs indicating low vegetation cover are often from shallow soil areas (*Polycarpha corymbosa*, *Ctenium elegans*). Interestingly, the indicator values for the North Sudanian

**Table 1: Herbaceous species as indicators of species richness (average species richness of all relevés with the respective species is provided in brackets) / Espèces herbacées comme indicatrices de la richesse spécifique (richesse spécifique moyenne de tous les relevés contenant les espèces correspondantes est fournie entre parenthèses).**

	Sahel	N-Sudan	S-Sudan
<b>High species richness</b>	<i>Eragrostis cilianensis</i> (16.57) <i>Andropogon gayanus</i> (16.17) <i>Cassia nigricans</i> (16) <i>Cassia mimosoides</i> (15.93) <i>Indigofera pilosa</i> (15.67) <i>Evolvulus alsinoides</i> (15.53) <i>Achyranthes aspera</i> (15.4) <i>Pupalia lappacea</i> (15.38) <i>Hibiscus cannabinus</i> (15.25) <i>Ipomoea vagans</i> (15.11)	<i>Indigofera kerstingii</i> (46.8) <i>Cissus flavicans</i> (42.4) <i>Andropogon tectorum</i> (42) <i>Hyparrhenia smithiana</i> (41.6) <i>Cissus adenocaulis</i> (40.67) <i>Cienfuegosia heteroclada</i> (39) <i>Cissus populnea</i> (38.4) <i>Schizachyrium sanguineum</i> (37.71) <i>Indigofera paniculata</i> (36.8) <i>Kyllinga pumila</i> (36.67)	<i>Cucumis melo</i> (47.56) <i>Haumaniastrum buettneri</i> (46.63) <i>Spermacoce chaetocephala</i> (44.86) <i>Schizachyrium nodulosum</i> (44.43) <i>Ludwigia erecta</i> (43.58) <i>Dissotis irvingiana</i> (43.2) <i>Phyllanthus amarus</i> (43) <i>Vernonia cinerea</i> (42.82) <i>Sida alba</i> (42.78) <i>Vernonia perottetii</i> (42.25)
<b>Low species richness</b>	<i>Setaria pumila</i> (10.36) <i>Pancratium trianthum</i> (10.21) <i>Cleome gynandra</i> (10) <i>Cyperus iria</i> (9.45) <i>Microchloa indica</i> (9.17) <i>Trianthema portulacastrum</i> (9) <i>Aeschynomene indica</i> (8.5) <i>Echinochloa colona</i> (8.42) <i>Scilla sudanica</i> (7.5) <i>Echinochloa stagnina</i> (4.14)	<i>Eriospermum flagelliforme</i> (13.83) <i>Cyanotis longifolia</i> (13.74) <i>Tripogon minimus</i> (13.62) <i>Abildgaardia abortiva</i> (13.07) <i>Loudeia simplex</i> (13) <i>Setaria barbata</i> (12.75) <i>Chrysopogon nigrifolius</i> (12.6) <i>Ctenium elegans</i> (12.5) <i>Loudeia kerstingii</i> (10.19) <i>Oryza longistaminata</i> (7.67)	<i>Aspilia angustifolia</i> (20) <i>Fimbristylis dichotoma</i> (19.86) <i>Neurotheca loeselioides</i> (19.5) <i>Digitaria ciliaris</i> (19.36) <i>Indigofera polysphaera</i> (19.17) <i>Urelytrum muricatum</i> (19.13) <i>Leersia hexandra</i> (18.5) <i>Melochia corchorifolia</i> (17.6) <i>Panicum subalbidum</i> (17.33) <i>Spermacoce pusilla</i> (17)

**Table 2: Woody species as indicators of species richness (average species richness of all relevés with the respective species is provided in brackets) / Espèces ligneuses comme indicatrices de la richesse spécifique (richesse spécifique moyenne de tous les relevés contenant les espèces correspondantes est fournie entre parenthèses).**

	Sahel	N-Sudan	S-Sudan
<b>High species richness</b>	<i>Dichrostachys cinerea</i> (11) <i>Cadaba glandulosa</i> (10.83) <i>Grewia flavescens</i> (10.46) <i>Grewia bicolor</i> (9.96) <i>Acacia ataxacantha</i> (9.63) <i>Boscia angustifolia</i> (9.31) <i>Acacia erythrocalyx</i> (9.21) <i>Dalbergia melanoxylon</i> (8.43) <i>Adansonia digitata</i> (8.38) <i>Pterocarpus lucens</i> (8.34)	<i>Excoecaria grahamii</i> (30.8) <i>Fadogia agrestis</i> (30.75) <i>Maeria angolensis</i> (30.25) <i>Grewia cissooides</i> (26.84) <i>Grewia bicolor</i> (26.04) <i>Philenoptera laxiflora</i> (25.88) <i>Combretum aculeatum</i> (25.22) <i>Hymenocardia acida</i> (22.89) <i>Vitex madiensis</i> (22.09) <i>Pericopsis laxiflora</i> (21.56)	<i>Asparagus africanus</i> (39.33) <i>Ekebergia senegalensis</i> (38.67) <i>Agelanthus dodoneifolius</i> (38.33) <i>Margaritaria discoidea</i> (33.33) <i>Smilax anceps</i> (33.14) <i>Lannea velutina</i> (31.6) <i>Psorospermum febrifugum</i> (31.53) <i>Ziziphus abyssinica</i> (31) <i>Rourea coccinea</i> (30.67) <i>Ficus sur</i> (30.63)
<b>Low species richness</b>	<i>Acacia seyal</i> (5.25) <i>Euphorbia balsamifera</i> (5.17) <i>Balanites aegyptiaca</i> (4.98) <i>Diospyros mespiliformis</i> (4.92) <i>Acacia tortilis</i> (4.86) <i>Faidherbia albida</i> (4.47) <i>Acacia nilotica</i> (4.03) <i>Acacia ehrenbergiana</i> (3.83) <i>Leptadenia pyrotechnica</i> (3.37) <i>Mitragyna inermis</i> (3.09)	<i>Prosopis africana</i> (12.42) <i>Parkia biglobosa</i> (12.11) <i>Ficus platyphylla</i> (11.67) <i>Ziziphus mauritiana</i> (11.65) <i>Combretum paniculatum</i> (11.2) <i>Combretum adenogonium</i> (10.52) <i>Parinari curatellifolia</i> (10.1) <i>Acacia seyal</i> (10.04) <i>Sarcocephalus latifolius</i> (8.17) <i>Terminalia macroptera</i> (6.6)	<i>Burkea africana</i> (22.32) <i>Terminalia mollis</i> (21.78) <i>Zanha gologensis</i> (21.67) <i>Combretum adenogonium</i> (21.5) <i>Crossopteryx febrifuga</i> (21.34) <i>Swartzia madagascariensis</i> (21) <i>Manilkara obovata</i> (20.83) <i>Maranthos polyandra</i> (20.82) <i>Ximenia americana</i> (20.71) <i>Ochna rhizomatosa</i> (19.33)

**Table 3: Herbaceous species as indicators of vegetation cover [average vegetation cover (sum of single species' covers in %) of all relevés with the respective species is provided in brackets] / Espèces herbacées comme indicatrices de la couverture végétale [couverture végétale moyenne (somme de la couverture individuelle de toutes les espèces) de tous les relevés contenant les espèces correspondantes est fournie entre parenthèses].**

	Sahel	N-Sudan	S-Sudan
<b>High vegetation cover</b>	<i>Trianthema portulacastrum</i> (121.86) <i>Boerhavia repens</i> (120.73) <i>Portulaca oleracea</i> (119.12) <i>Sida cordifolia</i> (117.78) <i>Cleome gynandra</i> (110.87) <i>Setaria pumila</i> (106.45) <i>Digitaria horizontalis</i> (105.8) <i>Ipomoea dichroa</i> (105.56) <i>Echinochloa stagnina</i> (105.13) <i>Sesamum alatum</i> (103.74)	<i>Hyparrhenia smithiana</i> (147.9) <i>Cissus adenocaulis</i> (146.75) <i>Cissus populnea</i> (142.2) <i>Cienfuegosia heteroclada</i> (133.25) <i>Schizachyrium sanguineum</i> (132.34) <i>Indigofera kerstingii</i> (130.67) <i>Andropogon tectorum</i> (130.6) <i>Cissus flavicans</i> (127.95) <i>Indigofera stenophylla</i> (125.89) <i>Stylosanthes fruticosa</i> (121)	<i>Schizachyrium platyphyllum</i> (116.88) <i>Melanthera elliptica</i> (108.89) <i>Aneilema paludosum</i> (104.22) <i>Setaria sphacelata</i> (104.01) <i>Fimbristylis ferruginea</i> (102.94) <i>Rhynchospora eximia</i> (101.4) <i>Tragia senegalensis</i> (100.83) <i>Aspilia angustifolia</i> (100.58) <i>Aspilia paludosa</i> (99.87) <i>Fimbristylis dichotoma</i> (98.88)
<b>Low vegetation cover</b>	<i>Polycarpaea linearifolia</i> (45.33) <i>Boerhavia coccinea</i> (42.25) <i>Cucumis melo</i> (36.94) <i>Andropogon fastigiatus</i> (35.66) <i>Tragus racemosus</i> (30.06) <i>Mollugo nudicaulis</i> (28.66) <i>Schizachyrium exile</i> (26.33) <i>Cleome scaposa</i> (24.82) <i>Euphorbia forskalii</i> (20.83) <i>Scilla sudanica</i> (5.08)	<i>Cleome viscosa</i> (60) <i>Justicia insularis</i> (58.75) <i>Triumfetta rhomboidea</i> (58.22) <i>Cyanotis longifolia</i> (56.28) <i>Blepharis maderaspatensis</i> (56.23) <i>Sporobolus festivus</i> (55.42) <i>Polycarpaea corymbosa</i> (55.03) <i>Pupalia lappacea</i> (55.03) <i>Ctenium elegans</i> (50.53) <i>Aspilia bussei</i> (45.17)	<i>Tacca leontopetaloides</i> (47.24) <i>Pandiaka involucreta</i> (47.17) <i>Crassocephalum togoense</i> (46.74) <i>Loudetiopsis kerstingii</i> (46.45) <i>Crotalaria retusa</i> (45.3) <i>Elionurus elegans</i> (44.42) <i>Ctenium villosum</i> (44.39) <i>Justicia insularis</i> (42.72) <i>Aeollanthus pubescens</i> (37.86) <i>Tragia vogelii</i> (37.54)

**Table 4: Woody species as indicators of vegetation cover [average vegetation cover (sum of single species' covers in %) of all relevés with the respective species is provided in brackets] / Espèces ligneuses comme indicatrices de la couverture végétale [couverture végétale moyenne (somme de la couverture individuelle de toutes les espèces) de tous les relevés contenant les espèces correspondantes est fournie entre parenthèses].**

	Sahel	N-Sudan	S-Sudan
<b>High vegetation cover</b>	<i>Dichrostachys cinerea</i> (72.04) <i>Acacia ataxacantha</i> (70.35) <i>Grewia bicolor</i> (65.28) <i>Grewia flavescens</i> (64.44) <i>Diospyros mespiliformis</i> (60.86) <i>Feretia apodanthera</i> (58.59) <i>Combretum micranthum</i> (57.56) <i>Acacia erythrocalyx</i> (54.5) <i>Boscia angustifolia</i> (54.07) <i>Cadaba glandulosa</i> (52.63)	<i>Dioscorea dumetorum</i> (134.6) <i>Dombeya buettneri</i> (124.2) <i>Combretum aculeatum</i> (114.16) <i>Hymenocardia acida</i> (107.34) <i>Bombax costatum</i> (94.2) <i>Grewia mollis</i> (88.15) <i>Flueggea virosa</i> (83.02) <i>Ziziphus mucronata</i> (82) <i>Terminalia laxiflora</i> (80.58) <i>Grewia lasiodiscus</i> (80.5)	<i>Paullinia pinnata</i> (79.59) <i>Ekebergia senegalensis</i> (76.35) <i>Gardenia ternifolia</i> (75.01) <i>Ochna rhizomatosa</i> (75) <i>Margaritaria discoidea</i> (70.07) <i>Ochna schweinfurthiana</i> (69.15) <i>Ficus glumosa</i> (68.86) <i>Lannea velutina</i> (66.7) <i>Diospyros mespiliformis</i> (63.59) <i>Grewia mollis</i> (63.42)
<b>Low vegetation cover</b>	<i>Grewia villosa</i> (31.9) <i>Acacia seyal</i> (31.69) <i>Combretum glutinosum</i> (30.05) <i>Balanites aegyptiaca</i> (28.06) <i>Acacia senegal</i> (27.94) <i>Acacia tortilis</i> (27.17) <i>Cadaba farinosa</i> (24.93) <i>Euphorbia balsamifera</i> (19.44) <i>Faidherbia albida</i> (16.41) <i>Leptadenia pyrotechnica</i> (13.93)	<i>Acacia seyal</i> (51.12) <i>Xeroderris stuhlmannii</i> (50.46) <i>Detarium microcarpum</i> (49.77) <i>Ficus glumosa</i> (49.28) <i>Parinari curatellifolia</i> (49.15) <i>Commiphora africana</i> (49.01) <i>Ziziphus mauritiana</i> (45.37) <i>Sarcocephalus latifolius</i> (33.37) <i>Albizia chevalieri</i> (30.7) <i>Terminalia macroptera</i> (12.27)	<i>Gardenia erubescens</i> (43.99) <i>Terminalia schimperiana</i> (43.59) <i>Bridelia scleroneura</i> (43.26) <i>Pseudocedrela kotschyi</i> (42.11) <i>Combretum adenogonium</i> (40.76) <i>Gardenia aqualla</i> (40.32) <i>Terminalia laxiflora</i> (38.49) <i>Piliostigma thonningii</i> (38.06) <i>Ximena americana</i> (36.15) <i>Cryptolepis oblongifolia</i> (32.76)

species are higher than for the South Sudanian ones. This may be an effect of large nature reserves of the WAP complex being located in this zone and having large stands of close-to-natural habitats.

The **South Sudanian** high vegetation cover indicators include gallery forest species like *Paullinia pinnata*, low vegetation cover indicators include species of bowé and other shallow soil sites (*Loudetiopsis kerstingii*, *Ctenium villosum*).

Vegetation plot data as used in this study has proven to be a good data source to identify species associated with different levels of vegetation cover or species richness. There are however potential problems with observational data in general that might affect the results: Mere observations without any further documentation of the species are difficult to verify. In this context the practice of depositing voucher specimens in scientific collections (in this case the Herbarium Senckenbergianum) proved very useful and enabled the authors to verify the identity of species.



The indicator species may be used by botanists and non-specialists alike. Indicator values could e.g. be used for spatial studies with distribution data from collection databases or georeferenced photo collections. For field studies, species identification is crucial but this has been facilitated for Burkina Faso in the last decade by new and updated print or online field guides (e.g. ARBONNIER 2009, SACANDÉ et al. 2012, DRESSLER et al. 2014).

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all contributors to our database and acknowledge funding by the European Commission for the UNDESERT project (243906) and the Hessian Initiative for the development of scientific and economic excellence (LOEWE) for the Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F).

#### REFERENCES

- ARBONNIER M (2009): Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 3ème ed. - Paris: MNHN & Versailles: Editions Quae.
- ATAHOLO M (2001): Pflanzensoziologische Untersuchungen der Segetalarten in der Sudanzone Westafrikas. - PhD thesis, Goethe-University Frankfurt.
- ATAHOLO, M & WITTIG R (2011): The vegetation of recently fallowed Masakwa fields in the Chad basin. - *Flora Veg Sudano-Sambesica* 14: 24-28.
- BÖHM M (1998): Dorfvegetation in Burkina Faso. - Diploma thesis, J.W. Goethe-Universität Frankfurt, unpublished.
- BÖHM M (2001): Dorfvegetation im Sahel und Subsahel Burkina Fasos. - *Ber Sonderforschungsbereich 268* 17: 193-225.
- BREMAN H, CISSÉ AM (1977): Dynamics of Sahelian pastures in relation to drought and grazing. *Oecol* 28: 301-315.
- CHARNEY JM, QUIRK WJ, CHOW SH & KORNFIELD J (1977): A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *J Atmosphere Sci* 34:1366–1386.
- DENSCHLAG J (1998): Ethnobotanische und pflanzensoziologische Untersuchungen der Gehölzvegetation bei den Fulbe im Südosten von Burkina Faso (Westafrika). - Diploma thesis, Goethe-University Frankfurt, unpublished.
- DRESSLER S, SCHMIDT M & ZIZKA G (2014): African Plants – a photo guide. URL: <http://www.africanplants.senckenberg.de>.
- ERPENBACH A, BERNHARDT-RÖMERMANN M, WITTIG R, THIOMBIANO A & HAHN K (2013): The influence of termite-induced heterogeneity on savanna vegetation along a climatic gradient in West Africa. *J Trop Ecol* 29: 11-23.
- GONZALEZ P (2001): Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Clim Res* 17: 217-228.
- GONZALEZ P, TUCKER CJ & SY H (2012): Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate. *J Arid Environment* 78: 55–64.
- GUINKO S (1984): Végétation de la Haute Volta. - Dissertation, Université de Bordeaux III.
- HAEUPLER H (1982): Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. - Vaduz: J. Cramer.
- HIJMANS RJ, CAMERON SE, PARRA JL, JONES PG & JARVIS A (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Internat J Climatol* 25: 1965-1978.
- JANSSEN T, SCHMIDT M, DRESSLER S, HAHN-HADJALI K, HIEN M, KONATÉ S, LYKKE AM, MAHAMANE A, SAMBOU B, SINSIN B, THIOMBIANO A, WITTIG R & ZIZKA G (2011) Addressing data property rights concerns and providing incentives for collaborative data pooling: the West African Vegetation Database approach. *J Veg Sci* 22: 614-620.
- KÉRÉ U (1996): Die Dorf- und Savannenvegetation in der Region Tenkodogo (Burkina Faso). – PhD thesis, Goethe-University Frankfurt.
- KÉRÉ U (1998): Vegetation und Wildpflanzennutzung in der Region Tenkodogo (Burkina Faso) / Végétation et utilisation des plantes spontanées dans la région de Tenkodogo (Burkina Faso). - *Étude flore vég Burkina Faso* 4: 3-55.
- KIRCHMAIR I (2009): Flora und Vegetation auf Termitenhügeln in Nordbenin. – Diploma thesis, Goethe University Frankfurt, unpublished.
- KIRCHMAIR I, SCHMIDT M, HAHN K, ERPENBACH A, ZIZKA G (2012): Biodiversity Islands in the Savanna – Analysis of the Phytodiversity on Termite Mounds in Northern Benin. *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica* 15: 3-14.
- KROHMER J (2004): Umweltwahrnehmung und -klassifikation bei Fulbegruppen in verschiedenen Naturräumen Burkina Fasos und Benins. – PhD thesis, Goethe University Frankfurt.
- KÜPPERS K (1996): Die Vegetation der Chaîne de Gobnangou. – PhD thesis, Goethe-University Frankfurt.
- MÜLLER J (2004): A Woody Plant Community with *Acacia ataxacantha* and *Anogeissus leiocarpa* from Northern Burkina Faso. - *Etudes flore vég Burkina Faso* 8: 39-44.
- MÜLLER J & WITTIG R (2002): L'état actuel du peuplement ligneux et la perception de sa dynamique par la population dans le Sahel burkinabé - présenté à l'exemple de Tintaboora et de Kollangal Alyaakum / Aktueller Zustand der Gehölzvegetation sowie Wahrnehmung ihrer Dynamik durch die Bevölkerung im burkinischen Sahel – dargestellt am Beispiel von Tintaboora und Kollangal Alyaakum. - *Etudes flore vég Burkina Faso* 6: 19-30
- MÜLLER J & WITTIG R (2004): The Importance of *Acacia L.* (Mimosaceae) for the vegetation in the Sahelian Region of Burkina Faso. - *Etudes flore vég Burkina Faso* 8: 27-38.
- MÜLLER JV (2013): Floristic and structural pattern and current distribution of tiger bush vegetation in Burkina Faso (West Africa) assessed by means of belt transects and spatial analysis. *Appl Ecol Environment Research* 11: 153–171.
- NIASSE M, AFOUDA A & AMANI, A (Eds.) (2004): Reducing West Africa's Vulnerability to Climate Impacts on Water Resources, Wetlands and Desertification: Elements for a Regional Strategy for Preparedness and Adaptation. – IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 66pp.
- RIETKERK M, KETNER P, STROOSNIJDER L & PRINS HHT (1996) Sahelian Rangeland Development; A Catastrophe? *J Range Management* 49: 512–519.
- SACANDÉ M, SANOU L & BEENTJE H (2012): Guide d'identification des arbres du Burkina Faso. – Kew: Royal Botanic Gardens.
- SCHMIDT M (2006): Pflanzenvielfalt in Burkina Faso - Analyse, Modellierung und Dokumentation. – PhD thesis, Goethe University Frankfurt.
- SCHMIDT M, KÖNIG K & MÜLLER JV (2008): Modelling species richness and life form composition in Sahelian Bur-

kina Faso with remote sensing data. *J Arid Environment* 72: 1506-1517.

SCHMIDT M, JANSSEN T, DRESSLER S, HAHN K, HIEN M, KONATÉ S, LYKKE AM, MAHAMANE A, SAMBOU B, SINSIN B, THIOMBIANO A, WITTIG R & ZIZKA G (2012): The West African Vegetation Database. *Biodivers Ecol* 4: 105-110.

THIOMBIANO A, SCHMIDT M, DRESSLER S, OUÉDRAOGO A, HAHN K & ZIZKA G (2012): Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. *Boissiera* 65. – Conservatoire et Jardin botaniques, Genève, 391 p.

UNCCD (1994): United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Document Nr. A/AC.241/27, Paris. URL: <http://www.unccd.int/Lists/Site-DocumentLibrary/conventionText/conv-eng.pdf>.

WEZEL A & LYKKE AM (2006): Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge. *Environment Development Sustainability* 8: 553–567.

WITTIG R, HAHN-HADJALI K & THIOMBIANO A (2003): Les particularités de la végétation et de la flore de la Chaîne de Gobnangou dans le Sud-Est du Burkina Faso / Besonderheiten von Flora und Vegetation der Chaîne de Gobnangou und ihres Umlands im Südosten Burkina Fasos. - Étude flore vég Burkina Faso 5: 49-64.

WITTIG R, BECKER U & ATAHOLO M (2011): Weed communities of arable fields in the Sudanian and the Sahelian zone of West Africa. - *Phytocoenol* 41: 107-141.

ZWARG A (2008): Flora und Vegetation auf Lateritkrusten im Südosten Burkina Fasos. – Diploma thesis, Goethe University Frankfurt, unpublished.

ZWARG A, SCHMIDT M, JANSSEN T, HAHN K & ZIZKA G (2012): Plant diversity, functional traits and soil conditions of grass savannas on lateritic crusts (bowé) in south eastern Burkina Faso. *Flora Veg Sudano-Sambesica* 15: 15–24.

**E-mail adress:** marco.schmidt@senckenberg.de

## Composition floristique et état des peuplements ligneux des inselbergs suivant un gradient climatique au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest)

Elycée Tindano<sup>1</sup>, Souleymane Ganaba<sup>2</sup> et Adjima Thiombiano<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Ouagadougou, UFR/SVT, Laboratoire de Biologie et Ecologie végétales, BP: 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>(2)</sup> Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), CREAM de Kamboinsée, Département Productions Forestières, BP: 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

**Résumé:** Au Burkina Faso les études menées sur la végétation des inselbergs sont fragmentaires et insuffisantes. Il existe très peu de données sur la végétation des inselbergs et aucune étude n'a encore été menée sur cette végétation suivant un gradient climatique. L'objectif de cette étude est de décrire la végétation ligneuse des inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques du Burkina Faso suivant un gradient climatique nord-sud. Les données ont été collectées dans des placeaux de 30 m x 30 m, suivant un échantillonnage stratifié et aléatoire. Des indices de diversité, d'équitabilité, de valeur d'importance et de similitude ont été calculés pour la végétation des inselbergs granitiques et gréseux des secteurs phytogéographiques. Un total de 188 relevés a été réalisé. 143 espèces ligneuses ont été recensées et se répartissent inégalement dans les quatre secteurs phytogéographiques. Plus de trois quarts moitié (79%) de ces espèces se retrouve dans le secteur Sud-soudanien, ce qui le rend plus riche floristiquement. Le secteur le moins riche en espèces est le secteur Nord-sahélien avec 37 espèces (26%). La richesse floristique augmente du nord au sud du gradient climatique et met en évidence la variation taxonomique suivant le gradient latitudinal de précipitation. Les 143 espèces ligneuses recensées sur les inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques représentent 65 % des espèces ligneuses et 7 % de la flore totale du Burkina Faso. Les facteurs topographie et nature du substrat n'ont pas un effet significatif ( $p > 0,05$ ) sur la composition floristique des inselbergs. La densité et la surface terrière des peuplements ligneux varient significativement suivant l'altitude ( $p < 0,05$ ). Le climat, particulièrement le niveau de précipitation, reste le principal facteur qui influe sur la répartition des taxa devant la nature du substrat, la topographie et l'anthropisation. Les peuplements ligneux des inselbergs des secteurs sud-sahélien et nord-soudanien sont les moins denses. Ils subissent plus de pression anthropique par rapport aux peuplements ligneux des secteurs Nord-sahélien et Sud-soudanien. Les inselbergs les plus hauts ont une végétation ligneuse plus dense que les inselbergs les plus bas.

**Mots clés:** rochers découverts, flore, climat, conservation.

### SPECIES COMPOSITION AND ECOLOGICAL RELATIONS OF THE WOODY POPULATION OF INSELBERGS ALONG A CLIMATIC GRADIENT IN BURKINA FASO (WEST-AFRICA)

**Summary:** In Burkina Faso, studies on inselberg vegetation are sporadic and fragmentary. There is very little data on the vegetation of inselbergs and no study has yet been conducted on this vegetation along a climatic gradient. This study aims at describing the woody vegetation of inselbergs of Burkina Faso's four phytogeographical sectors according to a climatic gradient from north to south. Data were collected in small squares of 900 m<sup>2</sup> (30 m x 30 m) by using a stratified and random sampling. Diversity, equitability, importance value and similarity indices were calculated for the vegetation of granite and sandstone inselbergs of each phytogeographical sector. 188 relevés were performed and 143 woody species were recorded, most of them unevenly distributed in the four phytogeographical sectors. More than three quarters (79%) of these species were found in the south-sudanese sector, the lowest species richness was stated in the north-sahelian sector with 37 woody species (26%). Species richness increases from the north to the south and highlights the taxonomic variation along the latitudinal gradient of precipitation. The 143 woody species found represent 65% of the woody species and 7% of the total flora of Burkina Faso. Topography and nature of the rock have no significant ( $p > 0,05$ ) effect on the floristic composition of the inselbergs. Density and basal area of woody plants varied significantly with altitude ( $p < 0,05$ ). Climate, especially precipitation level, remains the main factor that affects the distribution of taxa on the inselbergs. Due to higher human pressure, the woody population of south-sahelian and north-sudanese inselbergs was less dense than that of the two other regions.

**Key words:** opened rocks, flora, climate, conservation.

### ARTENZUSAMMENSETZUNG UND ÖKOLOGISCHE BEZIEHUNGEN DER GEHÖLZBESTÄNDE VON INSELBERGEN ENTLANG EINES KLIMAGRADIENTEN IN BURKINA FASO (WESTAFRIKA)

**Zusammenfassung:** Aus Burkina Faso liegen nur fragmentarische und meist kurzfristige Studien der Vegetation von Inselbergen vor. Entsprechend existieren nur wenige Daten; eine Untersuchung entlang eines Klimageradienten wurde noch nicht durchgeführt. Die vorliegende Arbeit, in deren Rahmen Inselberge in allen vier pflanzengeografischen Regionen Burkina Fasos untersucht wurden, schließt diese Lücke. Die Daten wurden auf 188 mittels einer stratifizierten Zufallsprobe ausgewählten Flächen von 30 m x 30 m erhoben. Für jeden geografischen Sektor wurden Diversität, Equitabilität, Gewicht und Ähnlichkeitskoeffizient berechnet. Dabei wurden 143 Gehölzarten gefunden, was 65 % der Gehölz- und 7 % der Gesamtflora von Burkina Faso entspricht. Die meisten Arten waren ungleich entlang des Gradienten, wobei mehr als drei Viertel im südsudanischen Sektor vorkamen, während im nordsahelischen Bereich die geringste Artenzahl ermittelt wurde. Topografie und Material der Felsen zeigten keine Korrelation zur Artenzusammensetzung, während die Dichte und die Basalfläche der Gehölze signifikant mit der Höhe der Inselberge korrelierte ( $p < 0,05$ ). Das Klima, insbesondere die Höhe der Niederschläge,

erwiesen sich als hauptverantwortlich für die Zusammensetzung der Flora der Inselberge. Wohl auf Grund des dort höheren anthropogenen Drucks ist die Gehölzvegetation der südsahelischen und norsudanischen Inselberge weniger dicht als die der beiden anderen Regionen.

**Schlagworte:** offene Felsflur, Flora, Klima, Naturschutz.

## 1 INTRODUCTION

L'éveil collectif sur la menace de la biodiversité reste encore théorique et son érosion se poursuit à une vitesse inestimable (SINSIN & KAMPMANN 2010). Elle se manifeste par une dégradation du couvert végétal à un rythme jamais observé auparavant (INOUSSA et al. 2013).

Au Burkina Faso, la dégradation du couvert végétal et la régression des populations d'espèces ligneuses sont perceptibles avec un taux de réduction de 0,87% par an (MEDD 2011). La dégradation galopante du couvert végétal en général, et celui des ligneux en particulier, contraint la population à s'orienter vers les écosystèmes azonaux autre fois marginalisés à la recherche de biens et services. C'est le cas des inselbergs dont l'importance pour les populations locales est démontrée par des études antérieures (MÜLLER 2008, TINDANO et al. 2011). Un inselberg se définit comme étant un affleurement rocheux généralement constitué de granite ou de gneiss mais aussi de grès (WHITE 1986). Il est caractérisé par un isolement par rapport au relief environnant et par son indépendance du réseau hydrologique régional (BARTHLOTT et al. 1993; POREMSKI 2007; KOUASSI et al. 2009). Les inselbergs, véritables refuges pour les plantes, ont fait l'objet de peu d'études au Burkina Faso et des difficultés se posent quant à la comparaison de leur composition floristique sur l'étendue du territoire (MÜLLER 2008). Les études sur les inselbergs restent de ce fait fragmentaires au Burkina Faso. En effet, les rares études menées sur les inselbergs sont celles de MÜLLER (2008), TINDANO et al., (2011) dans la zone sahélienne qui ont révélé l'anthropisation de ces écosystèmes. A ces études s'ajoutent celles de KÜPPERS & WITTIG (1995), WITTIG et al. (2000), OUEËDRAOGO (2009) au sud-est du Burkina Faso. Malgré les études déjà menées, nous ne disposons pas aujourd'hui des données sur la végétation des inselbergs le long du gradient climatique nord-sud du Burkina Faso. Or, le climat est l'un des plus importants facteurs écologiques qui expliquent la distribution des espèces et la dynamique des peuplements végétaux (THIOMBIANO et al. 2006). D'où la nécessité de disposer des données sur les inselbergs suivant le gradient climatique pour une gestion durable de leur ressources végétales. L'objectif général de cette étude est de caractériser la végétation ligneuse des inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques du Burkina Faso. L'étude s'articule autour des hypothèses suivantes: (1) la composition et la diversité floristiques des inselbergs augmentent suivant le gradient climatique nord-sud, (2) les inselbergs sont des zones refuges pour les espèces ligneuses menacées sur les plaines. Pour vérifier ces hypothèses, l'étude se propose (i) de comparer la composition floristique entre les inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques, (ii) d'évaluer l'impact anthropique (feu de brousse, agriculture, coupe du bois, pâturage) sur la végétation ligneuse des inselbergs.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Zone d'étude

Le Burkina Faso est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, entre les latitudes 9°02' et 15°05' Nord et les longitudes 02°02'E et 05°03'E (THIOMBIANO et al. 2006; SAMBARÉ et al., 2010). Le Burkina Faso a été subdivisé en quatre secteurs phytogéographiques sur la base du climat, de la végétation et de la flore par FONTÈS & GUINKO, (1995) (Fig. 6).

### 2.2 Choix des inselbergs étudiés

Les inselbergs sont relativement présents le long de notre transect et présentent diverses formes et tailles. Les différentes formes rencontrées sont: les affleurements granitiques et gréseux de quelques m (0,5 à 1 m) au dessus du sol (Fig. 1 et 2), les inselbergs en forme de dôme et les inselbergs tabulaires qui culminent entre 320 et 472 m (Fig. 3, 4 et 5). Le choix des sites s'est basé sur la concentration des inselbergs dans les secteurs phytogéographiques et les inselbergs ont été choisis en fonction de la représentativité, de l'homogénéité floristique et de la physiognomie de leur végétation. En se basant sur ces critères quatre inselbergs ont été retenus pour chaque secteur phytogéographique, soit au total seize (16) inselbergs pour toute l'étude (Fig. 6).

Le Burkina Faso est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, entre les latitudes 9°02' et 15°05' Nord et les longitudes 02°02'E et 05°03'E (THIOMBIANO et al. 2006; SAMBARÉ et al., 2010). Le Burkina Faso a été subdivisé en quatre secteurs phytogéographiques sur la base du climat, de la végétation et de la flore par FONTÈS & GUINKO, (1995) (Fig. 6).

### 2.3 Choix des inselbergs étudiés

Les inselbergs sont relativement présents le long de notre transect et présentent diverses formes et tailles. Les différentes formes rencontrées sont: les affleurements granitiques et gréseux de quelques m (0,5 à 1 m) au dessus du sol (Fig. 1 et 2), les inselbergs en forme de dôme et les inselbergs tabulaires qui culminent entre 320 et 472 m (Fig. 3, 4 et 5). Le choix des sites s'est basé sur la concentration des inselbergs dans les secteurs phytogéographiques et les inselbergs ont été choisis en fonction de la représentativité, de l'homogénéité floristique et de la physiognomie de leur végétation. En se basant sur ces critères quatre inselbergs ont été retenus pour chaque secteur phytogéographique, soit au total seize (16) inselbergs pour toute l'étude (Fig. 6).

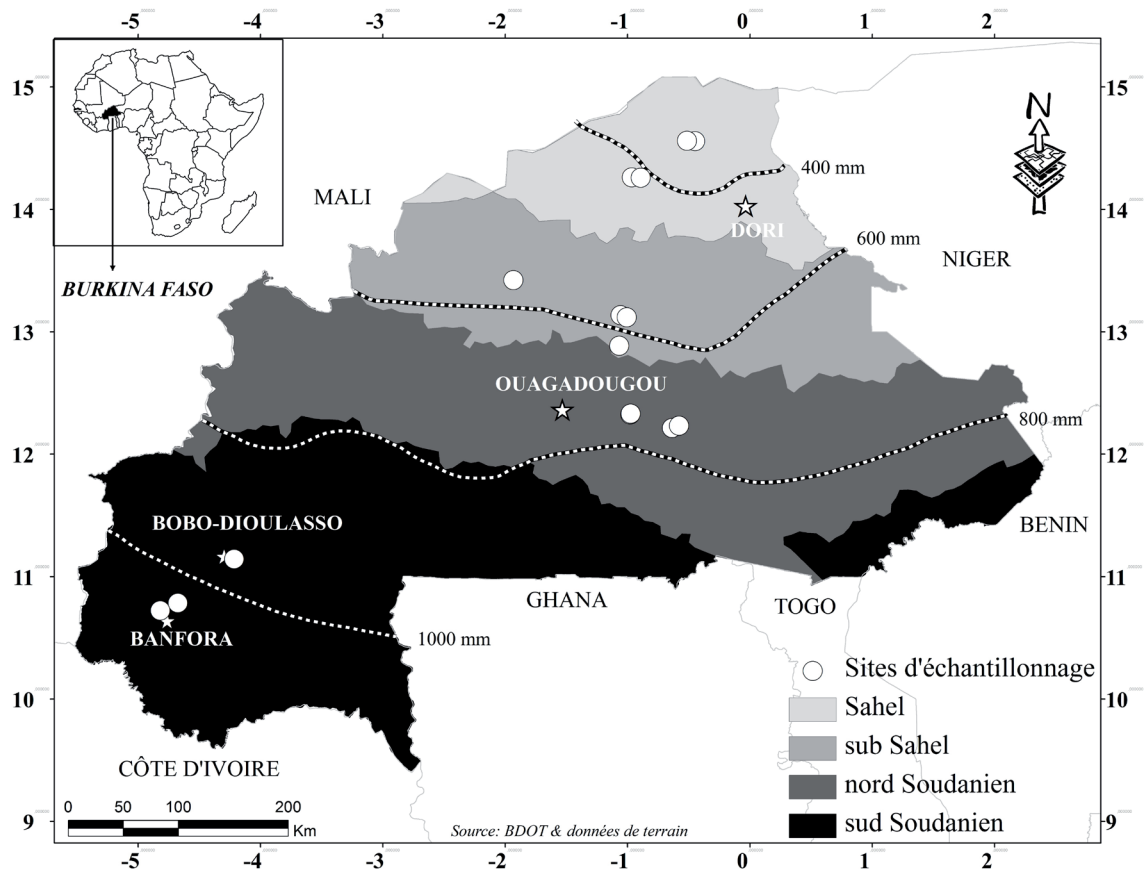


Fig. 1 : Localisation des sites de l'étude / situation of the inselbergs studied.



Fig. 2: Affleurement granitique, secteur nord-sahélien, Province de l'Oudalan (Daala) / granite outcrop; North-Sahélien sector, province of Oudalan (Daala); photo E. Tindano.



**Fig. 3:** Affleurement granitique, secteur sud-sahélien, Province du Sanmatenga (Dondolé) / granite outcrop; South-Sahélien sector, province of Sanmatenga (Dondolé); photo E. Tindano.



**Fig. 4:** Inselberg granitique en forme de dôme, secteur nord-soudanien, Province du Ganzourgou (Zorgho) / granite dome-shaped inselberg, North-Soudanien sector, province of Ganzourgou (Zorgho); photo E. Tindano.



**Fig. 5:** Inselberg granitique de forme tabulaire, secteur sud-soudanien, Province du Houet (Kotédougou) / granite shield-inselberg from sandstone, South-Soudanien sector, province of Houet (Kotédougou); photo E. Tindano.



**Fig. 6:** Inselberg gréseux de forme tabulaire, secteur sud-soudanien, Province du Houet (Koro) / sandstone-shield-inselberg, South-Soudanien sector, province du Houet (Koro); photo E. Tindano.

## 2.4 Collecte des données floristiques et dendrométriques

Pour la caractérisation floristique, des relevés ont été effectués durant les mois d'août 2011 à septembre 2013 sur les versants et les sommets des inselbergs. Les données ont été récoltées suivant un échantillonnage stratifié aléatoire, adopté par TRAORÉ & MANGARA, (2009). Les placeaux ont été installés sur les versants et les sommets en tenant compte de la nature du substrat (granite, gneiss ou grès) des inselbergs. Ils ont été disposés perpendiculairement au sens de ruissellement de l'eau en tenant compte de l'homogénéité physiognomique et floristique de la végétation. La superficie d'un placeau était de 30 m x 30 m (900 m<sup>2</sup>) utilisée par plusieurs auteurs pour l'inventaire de la végétation des inselbergs (KOUASSI et al. 2009, PARMENTIER et al. 2006) et bien d'autres écosystèmes (OUÉDRAOGO et al. 2008). Les données phytosociologiques ont été collectées suivant la méthode sigmatiste de BRAUN-BLANQUET (1932). Pour chaque relevé nous avons dressé la liste exhaustive des espèces végétales ligneuses affectées de leur coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. Les données dendrométriques ont été collectées dans les mêmes placettes de 900 m<sup>2</sup> que les données phytosociologiques. Les variables collectées sont: le nombre d'individus de chaque espèce ligneuse, le diamètre du tronc des ligneux ayant un diamètre supérieur ou égal à 5 cm ( $d \geq 5$ cm), (OUÉDRAOGO & THIOMBIANO 2012; TRAORÉ et al. 2012b). Le diamètre a été mesuré à 30 cm du sol en raison de la forte ramification de la plus part des espèces de la zone sahélienne (GANABA 2008) et de la déformation des troncs des plantes due à la pression anthropique (BOGNOUNOU 2009).

## 2.5 Analyse des données

### 2.5.1 Données floristiques

Les espèces locales et exotiques inventoriées ont été déterminées à partir des spécimens récoltés et identifiés à l'aide de plusieurs ouvrages (HUTCHINSON & DALZIEL 1954, 1958, 1963; BÉRHOUT 1967, 1971, 1974, 1975, 1976; AKOEGNINOU et al. 2006; ARBONNIER 2009). Les herbiers de l'Université de Ouagadougou et du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) ont servi également de références pour la comparaison et la détermination des noms des espèces. La nomenclature adoptée dans cet article est celle du catalogue des plantes vasculaire du Burkina Faso (THIOMBIANO et al. 2012).

Deux catégories de spectres ont été élaborées pour chaque groupe d'inselbergs des secteurs phytogéographiques. Le spectre brut, construit à partir du nombre d'espèces relevant d'un type biologique ou phytogéographique donné et le spectre pondéré est construit à partir de la pondération des espèces par le recouvrement moyen. L'étude ayant porté sur les espèces ligneuses uniquement, les types biologiques concernent les phanérophytes. Ce sont ceux définis par RAUNKIAER (1937) et utilisés dans l'étude de la végétation africaine (MBAYNGONE et al. 2008b; SAMBARÉ et al. 2010; INOUSSA et al. 2013) Les types phytogéographiques utilisés proviennent des subdivisions chronologiques de WHITE (1986) utilisés dans plusieurs études antérieures dont celles de OUÉDRAOGO (2006), OUOBA, 2006, OUÉDRAOGO et al. (2008).

Pour la comparaison de la diversité floristique des inselbergs les paramètres suivants ont été étudiés: la richesse spécifique moyenne par placeau (Nm), la richesse spécifique totale (Rt), l'indice de diversité de Shannon (H) et l'indice d'équitabilité de Pielou (E). L'indice de similitude de Sørensen (Cs) a été calculé à l'aide de CAP (*Communities Analysis Package*) version 2. 15, (2002).

-  $Cs = 2C / (2A + B + C)$  avec C: nombre d'espèces communes aux inselbergs; A = nombre d'espèces des inselbergs du secteur phytogéographique nord-sahélien; B = nombre d'espèces des inselbergs du secteur phytogéographique sud-soudanien.

-  $Nm$  (nombre moyen d'espèces ligneuses recensées par placeau) =  $Rt / Nr$ ; Nr: nombre de relevés

-  $Rt$  = nombre total d'espèces ligneuses inventoriées sur les inselbergs de chaque secteur phytogéographique.

-  $H = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  (abondance relative des ièmes espèces dans un placeau) =  $(n_i/N)$ ,  $n_i$ : nombre d'individus/espèce, N: nombre total d'individus par placeau. H varie en général entre 0 et 5.

-  $E = H/\ln S$ , L'équitabilité de Pielou mesure l'abondance relative des différentes espèces constituant la richesse d'une aire. Cela suppose une valeur évoluant entre 0 et 1 avec 1 étant l'équitabilité complète (SAMBARÉ et al. 2011).

-  $H_{max} = \ln S$ , S: nombre total des espèces dans la population.

Des analyses univariées (Anova de Kruskal-Wallis) ont été utilisées pour mesurer la différence de la diversité floristique et des indices de diversités entre les secteurs phytogéographiques.

### 2.5.2 Données dendrométriques

Les paramètres suivants ont été utilisés pour la description de la végétation ligneuse des inselbergs. Il s'agit principalement de:

- la densité ( $D = N/S$ ), N: nombre total d'individus ligneux, S: superficie en hectare, D s'exprime en nombre de pieds/hectare.

- le diamètre moyen

- la surface terrière =  $D_{20cm}^2 \cdot \pi / 4$  exprimé en m<sup>2</sup>/ha

- la dominance relative =

$$\frac{\text{Surface terrière totale par espèce}}{\text{Surface terrière totale de toutes les espèces}} \times 100$$

- la densité relative =

$$\frac{\text{Nombre d'individus par espèce}}{\text{Nombre total d'individus de toutes les espèces}} \times 100$$



- la fréquence =

$$\frac{\text{Nombre de relevés où l'espèce est présente}}{\text{Nombre total des relevés}} \times 100$$

- la fréquence relative =

$$\frac{\text{Fréquence par espèce}}{\text{Fréquence totale de toutes les espèces}} \times 100$$

- Indice de Valeur d'Importance (IVI) = Dominance relative + Densité relative + Fréquence relative

Les espèces ligneuses dominantes des inselbergs ont été déterminées à partir du calcul des IVI. Ainsi toute espèce ligneuse ayant un IVI  $\geq 10$  est considérée comme dominante par rapport à une autre de valeur inférieure.

L'impact de l'anthropisation à travers les traces d'exploitation humaine sur les ligneux. Pour ce faire nous avons affecté le code 1 à tout individu ligneux portant une trace d'exploitation (coupe; écorçage; déracinement; cueillette de feuilles, de fruits).

Le renouvellement des peuplements ligneux des inselbergs a été évalué par le calcul de la proportion des individus juvéniles (individus ayant un diamètre  $< 5$  cm) par rapport aux individus adultes (individus ayant un diamètre  $\geq 5$  cm). Les individus juvéniles et adultes ont été dénombrés dans chaque plateau.

Des analyses univariées (Anova de Kruskal-Wallis) ont été utilisées pour comparer les indices de diversité, la densité et la surface terrière en fonction de la nature du substrat et la position topographique (versant, sommet) des inselbergs et entre les secteurs phytogéographiques. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel Minitab 16-2.

### 3 RESULTATS

#### 3.1 Dominance des différents types d'inselbergs

Les inselbergs dominants dans les différents secteurs phytogéographiques sont les inselbergs granitiques suivis par les inselbergs gréseux. Par contre les inselbergs gneissiques n'ont pas été rencontrés le long de notre transect.

#### 3.2 Composition floristique et diversité spécifique

Les relevés effectués sur les inselbergs du secteur phytogéographique nord-sahélien ont permis de déterminer 37 espèces ligneuses réparties en 14 familles et 24 genres (Tableau 1). *Commiphora africana*, *Pterocarpus lucens*, *Acacia laeta*, *Guiera senegalensis*, *Acacia tortilis*, *Maerua crassifolia*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum micranthum* sont les espèces dominantes par ordre d'importance de leurs IVI (Tableau 2). La famille des Fabaceae-Mimosoideae est la plus représentée (18 %) suivie par les Capparaceae (13%),

les Apocynaceae (11 %) et les Malvaceae (11 %) (Tableau 3). Le nombre moyen d'espèces par relevé, l'indice de diversité de Shannon, la diversité maximale et l'équitabilité de Piélou sont respectivement  $8,07 \pm 2,25$  espèces par relevé,  $2,42 \pm 0,44$  bits, 3,37 et  $0,72 \pm 0,03$ . L'indice de diversité de Shannon indique une forte diversité sur les inselbergs de ce secteur car sa valeur (2,42) se rapproche beaucoup à celle de l'indice de diversité maximale (3,37). L'indice d'équitabilité de Piélou étant moyen indique la dominance de certaines espèces. Ces résultats montrent une bonne répartition des espèces en termes de recouvrement. En considérant la stratification, les versants des inselbergs abritent toutes les 37 espèces recensées, alors que sur les sommets on rencontre 27 espèces (Tableau 1). Les microphanérophytes avec un spectre brut de 54 % et un spectre pondéré de 58 % sont les types biologiques les plus abondants de la végétation ligneuse. Ils sont suivis par les nanophanérophytes avec un spectre brut de 38 % et un spectre pondéré de 23 % (Fig. 7). On note une absence des mésophytes, des chaméphytes et les géophytes sur les inselbergs de ce secteur. Les spectres brut et pondéré des types phytogéographiques montrent une prédominance des espèces soudano-zambéziennes (46 %, 37 %), suivi des sahélo-soudaniennes (24 %, 27 %) (Fig. 8).

53 espèces ligneuses ont été recensées sur les inselbergs du secteur sud-sahélien. Ces espèces sont réparties dans 19 familles et 34 genres (Tableau 1). Les espèces dominantes sont *Guiera senegalensis*, *Acacia seyal*, *Combretum micranthum*, *Sterculia setigera*, *Anogeissus leiocarpa*, *Balanites aegyptiaca* et *Lannea microcarpa* (Tableau 2). Les Fabaceae-Mimosoideae (23%), les Combretaceae (11 %), les Capparaceae (9%) et les Fabaceae-Caesalpinoideae (9%) sont les familles qui dominent sur les inselbergs de ce secteur. Le nombre moyen d'espèces par relevé est de  $7,47 \pm 3,36$  espèces. L'indice de diversité de Shannon, l'équitabilité de Piélou et la diversité maximale sont respectivement  $2,39 \pm 0,09$  bits  $0,66 \pm 0,02$  et 3,61 (Tableau 1). Les versants des inselbergs de ce secteur sont plus diversifiés que leurs sommets. En effet, c'est sur les versants que se rencontre le plus grand nombre d'espèces, de genres et de familles. L'indice de diversité de Shannon pour les versants se rapproche beaucoup plus à l'indice de diversité maximale. Les types biologiques sont dominés par les microphanérophytes (70%, 57%) et les nanophanérophytes (25 %, 41 %) (Fig. 9). On note une absence des mésophytes et des géophytes. Les espèces de liaison soudano-zambéziennes sont les plus abondantes (47 %; 89 %) viennent en suite les espèces de la liaison sahélo-soudaniennes (11 %, 3 %) (Fig. 10).

Les espèces ligneuses inventoriées sur les inselbergs du secteur nord-soudanien sont au nombre de 76 et se répartissent dans 28 familles et 57 genres. Les espèces ligneuses qui dominent sur les inselbergs de ce secteur sont respectivement *Detarium microcarpum*, *Bombax costatum*, *Sterculia setigera*, *Stereospermum kunthianum*, *Boswellia dalzielii*, *Lannea microcarpa*, *Vitellaria paradoxa* et *Lannea acida* (Tableau 2). Les familles dominantes sont les Combretaceae (14 %), les Fabaceae-Mimosoideae (14 %) et les Fabaceae-Caesalpinoideae (11 %). Sur un total de 76 espèces ligneuses recensées 59 espèces se rencontrent sur versants contre 31 espèces pour les sommets (Tableau 1). Les types biologiques dominants sont les microphanérophytes (73 %, 92 %) et nanophanérophytes (13 %, 1 %) (Fig. 11). Dans

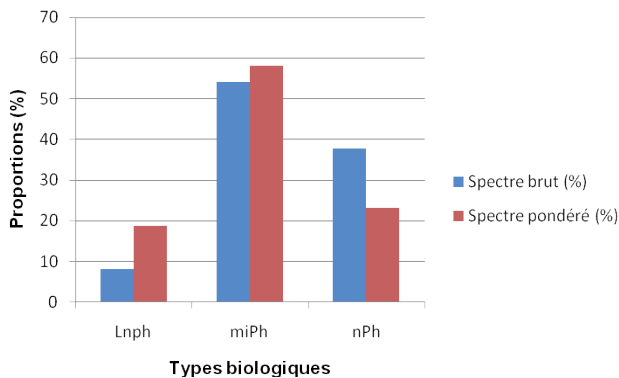
**Tableau 1: Diversité floristique des inselbergs / inselberg floristic diversity.**

Secteurs phyto-géographiques	Familles	Genres	Espèces	Nm	H	E	Hmax
Nord-sahélien	14	24	37	8,07 ± 2,25	2,42 ± 0,44	0,72 ± 0,03	3,37
Sud-sahélien	19	34	53	7,47 ± 3,36	2,39 ± 0,09	0,66 ± 0,02	3,61
Nord-soudanien	28	57	76	12,54 ± 3,14	2,68 ± 0,07	0,69 ± 0,02	3,87
Sud-soudanien	34	89	113	13,04 ± 5,59	2,56 ± 0,06	0,60 ± 0,01	4,25

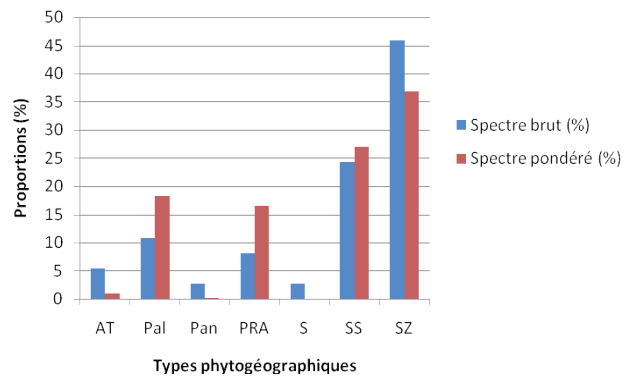
**Nm:** richesse spécifique moyenne par plateau, **H:** indice de diversité de Shannon, **E:** indice d'équitabilité de Piéluou, **Hmax:** indice de diversité maximale.

**Tableau 2: Indices de Valeurs d'Importances (IVI) des espèces dominantes des inselbergs / importance value index (IVI) of inselberg dominant species.**

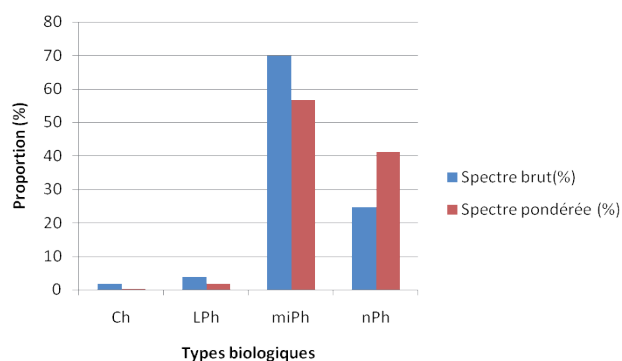
Espèces	nord-sahélien	sud-sahélien	nord-soudanien	sud-soudanien
<i>Acacia laeta</i>	27,52	4,82		
<i>Acacia tortilis</i>	17,47	1,66		
<i>Acacia seyal</i>	0,31	33,27	0,37	
<i>Anogeissus leiocarpa</i>		13,20	7,20	3,12
<i>Annona senegalensis</i>			1,01	14,26
<i>Balanites aegyptiaca</i>	13,52	11,62	3,36	
<i>Bombax costatum</i>			29,85	3,74
<i>Boswellia dalzielii</i>		9,42	13,34	-
<i>Burkea africana</i>			0,86	16,27
<i>Combretum micranthum</i>	12,91	39,31	4,39	
<i>Commiphora africana</i>	66,29	3,53		
<i>Detarium microcarpum</i>			67,07	4,51
<i>Guiera senegalensis</i>	26,31	72,33	2,75	2,68
<i>Lannea acida</i>		3,42	12,51	12,11
<i>Lannea microcarpa</i>	0,91	10,85	13,29	7,29
<i>Leptadenia hastata</i>	10,88			
<i>Maerua crassifolia</i>	15,10			
<i>Pteleopsis suberosa</i>			1,54	10,56
<i>Pterocarpus erinaceus</i>		4,03	3,29	15,14
<i>Pterocarpus lucens</i>	42,04			
<i>Sterculia setigera</i>		16,75	14,17	5,46
<i>Stereopermum kunthianum</i>		1,40	27,17	
<i>Terminalia laxiflora</i>			6,10	34,36
<i>Vitellaria paradoxa</i>		8,37	12,63	4,54



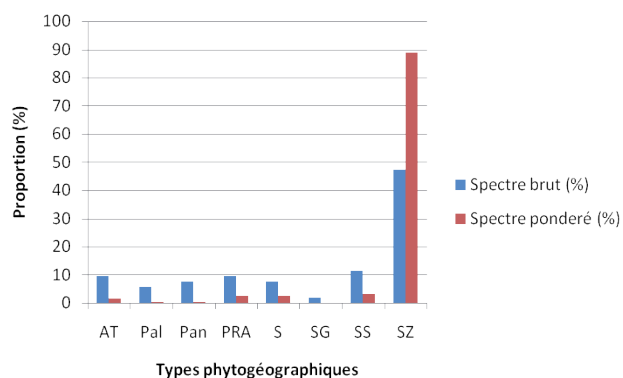
**Fig. 7:** Spectre des types biologiques des inselbergs du secteur nord-sahélien / life form spectrum found of North-Saharan inselbergs.



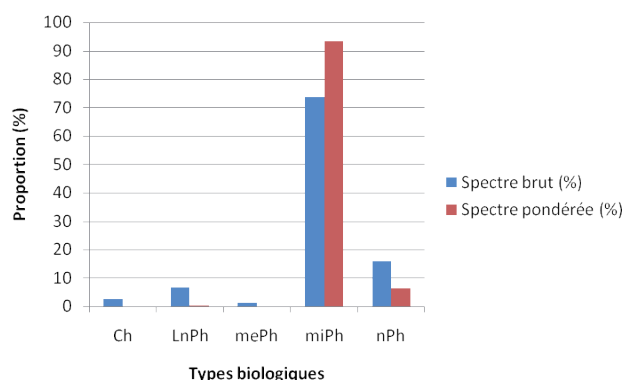
**Fig. 8:** Spectre des types phytogéographiques des inselbergs du secteur nord-sahélien / phytogeographic spectrum of north-sahelian inselbergs.



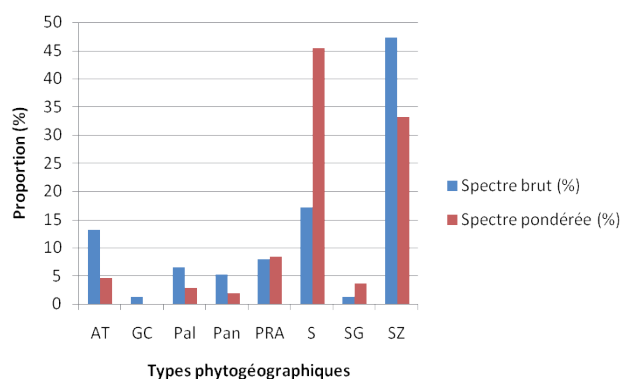
**Fig. 9:** Spectre des types biologiques des inselbergs du secteur sud-sahélien / life form spectrum of South-Saharan inselbergs.



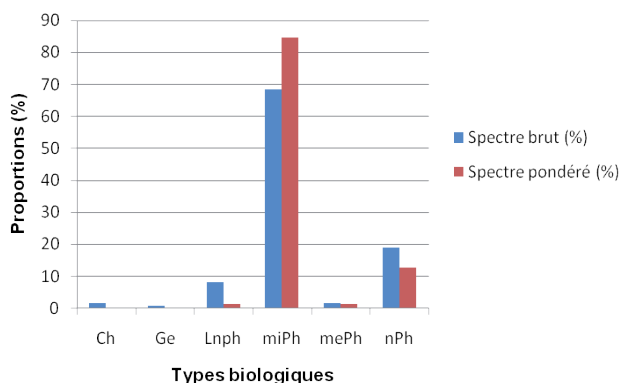
**Fig. 10:** Spectre des types phytogéographiques des inselbergs du secteur sud-sahélien / phytogeographic spectrum of south-sahelian inselbergs.



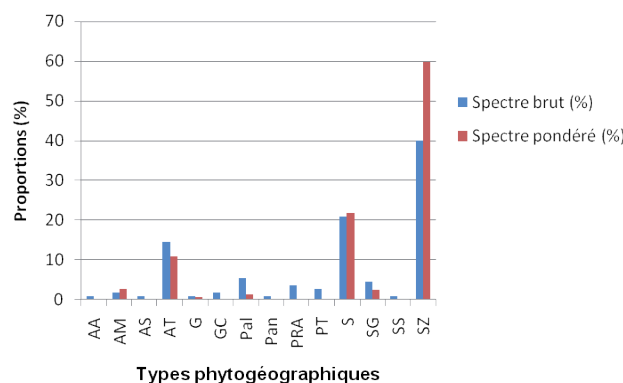
**Fig. 11:** Spectre des types biologiques du secteur nord-soudanien / life form spectrum of North-Sudanian inselbergs.



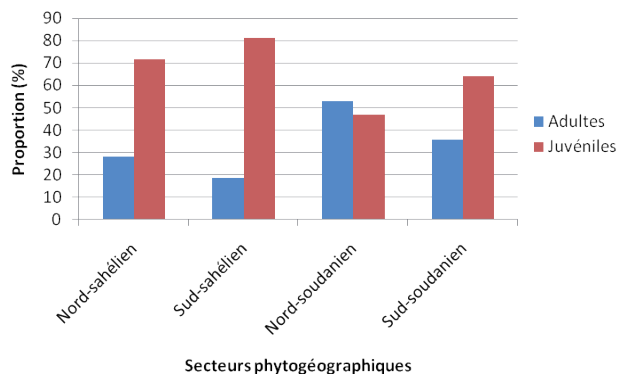
**Fig. 12:** Spectre des types phytogéographiques du secteur nord-soudanien / phytogeographic spectrum of North-Sudanian inselbergs.



**Fig. 13:** Spectre des types biologiques des inselbergs du secteur sud-soudanien / life form spectrum of South-Sudanian inselbergs.



**Fig. 14:** Spectre des types phytogéographiques des inselbergs du secteur sud-soudanien / phytogeographic spectrum of South-Sudanian inselbergs.



**Fig. 15:** Proportion des individus juvéniles dans les peuplements ligneux des inselbergs / proportion of juvenile individuals of woody species on inselbergs.

Tableau 3: Familles des espèces ligneuses recensées sur les inselbergs / woody species families from inselbergs.

Familles	nord-sahélien	sud-sahélien	nord-soudanien	sud-soudanien
Anacardiaceae	7,89	7,55	3,95	6,14
Annonaceae	-	-	1,32	1,75
Apocynaceae	10,53	1,89	5,27	7,01
Arecaceae	-	-	-	2,63
Zygophyllaceae	2,63	1,89	1,32	0,88
Bignoniaceae	-	1,89	2,63	0,88
Bixaceae	-	-	1,32	0,88
Burseraceae	2,63	3,77	2,63	-
Capparaceae	13,16	9,43	1,32	-
Chrysobalanaceae	-	-	-	1,75
Combretaceae	10,53	11,32	14,47	11,40
Dipterocarpaceae	-	-	-	0,88
Ebenaceae	-	1,89	1,32	0,88
Euphorbiaceae	5,26	1,89	3,95	3,51
Salicaceae	-	-	-	0,88
Lamiaceae	-	-	2,64	2,63
Fabaceae-Caesalpinoideae	5,26	9,43	10,53	7,89
Fabaceae-Mimosoideae	18,42	22,64	14,47	9,65
Fabaceae-Faboideae	5,26	5,66	6,58	6,14
Loganiaceae	-	-	2,63	1,75
Meliaceae	-	1,89	1,32	1,75
Menispermaceae	2,63	-	-	-
Moraceae	-	-	3,95	3,51
Ochnaceae	-	-	-	0,88
Polygalaceae	-	-	1,32	0,88
Phyllantaceae	-	-	2,63	1,75
Rhamnaceae	2,63	1,89	2,63	1,75
Rubiaceae	2,63	2,63	5,66	10,52
Rutaceae	-	-	-	0,88
Sapindaceae	-	-	1,32	0,88
Sapotaceae	-	-	1,32	2,63
Simaroubaceae	-	-	-	0,88
Sterculiaceae	-	1,89	1,32	0,88
Malvaceae	10,53	5,66	3,95	5,26
Vitaceae	-	-	1,32	0,88
Ximeniaceae	-	1,89	1,32	0,88

Code: - = absence

ce secteur nous notons également l'absence des géophytes sur les inselbergs. Les types phytogéographiques sont dominés par les espèces de la liaison soudano-zambézienne (48 %, 34 %) suivis par les espèces de la liaison Soudanienne (17 %, 46 %) (Fig. 12). Les versants regorgent le plus grand nombre d'espèces comparativement aux sommets des inselbergs.

Un total de 113 espèces ligneuses a été recensé sur les inselbergs du secteur sud-soudanien. Ces espèces sont réparties

en 89 genres et 34 familles (Tableau 1). Les espèces dominantes sont par ordre d'importance, *Terminalia laxiflora*, *Burkea africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Annona senegalensis*, *Lannea acida* et *Pteleopsis suberosa* (Tableau 2). Les familles dominantes sont les Combretaceae (11 %), les Rubiaceae (11 %) et les Fabaceae-Mimosoideae (10 %), (Tableau 3). Le nombre moyen d'espèces par relevé, l'indice de diversité de Shannon, la diversité maximale et l'équitabilité de Piélou sont respectivement,  $13,04 \pm 5,59$  espèces par re-

levé,  $2,56 \pm 0,06$  bits, 4,25 et  $0,60 \pm 0,01$  (Tableau 1). La diversité de Shannon indique une bonne diversité sur les inselbergs du secteur sud-soudanien et la faible valeur de l'indice d'équitabilité de Pielou illustre la dominance de certaines espèces sur les autres. Ces indices montrent une répartition irrégulière des espèces en termes de recouvrement. La répartition irrégulière des espèces est plus remarquable quand on considère les versants et les sommets. Les espèces se rencontrent beaucoup plus sur les versants que sur les sommets. Les types biologiques les plus abondants de ce secteur phytogéographique sont par ordre d'importance les microphanérophytes (68%; 84 %), suivis des nanophanérophites (19 %; 13 %) et les lianes nanophanérophites (8 %; 1 %). Toute fois, on note la présence des mésophanérophites, des chaméphytes et des géophytes (Fig. 13). Les spectres phytogéographiques (Fig. 14) présentent une abondance des espèces soudano-zambéziennes (40 %, 60 %) et des espèces soudanaises (21 %; 22 %). Fig. 13 montre également une très faible proportion des espèces Sahélo-sahariennes (1 %, <<1 %).

### 3.3 Les espèces spécifiques aux inselbergs de chaque secteur phytogéographique

Les espèces ligneuses rencontrées uniquement sur les inselbergs des secteurs nord-Sahélien, sud-sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien sont respectivement au nombre de 8 espèces, 3 espèces, 4 espèces et 46 espèces. Les espèces ligneuses communes aux inselbergs des quatre secteurs sont au nombre de 13 espèces (Tableau 6). Les indices de similitude de Sørensen (Cs) sont consignés dans le tableau 4 et varient significativement entre les différents secteurs phytogéographiques. Ces indices montrent qu'il y a une similitude, en matière de composition floristique, entre les inselbergs des secteurs nord-sahélien et sud-sahélien (Cs = 0,59); les inselbergs des secteurs sud-sahélien et nord-soudanien (Cs = 0,64); les inselbergs des secteurs nord-soudanien et sud-soudanien (Cs = 0,67) (Tableau 4).

**Tableau 4:** Indices de similarité de Sørensen entre inselbergs des différents secteurs phytogéographiques / Sørensen index between inselbergs of different phytogeographical sectors.

	nord-sahélien	sud-sahélien	nord-soudanien
sud-sahélien	0,59		
nord-soudanien	0,35	0,64	
sud-soudanien	0,19	0,42	0,67

**Tableau 5:** Caractéristiques structurales des peuplements ligneux des inselbergs suivant le gradient phytogéographique / structural characteristics of woody population of inselbergs along phytogeographical gradient.

Secteurs phytogéographiques	Densité moyenne (individus/ha)	Diamètre moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Surface terrière moyenne (m <sup>2</sup> /ha)
Nord-sahélien	730 ± 450	10,2 ± 5,2	2,6 ± 2,3	2,6 ± 1,9
Sud-sahélien	586 ± 187	11,7 ± 8,3	2,7 ± 1,5	1,6 ± 1,3
Nord-soudanien	592 ± 177	16,5 ± 10,6	3,8 ± 1,9	8,5 ± 3,4
Sud-soudanien	863 ± 342	17,0 ± 11,2	4,1 ± 2,3	3,4 ± 3,3

La composition floristique ne varie pas significativement en fonction de la nature du substrat des inselbergs. L'indice de Sørensen obtenu (Cs = 0,70) indique une forte similarité entre les inselbergs granitiques et les inselbergs gréseux.

Les sommets et les versants présentent également une forte similarité (Cs = 0,89) en terme de richesse floristique. La majorité des espèces locales inventoriées se rencontrent aussi bien sur les versants que sur les sommets. Ce qui n'est pas le cas des espèces exotiques (*Azadirachta indica* A. Juss. et *Anacardium occidentale* L.) qui se rencontre uniquement sur les versants.

### 3.4 Etat des peuplements ligneux

#### 3.4.1 Paramètres structuraux

La densité moyenne des ligneux varie significativement suivant les secteurs phytogéographiques ( $p = 0,000$ ). Elle est de  $729,31 \pm 449,64$  pieds/ha pour le secteur nord-sahélien,  $586,05 \pm 186,51$  pieds/ha pour le secteur sud-sahélien,  $592,31 \pm 177,10$  pieds/ha pour le secteur nord-soudanien et  $863,04 \pm 342,09$  pieds/ha pour le secteur sud-soudanien (Tableau 5). Toute fois on remarque une faible densité moyenne pour les secteurs sud-sahélien et nord-soudanien. Le diamètre moyen des ligneux augmente suivant le gradient climatique. Il est de  $10,23 \pm 5,20$  dans le secteur nord-sahélien,  $11,67 \pm 8,27$  dans le secteur sud-sahélien,  $16,49 \pm 10,60$  dans le secteur nord-soudanien et  $16,99 \pm 11,21$  dans le secteur sud-soudanien. La hauteur moyenne comme le diamètre moyen augmente suivant le gradient. Elle est respectivement de  $2,64 \pm 2,28$ ;  $2,74 \pm 1,49$ ;  $3,81 \pm 1,91$ ;  $4,05 \pm 2,26$  dans les secteurs nord-sahélien, sud-sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien (Tableau 5). La surface terrière moyenne varie également significativement suivant les secteurs phytogéographiques ( $p = 0,000$ ). Elle est respectivement de  $2,56 \pm 1,88$ ,  $1,58 \pm 1,25$ ,  $8,50 \pm 3,44$  et  $3,42 \pm 3,28$  pour les secteurs nord-sahélien, sud-sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien. Les inselbergs sur lesquels on enregistre plus de ligneux portant des traces d'exploitation sont ceux des secteurs sud-sahélien (45 %) et nord-soudanien (14 %). La variation de la densité moyenne et de la surface terrière moyenne entre les versants et les sommets n'est pas significative (0,95 et 0,06, respectivement pour la densité moyenne et la surface terrière moyenne). Quant au taux d'exploitation, il varie significativement en fonction de la topographie ( $p < 0,0001$ ). Il est plus faible sur les sommets que sur les versants (Tableau 5).

### 3.4.2 Renouveaulement des peuplements ligneux des inselbergs

Les individus juvéniles (toutes espèces confondues) dominent dans les peuplements ligneux des secteurs nord-sahélien, sud-sahélien et sud-Soudanien (Fig. 15). Dans le secteur nord-sahélien les individus jeunes représentent 72 % de la population tandis que les individus adultes représentent 28 %. Dans la population ligneuse du secteur sud-sahélien les juvéniles représentent 81 % des individus alors que les adultes représentent 19 % des individus. Sur les inselbergs du secteur sud-soudanien les individus juvéniles dominent dans la population ligneuse (65 %) par rapport aux individus adultes qui représentent 36 % de la population. Par contre dans le secteur nord-soudanien ce sont les individus adultes qui dominent dans la population ligneuse. En effet, dans ce secteur les individus adultes représentent 53 % de la population contre 47 % d'individus juvéniles.

Le calcul de la proportion des individus jeunes et adultes suivant la topographie (versant, sommet) donne les mêmes tendances (Tableau 6). Pour les secteurs nord-sahélien, sud-sahélien et sud-soudanien les individus jeunes dominent sur les versants et sur les sommets des inselbergs. On enregistre l'effet contraire pour le secteur nord-soudanien où les individus adultes dominent à tous les niveaux.

**Tableau 6:** Densité moyenne (pieds/ha) des individus adultes et des individus juvéniles / mean density (individual/ha) of adult and juvenile individual.

Secteurs phytogéographiques	Adultes	Juvéniles
Nord-sahélien	187 ± 103	478 ± 428
Sud-sahélien	109 ± 65	477 ± 190
Nord-soudanien	315 ± 147	278 ± 158
Sud-soudanien	314 ± 205	566 ± 197

## 4 DISCUSSION

### 4.1 Composition floristique et diversité spécifique

Les 143 espèces ligneuses recensées sur les inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques représentent 65 % des espèces ligneuses et 7 % de la flore totale du Burkina Faso. En effet, le Burkina Faso compte au total 2067 espèces végétales dont 220 espèces ligneuses (THIOMBIANO et al. 2012). Les inselbergs abritent de ce fait une bonne partie des espèces ligneuses du Burkina Faso. La richesse et diversité floristiques varient significativement entre les secteurs phytogéographiques. Cette variation s'illustre par la variation des indices de diversité de Shannon, d'équitabilité de Piéluou ( $p = 0,012$ ,  $p = 0,001$  respectivement) et de l'indice de diversité maximale (Tableau 1). *Anogeissus leiocarpa*, *Combretum micranthum*, *Maerua crassifolia*, *Pterocarpus lucens*, *Lannea microcarpa* et *Sterculia setigera*, espèces menacées des plaines du domaine sahélien, *Bombax costatum*, *Detarium microcarpum*, *Boswellia dalzielii*, *Pterocarpus erinaceus*, *Sterculia setigera*, *Stereospermum kunthianum* et *Vitellaria paradoxa*, espèces menacées des plaines du domaine soudanien (THIOMBIANO & KAMPMANN 2010, TRAORÉ et al. 2011), se révèlent dominantes sur les insel-

bergs. Cet état de fait exprimerait le caractère refuge des inselbergs pour ces 12 espèces. Mais il faut noter que ces 12 espèces ne sont pas restreintes aux inselbergs, seulement elles subissent moins de pressions anthropiques sur les inselbergs que sur les plaines.

Dans le secteur nord-sahélien, les inventaires floristiques réalisés par GANABA (1994, 2008) et OUEDRAOGO (2006), ont permis de recenser respectivement 56, 34 et 53 espèces ligneuses pour l'ensemble des écosystèmes exceptés les inselbergs. Le recensement de 37 espèces ligneuses sur les inselbergs au cours de cette étude, montre que ces écosystèmes renferment une tranche très importante de la composition floristique de la végétation ligneuse du Sahel strict. Les mêmes auteurs ont mentionné également la dominance des Fabaceae-Mimosoideae, des Capparaceae, des Asclepiadaceae, des Combretaceae et des Malvaceae dans la partie septentrionale du domaine sahélien. Ces familles seraient donc caractéristiques du domaine sahélien du Burkina Faso. Du point de vue physiognomique, la végétation des inselbergs du secteur nord-sahélien est dominée par les steppes arbustives où les ligneux dépassent rarement 7 m de hauteur. Cette physiognomie se justifie par la large dominance des microphanérophytes et des nanophanérophytes, et l'absence remarquable des mésophanérophytes et des mégaphanérophytes. En effet, les deux types biologiques (microphanérophytes et nanophanérophytes) représentent 921 % et 81 % respectivement du spectre brut et du spectre pondéré des types biologiques du secteur nord-sahélien. Pour le spectre phytogéographique, nos résultats sont similaires à ceux de OUEDRAOGO (2006) qui a aussi souligné la dominance des éléments soudano-zambéziens et sahélo-sahariens.

La dominance des Fabaceae-Mimosoideae, des Combretaceae, des Capparaceae et des Fabaceae-Caesalpinioideae dans les secteurs sud-sahélien et nord-soudanien est en conformité avec ceux de THIOMBIANO (1996) et de SAVADOGO et al. 2010. La dominance des Fabaceae-Mimosoideae et des Combretaceae sur les inselbergs de ces secteurs révèle un climat généralement sec (AUBREVILLE 1950). Ce pendant, l'abondance des espèces des liaisons soudano-zambésienne et soudanienne dans le secteur nord-soudanien met en évidence le caractère soudanien de la flore de ce secteur. La prédominance des microphanérophytes et des nanophanérophytes incarne la dominance des savanes dans ces deux secteurs.

Certaines familles dominantes (Rubiaceae, Fabaceae-Caesalpinioideae, Fabaceae-Mimosoideae) du secteur sud-soudanien ont été citées par KOUASSI et al. (2009), comme familles dominantes de la végétation des inselbergs du sud-est de la Côte d'Ivoire. Les Rubiaceae et les Fabaceae-Caesalpinioideae ont également été cités parmi les familles dominantes des inselbergs du Gabon et du Cameroun respectivement par n°Gok BANAK (2005) et VILLIERS (1981). Ces deux familles font partie des principales familles des inselbergs des zones de forêt (KOUASSI et al. 2009). La dominance des Rubiaceae et Fabaceae-Caesalpinioideae montre alors la supériorité de l'humidité du secteur sud-soudanien par rapport aux trois autres secteurs. En effet, le secteur sud-soudanien est le secteur le plus humide des secteurs phytogéographiques du Burkina Faso. Il reçoit 900 à 1100 mm d'eau par an et la saison pluvieuse dure 6 à 7 mois FONTÈS

Tableau 7: Liste des espèces ligneuses recensées sur les inselbergs / list of woody species inventoried on inselbergs.

Types biol.	Types phyto-géographiques	Familles	Espèces végétales	Sahélien		Soudanien	
				nord-	sud-	nord-	sud-
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	+	+	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia dudgeonii</i> Craib. ex Hall.	-	-	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia erythrocalyx</i> Brenan	-	+	+	+
miPh	S	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia gourmaensis</i> A. Chev.	-	+	-	-
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia laeta</i> R. Br. ex Benth.	+	+	-	-
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia macrostachya</i> Reichenb. ex DC.	+	+	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex. Del.	+	+	+	-
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia seyal</i> Del.	+	+	+	-
miPh	AT	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia sieberiana</i> DC.	-	+	+	+
miPh	SS	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia tortilis</i> (Forssk.) Hayne	+	+	-	-
miPh	S	Malvaceae	<i>Adansonia digitata</i> L.	-	-	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Azelia africana</i> SM.	-	-	-	+
nPh	AT	Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i> P. Beauv.	-	-	+	+
mPh	PT	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	-	-	-	+
mPh	S	Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	-	-	+	+
nPh	SZ	Combretaceae	<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr.	-	+	+	+
miPh	SZ	Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	-	+	+	+
miPh	SG	Apocynaceae	<i>Baissea multiflora</i> A. DC.	-	-	-	+
miPh	SZ	Zygophyllaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	+	+	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	+	+	-	-
miPh	S	Malvaceae	<i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet.	-	-	+	+
miPh	SZ	Arecaceae	<i>Borassus akeassi</i> Bayton, Ouedraogo & Guinko	-	-	-	+
mPh	SS	Capparaceae	<i>Boscia angustifolia</i> A. Rich.	+	+	-	-
miPh	SS	Capparaceae	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. Ex Poir.	+	+	-	-
miPh	PRA	Burseraceae	<i>Boswellia dalzielii</i> Hutch.	-	+	+	-
miPh	PRA	Rubiaceae	<i>Breonadia salinicina</i> (Vahl) Hepper & Wood.	-	-	-	+
miPh	S	Phyllanthaceae	<i>Bridelia scleroneura</i> Müll. & Arg.	-	-	+	+
miPh	AT	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Burkea africana</i> Hook.f.	-	-	+	+
nPh	SZ	Capparaceae	<i>Cadaba glandulosa</i> Forsk.	+	-	-	-
nPh	Pal	Apocynaceae	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait. f.	+	-	-	+
LnPh	Pan	Capparaceae	<i>Capparis sepiaria</i> L. var. <i>fisheri</i> (Pax) De Wolf.	-	+	-	-
miPh	SZ	Apocynaceae	<i>Desmidorchis acutangula</i> Decne	+	-	-	-
miPh	AT	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Cassia sieberiana</i> DC.	-	+	+	+
nPh	PRA	Fabaceae-Faboideae	<i>Cassia singueana</i> Lam.	-	+	+	-
miPh	Pan	Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	-	-	-	+
nPh	S	Vitaceae	<i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr.	-	-	+	+
miPh	SZ	Bixaceae	<i>Cochlospermum planchonii</i> Hook.f.	-	-	+	+
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Combretum aculeatum</i> Vent.	+	+	+	+
miPh	S	Combretaceae	<i>Combretum adenogonium</i> Steud. ex A.Rich.	-	-	-	+
miPh	S	Combretaceae	<i>Combretum collinum</i> Fresen.	-	-	+	+
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex. DC.	+	+	+	+

Types biol.	Types phyto-géographiques	Familles	Espèces végétales	Sahélien		Soudanien	
				nord-	sud-	nord-	sud-
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Combretum micranthum</i> G. Don.	+	+	+	+
miPh	AT	Combretaceae	<i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don	-	-	-	+
miPh	S	Combretaceae	<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr.	-	+	+	+
miPh	SZ	Burseraceae	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.	+	+	+	-
miPh	PRA	Fabaceae-Faboideae	<i>Cordyla pinnata</i> (Lepr.ex A.Rich.) Milne-Redh.	-	-	-	+
nPh	AT	Rubiaceae	<i>Crossopteryx febreifuga</i> (Afzel. ex G.Don) Benth.	-	-	-	+
LnPh	SZ	Euphorbiaceae	<i>Croton pseudopulchellus</i> Pax	-	-	-	+
miPh	S	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Cynanchum hastifolium</i> N. E. Br.	+	-	+	-
miPh	SZ	Fabaceae-Faboideae	<i>Dalbergia melanoylon</i> Guill. & Perr.	+	-	-	-
miPh	SZ	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	-	-	+	+
nPh	S	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Detarium microcarpum</i> Guill & Perr.	-	-	+	+
miPh	AT	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Am.	+	+	+	+
miPh	SZ	Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. DC.	-	+	+	+
miPh	GC	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	-	-	-	+
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Entada africana</i> Guill. & Perr.	-	-	+	+
miPh	SG	Fabaceae-Faboideae	<i>Erythrina senegalensis</i> DC.	-	-	-	+
Ch	SZ	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	+	-	-	-
nPh	S	Rubiaceae	<i>Fadogia agrestis</i> Schweinf. ex Hiern	-	-	-	+
mPh	At	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Chev.	-	+	-	-
miPh	SZ	Rubiaceae	<i>Feretia apodanthera</i> Del.	+	+	+	+
miPh	S	Moraceae	<i>Ficus abutilifolia</i> (Miq.) Miq.	-	-	+	+
miPh	SZ	Moraceae	<i>Ficus cordat.</i>	-	-	-	+
miPh	PRA	Moraceae	<i>Ficus dicranosty</i> Mildbr.	-	-	+	-
miPh	S	Moraceae	<i>Ficus glumosa</i> Delile	-	-	-	+
miPh	PRA	Moraceae	<i>Ficus ingens</i> Miq.	-	-	+	-
miPh	SZ	Salicaceae	<i>Flacourtia indica</i> (Burm. f.) Merr.	-	-	-	+
nPh	Pal	Phyllanthaceae	<i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Voigt.	-	+	+	+
nPh	S	Rubiaceae	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch.	-	-	-	+
nPh	S	Rubiaceae	<i>Gardenia sokotensis</i> Hutch.	-	+	-	+
nPh	Pal	Rubiaceae	<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. & Thonn.	-	+	+	+
miPh	SZ	Malvaceae	<i>Grewia bicolor</i> Juss.	+	+	+	+
miPh	S	Malvaceae	<i>Grewia cissoides</i> Hutch. & Dalz.	-	-	-	+
nPh	Pal	Malvaceae	<i>Grewia flavescens</i> Juss.	+	+	-	-
miPh	S	Malvaceae	<i>Grewia lasiodiscus</i> K. Schum.	-	-	-	+
miPh	SS	Malvaceae	<i>Grewia tenax</i> (Forssk.) Fiori	+	-	-	-
nPh	SS	Malvaceae	<i>Grewia villosa</i> Willd.	+	+	-	-
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Guiera senegalensis</i> J. G. Gmel.	+	+	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Gymnosporia senegalensis</i> (Lam.) Loes.	-	+	+	+
miPh	SG	Simaroubaceae	<i>Quassia undulata</i> (Guill. & Perr.) F.Dietr.	-	-	-	+
miPh	AT	Apocynaceae	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don) Dur. & Schinz	-	-	+	+
miPh	SZ	Phyllanthaceae	<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	-	-	+	+
miPh	S	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Isoberlinia doka</i> Craib & Stapf.	-	-	-	+



Types biol.	Types phyto- géogra- phiques	Familles	Espèces végétales	Sahélien		Soudanien	
				nord-	sud-	nord-	sud-
nPh	Pan	Euphorbiaceae	<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	-	-	+	-
mePh	S	Meliaceae	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	-	-	-	+
mPh	SZ	Apocynaceae	<i>Landolphia heudelotii</i> A. DC.	-	-	-	+
miPh	S	Anacardiaceae	<i>Lannea acida</i> A. Rich.	-	+	+	+
miPh	SZ	Anacardiaceae	<i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause	+	+	+	+
nPh	G	Anacardiaceae	<i>Lannea velutina</i> A. Rich.	-	+	+	+
LnPh	SZ	Apocynaceae	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	+	+	+	+
LnPh	SZ	Apocynaceae	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forsk.) Decne.	+	-	-	-
miPh	SZ	Ochnaceae	<i>Lophira lanceolata</i> Van Tiech.ex Keay	-	-	-	+
miPh	AT	Capparaceae	<i>Maerua angolensis</i> DC.	+	+	+	-
miPh	SZ	Capparaceae	<i>Maerua crassifolia</i> Forsk.	+	+	-	-
miPh	AT	Sapotaceae	<i>Manilkara multinervis</i> (Bak.) Dubard	-	-	-	+
miPh	SZ	Chrysobalanaceae	<i>Maranthes polyandra</i> (Benth.)Prance	-	-	-	+
miPh	SZ	Rubiaceae	<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	-	-	-	+
nPh	PRA	Dipterocarpaceae	<i>Monotes kerstingii</i> Gilg	-	-	-	+
nPh	SG	Anacardiaceae	<i>Ozoroa obovata</i> (Oliv.) R.Fern. & A.Fern.	-	-	-	+
miPh	SZ	Sapotaceae	<i>Pachystela pobeguianum</i> (Pierre ex Lecomte) Aké Assi & L.Gaut	-	-	-	+
miPh	SZ	Chrysobalanaceae	<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth.	-	-	-	+
mePh	Pal	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. Ex. G. Don	-	-	+	+
miPh	PRA	Rubiaceae	<i>Pavetta corymbosa</i> (DC.) F. N. Williams	-	-	-	+
miPh	S	Fabaceae-Faboideae	<i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth.) van Meeuwen	-	-	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	+	+	+	-
miPh	AT	Fabaceae-Caesalpinoideae	<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh.	-	+	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Taub.	-	+	+	+
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. et Diels	-	-	+	+
miPh	SZ	Fabaceae-Faboideae	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	-	+	+	+
mPh	PRA	Fabaceae-Faboideae	<i>Pterocarpus lucens</i> Guill. & Perr.	+	-	-	-
miPh	SZ	Arecaceae	<i>Raphia sudanica</i> A. Chev.	-	-	-	+
LnPh	S	Rubiaceae	<i>Rytigynia senegalensis</i> Blume	-	-	-	+
LmPh	AA	Apocynaceae	<i>Saba comorensis</i> (Boj.ex DC.) Pichon	-	-	-	+
miPh	SZ	Apocynaceae	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	-	-	+	+
nPh	AT	Euphorbiaceae	<i>Shirakiopsis elliptica</i> (Hochst.) Esser	-	-	-	+
miPh	SZ	Euphorbiaceae	<i>Excoecaria grahamii</i> Stapf	-	-	-	+
miPh	SZ	Rubiaceae	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E.A.Bruce	-	-	-	+
nPh	SZ	Anacardiaceae	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst	+	+	+	+
miPh	AT	Polygalaceae	<i>Securidaca longepedunculata</i> Fres.	-	-	+	+
miPh	SZ	Rubiaceae	<i>Sericanthe chevalieri</i> (K. Krause) Robb-recht	-	-	-	+
miPh	SZ	Anacardiaceae	<i>Sorindeia juglandifolia</i> (A.Rich.) Planch. ex Oliv.	-	-	-	+
miPh	SZ	Malvaceae	<i>Sterculia setigera</i> Del.	-	+	+	+
miPh	SG	Bignoniaceae	<i>Sterospermum kunthianum</i> Cham.	-	+	+	+
nPh	GC	Apocynaceae	<i>Strophanthus sarmentosus</i> DC.	-	-	+	+

Types biol.	Types phyto-géographiques	Familles	Espèces végétales	Sahélien		Soudanien	
				nord-	sud-	nord-	sud-
miPh	SZ	Loganiaceae	<i>Strychnos innocua</i> Del.	-	-	+	+
miPh	Pal	Loganiaceae	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	-	-	+	+
nPh	PT	Fabaceae-Caesalpinioideae	<i>Tamarindus indica</i> L.	-	+	+	+
miPh	PRA	Combretaceae	<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr.	-	-	+	-
miPh	AS	Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i> L.	-	-	-	+
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Terminalia laxiflora</i> Engl.	-	-	+	+
miPh	SZ	Combretaceae	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr.	-	-	+	+
LnPh	SZ	Lamiaceae	<i>Tinnea barberi</i> Gürke	-	-	+	+
LnPh	PRA	Menispermaceae	<i>Tinospora bakis</i> (A. Rich.) Miers	+	-	-	-
miPh	PRA	Annonaceae	<i>Uvaria chamae</i> P. Beauv	-	-	-	+
miPh	S	Sapotaceae	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. f.	-	+	+	+
miPh	AT	Lamiaceae	<i>Vitex chrysocarpa</i> Planch. ex Benth.	-	-	+	+
miPh	AT	Lamiaceae	<i>Vitex doniana</i> Sweet	-	-	-	+
nPh	SZ	Fabaceae-Faboideae	<i>Xeroderris stuhlmannii</i> (Taub.) Mença & E. P.	-	-	+	+
miPh	PT	Ximeniaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	-	+	+	+
miPh	SZ	Rutaceae	<i>Zanthoxylum zantholoides</i> (Lam.) Watermanu	-	-	-	+
miPh	AT	Rhamnaceae	<i>Ziziphus abyssinica</i> A. Rich.	-	-	-	+
miPh	Pal	Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	+	+	+	-
miPh	PRA	Rhamnaceae	<i>Ziziphus mucronata</i> Willd.	-	+	+	+

AA: Afro-américaines, AM: Afro-malgaches, AT: Afro-tropicales, Cos: Cosmopolites, GC: Guinée-congolaises, Pal: Paléotropicales, Pan: Pantropicales, PRA: Plurirégionales africaines, SG: Soudano-guinéennes, SZ: Soudano-Zambéziennes.

MPh: mégaphanérophytes; mePh: mésophanérophytes ; miPH: microphanérophytes; nph: nanophanérophytes; Lnph: phanérophytes lianescentes.

Code: + = Présence; - = Absence

& GUINKO (1995). Cette humidité est confirmée par la proportion élevée des espèces soudaniennes et soudano-zambéziennes. Aké\_Assi (2002) rapporte que les régions les plus humides sont les zones de prédilection des Rubiaceae.

La variation de la richesse floristique des inselbergs est beaucoup plus liée aux conditions climatiques qu'aux facteurs topographie et nature du substrat. Les indices de similarité de Sorensen l'ont confirmé. Par ailleurs, les indices de similarité de Sorensen obtenus pour le nord-sahélien et le sud-soudanien (Cs = 0,19), le sud-sahélien et le sud-soudanien (Cs = 0,42) mettent en exergue la dominance du facteur climat dans la richesse floristique.

#### 4.2 Etat des peuplements ligneux

La faible densité des ligneux dans les secteurs sud-sahélien et nord-soudanien est liée à la faible altitude des inselbergs qui favorise l'accès à la végétation ligneuse. Les hauteurs moyennes de ces deux secteurs sont respectivement 40 m et 43 m. Le test Kruskal-Wallis montre une variation significative (p< 0,0001) de la densité moyenne en fonction de l'altitude moyenne des inselbergs des différents secteurs phytogéographiques. En effet, la végétation est plus dense sur les inselbergs des secteurs nord-sahélien et sud-souda-

nien qui ont les plus fortes hauteurs moyennes (respectivement 57 m et 62 m).

Les variations de la surface terrière moyenne sont en accord avec la proportion et la densité moyenne des individus adultes et juvéniles dans les différents secteurs. Plus le nombre et la densité moyenne des juvéniles sont élevés plus la surface terrière est faible. La surface terrière, la proportion et la densité moyenne de juvéniles obtenues dans le secteur nord-soudanien illustrent cet état de fait. L'état des peuplements ligneux dans les secteurs sud-sahélien et nord-soudanien pourrait s'expliquer par la forte anthropisation dans ces secteurs. Dans certaines localités de ces deux secteurs nous avons pu noter la pratique de culture de mil et de riz sur les inselbergs. Ceci s'expliquerait par l'explosion démographique qui amènerait les populations et le bétail à s'orienter vers les inselbergs qui voit leur végétation se dégradée au fur et à mesure que la pression s'augmente.

Les données ont été collectées à la même période (mi-août; début septembre) dans les différents secteurs phytogéographiques. Nous pouvons alors dire que la bonne proportion des juvéniles dans les secteurs nord-sahélien, sud-sahélien et sud-soudanien assurerait une survie aux peuplements ligneux des inselbergs de ces secteurs.

### 4.3 Facteurs influençant la végétation ligneuse des inselbergs

La végétation ligneuse des inselbergs est influencée par les facteurs climatique, topographique et anthropique. L'influence du climat sur la végétation ligneuse des inselbergs s'illustre d'une part par l'augmentation du nombre moyen d'espèces par relevé (Tableau 1) et d'autre part par la croissance du diamètre moyen le long du gradient climatique nord-sud (Tableau 5). Cette augmentation du nombre d'espèces et du diamètre moyen est due à la variation des conditions climatiques, particulièrement la pluviométrie qui devient de plus en plus abondante du nord au sud du Burkina Faso. La dissimilitude de la richesse floristique entre le secteur nord-sahélien et les secteurs nord-soudanien et sud-soudanien étaye l'influence du climat sur la végétation ligneuse des inselbergs. En effet, les indices de similitude de Sorensen entre le secteur nord-sahélien et les secteurs nord-soudanien et sud-soudanien sont respectivement 35 % et 19 %. L'augmentation de la proportion des Rubiaceae du Secteur nord-sahélien (3%) vers le secteur Sud-soudanien (11 %) met également en évidence l'influence du climat sur la végétation ligneuse des inselbergs. Nos résultats sont en accord avec ceux de SAVADOGO (2012). Selon Aubreville (1950) les Rubiaceae arborescentes et arbustives sont caractéristiques des forêts denses humides. Nos résultats sont en conformité avec d'autres études antérieures (THIOMBIANO 2005; THIOMBIANO et al. 2006; BOGNOUNOU et al. 2009; SAMBARÉ et al. 2010; SCHMIDT et al. 2013) qui ont souligné la prédominance du climat, précisément la pluviométrie dans la répartition des taxons ligneux du secteur nord-sahélien au secteur sud-soudanien.

La composition floristique d'une part et d'autre part la densité moyenne et la surface terrière moyenne varient en fonction des strates (sommets et versants). Ces variations attestent l'influence de la topographie sur la végétation des inselbergs. La variation significative du taux d'exploitation ( $p < 0,0001$ ) entre les sommets et les versants indique également l'influence de la topographie sur la végétation ligneuse.

Les traces d'exploitation humaine relevées sur les ligneux et la pratique de l'agriculture sur certains inselbergs témoignent de l'influence du facteur anthropique sur la végétation ligneuse des inselbergs. En effet, sur un total de 11060 individus recensés, 8% de ces individus portent les traces d'exploitation humaine. En outre, sur un total de 16 inselbergs étudiés l'agriculture est pratiquée sur 2 d'entre eux, soit 13 % de pratique d'agriculture. Les traces de feux de brousse ont été notées sur les inselbergs des secteurs nord-soudanien et sud-soudanien.

## 5 CONCLUSION

Avec 143 espèces ligneuses inventoriées, l'étude de la végétation ligneuse des inselbergs contribue à la connaissance de la répartition des taxons au Burkina Faso. Les inselbergs regorgent à eux seuls 65 % des espèces ligneuses et 7 % de la flore totale du Burkina Faso. Les inselbergs du secteur sud-soudanien renferment à eux seuls 80 % des espèces ligneuses recensées. Bien qu'ayant la faible richesse floristique, les inselbergs du secteur nord-sahélien apportent

leur contribution à la phytodiversité par des taxons qui leur sont propres. Douze espèces menacées du Burkina Faso font parties des espèces dominantes des inselbergs et traduisent de ce fait le caractère refuge des inselbergs. Il ressort de cette étude que les facteurs influençant la végétation ligneuse des inselbergs sont le climat, la topographie et la pression anthropisation. Mais de tous ces facteurs le climat reste le principal facteur qui influe sur la répartition des taxons ligneux. Nos hypothèses émises dès le départ ont été confirmées. Il existe différents types d'habitats et de communautés végétales sur les inselbergs qu'il serait important de les étudier suivant le gradient climatique. Pour une meilleure connaissance et la conservation des espèces végétales des inselbergs nous reformulons les recommandations suivantes à l'endroit du Ministère de l'Environnement et les partenaires financiers:

- Encourager et soutenir la recherche sur les inselbergs,
- Classer les inselbergs parmi les aires protégées,
- Sensibiliser les populations locales sur la préservation et la protection des ressources végétales des inselbergs.

### REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements au Dr. Mahamadi Diandal pour la contribution au financement de nos travaux de terrain. Nous remercions également Monsieur Abel Kabeda d'avoir financé une partie de nos travaux de terrain et pour la réalisation de la carte. Nous remercions le Professeur Stefan Pormebski pour son assistance technique lors de la collecte des données. Nos sincères remerciements vont en direction des autorités locales et groupes socioculturels des villages environnants des inselbergs des quatre secteurs phytogéographiques.

### REFERENCES

- AKOEGNINO A, VAN DER BURG WJ & VAN DER MAESEN LJG (2006): Flore Analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Wageningen, 1034 p.
- ARBONIER M (2009): Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Quæ, MNHN., 573 p.
- AUBREVILLE A (1950): Flore forestière soudano-guinéenne : AOF ; Cameroun: AEF. Société d'édition géographique, Paris, 523 p.
- BARTHLOTT W, GRÖGER A. & POREMSKI S (1993): Some remarks on the vegetation of tropical inselbergs: diversity and ecological differentiation. *Biogeogr* 69 (3): 105-124.
- BERHAUT J (1967): Flore du Sénégal, 2ème édition, Clairafrique, 485 p.
- BERHAUT J (1971): Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones, Tome I : Acanthacées à Avicenniacees. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dakar, 626 p.
- BERHAUT J (1974): Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones, Tome II : Balanophoracées à Composées. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dakar, 695 p.
- BERHAUT J (1975): Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones, Tome III : Connaracées à Euphorbiacées. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dakar, 634 p.

- BERHAUT J (1976): Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones, Tome V : Légumineuses et Papilionacées. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dakar, 658 p.
- BERHAUT J (1988): Flore illustrée du Sénégal. Monocotylédones et Ptéridophytes, Tome IX, Monocotylédones : Agavacées à Orchidacées. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dakar, 523 p
- BOGNOUNOU F (2009): Restauration écologique et gradient latitudinal: utilisation, diversité et régénération de cinq espèces de Combretaceae au Burkina Faso. Doctorat de l'Université de Ouagadougou. Unité de Recherche et de Formation en Sciences de la vie et de la Terre, 179 p.
- BOGNOUNOU F, THIOMBIANO A, SAVADOGO P, BOUSSIM J.I, ODEN PC & GUINKO S (2009): Woody vegetation structure and composition at four sites along latitudinal gradient in Western Burkina Faso. *Bois Forêts Tropiques*, 300 (2): 29-44.
- FONTÈS J & GUINKO S (1995): Carte de la végétation et de l'occupation des sols du Burkina Faso. Notice explicative, Ministère de la coopération français, projet Campus, Toulouse, 68 p.
- GANABA S (1994): Rôle des systèmes racinaires dans la dynamique du peuplement ligneux de la région de la d'Oursi (Burkina Faso) entre 1980 et 1982. Thèse de 3ème cycle. Université de Ouagadougou, Faculté des Sciences et Techniques, 195 p.
- GANABA S (2008): Caractérisation, utilisation, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au Sahel, Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelle. Université Cheikh Anta-Diop n°117. Faculté des Sciences et Techniques, 287 p.
- HANNAH R & KRZYSTYNA S (2008): Biodiversité, changement climatique et pauvreté. Rapport de l'IIED (International Institute for Environment and Development), 8 p.
- HUTCHINSON J, DALZIEL J.M (1958): Flora of West Tropical Africa. 2è ed.. Volume I, Part 2. Crown Agents for Oversea Governments and administrations, Milbank, London, 828 p.
- HUTCHINSON J, DALZIEL J.M (1963): Flora of West Tropical Africa. 2è ed.. Volume II, Part 2. Crown Agents for Oversea Governments and administrations, Milbank, London, 544 p.
- HUTCHINSON J, DALZIEL J.M, (1954): Flora of West Tropical Africa. 2è ed.. Volume I, Part 1. Crown Agents for Oversea Governments and administrations, Milbank, London, 295 p.
- INOUSSA TM, ISMAILA TI, MÉDARD CG & BRICE S (2013): Structure et composition floristiques des forêts denses sèches des Monts kouffé. *J Appl Biosci* 64: 4787 – 4796.
- KOUASSI RH, TIÉBRÉ M-S & N'GUESSAN KE (2009): Aperçu de la végétation des Inselbergs Brafouéby et Mafa-Mafou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *European J Sci Research* 28
- KÜPPERS K, & WITTIG R (1995): Überblick über die vegetation der chaine de Gobnangou (Burkina Faso, Westafrika). *Verhandlungen Ges Ökol* 24: 27-30
- LARRERE C & LARRERE R (1997): Du bon usage de la nature. Pour une philosophie de l'environnement. Aubier, Paris, 355 p.
- MBAYNGONE E, THIOMBIANO A, HAHN-HADJALI K & GUINKO S (2008): Caractéristiques écologiques de la végétation ligneuse du sud-est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest) : le cas de la réserve de Pama. *Candollea* 63: 17-33.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2011): Programme d'Investissement Forestier (PIF – Burkina Faso). Vol 2. 70 p.
- MÜLLER J (2008): Herbaceous and non-inundated vegetation of Sahelian inselbergs in Burkina Faso. *Candollea* 63: 57-79.
- OUÉDRAOGO A (2006): Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou. UFR/SVT, 195 p.
- OUÉDRAOGO A & THIOMBIANO A (2012): Regeneration pattern of four threatened tree species in Sudanian savannas of Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 861: 35–48.
- OUÉDRAOGO O (2009): Phytosociologie, dynamique et productivité de la végétation du parc national d'Arly (Sud-Est du Burkina Faso). Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou. UFR/SVT, 188 p.
- OUÉDRAOGO O, THIOMBIANO A, HAHN-HADJALI K & GUINKO S (2008): Diversité et structure des groupements ligneux du parc national d'Arly (Est du Burkina Faso). *Flora Veg Sudano-Sambesica* 11: 5-16.
- OUBA P (2006): Flore et végétation de la forêt classée de Niangoloko, Sud-Ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 144 p.
- PARMENTIER I, OUMOROU M, POREMBSKI S, LEJOLY J, DECOCQ G (2006): Ecology, distribution, and classification of xeric monocotyledonous mats on inselbergs in West Africa and Atlantic central Africa. *Phytocoenol* 36: 547-564.
- POREMBSKI S (2007): Effects of anthropogenic disturbance on the vegetation of granitic and gneissic rock outcrops ('inselberg') in West Africa. *Nova Hedwigia, Beiheft* 131: 237-246
- SAMBARÉ O, OUÉDRAOGO O, WITTIG R ET THIOMBIANO A (2010): Diversité et écologie des groupements ligneux des formations ripicoles du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Internat J Biol Chem Sci* 4: 1782-1800.
- SAMBARÉ O, BOGNOUNOU F, WITTIG R, THIOMBIANO A (2011): Woody species composition, diversity and structure of riparian forests of four watercourses types in Burkina Faso. *J Forestry Research* 22: 145–158.
- SAVADOGO S (2013): Les bois sacrés du Burkina Faso: diversité, structure, dimension spirituelle et mode de gestion de leurs ressources naturelles. Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou. UFR/SVT, 280 p.
- SAVADOGO S, OUÉDRAOGO A, THIOMBIANO A (2010): Perceptions, mode de gestion et végétation des bois sacrés au nord du Burkina Faso. *Flora Veg Sudano-Sambesica* 13: 10-21.
- SCHMIDT M, TRAORÉ S, OUÉDRAOGO A, MBAYNGONE E, OUÉDRAOGO O, ZIZKA A, KIRCHMAIR I, KABORÉ E, TINDANO E, THIOMBIANO A, HAHN K & ZIZKA G (2013): Geographical patterns of woody plants' functionaltraits in Burkina Faso. *Candollea* 68: 197-207.
- SINSIN B (2001): Formes de vie et diversité spécifique des associations de forêts claires du nord du Bénin. XVIth AET-FAT Congress Syst Geogr 71: 873-888.
- SINSIN B & KAMPMANN D (eds) (2010): Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'ouest, Tome I : Bénin. Cotonou et frankfurt/Main. BIOTA, 676 p.
- THIOMBIANO A (1996): Contribution à l'étude des Combretaceae dans les formations végétales de la région Est du

- Burkina Faso. Thèse de 3ème cycle. Université de Ouagadougou. FAST., 200 p. +6 annexes.
- THIOMBIANO A (2005): Les Combretaceae du Burkina Faso: taxonomie, écologie, dynamique et régénération des espèces. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, 290 p.
- THIOMBIANO A & KAMPMANN D (eds) (2010): Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'ouest, Tome II : Burkina Faso. Ouagadougou et Frankfurt/Main, 592 p.
- SINSIN B (2001): Formes de vie et diversité spécifique des associations de forêts claires du nord du Bénin. XVIth AET-FAT Congress Syst Geogr 71: 873-888.
- THIOMBIANO A, SCHMIDT M, DRESSLER S, OUÉDRAOGO A, HAHN K & ZIZKA G (2012): Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. Boissiera 65, 391 pp.
- THIOMBIANO A, SCHMIDT M, KREFT H, & GUINKO S (2006): Influence du gradient climatique sur la distribution des espèces Combretaceae au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Candollea* 61: 189-213 p.
- TINDANO E, GANABA S, THIOMBIANO A (2011): Rocky woody vegetation diversity and structure in the Oursi dam area, Northern Burkina Faso. *ISESCO Sci Technol* 7 (12): 15-28.
- TRAORÉ K ET MANGARA A (2009): Etude Phyto-Ecologique des Adventices dans les Agro-Ecosystèmes Elaeicoles de la Mé et de Dabou. *European J Sci Research* 31 : 519-533
- SINSIN B (2001): Formes de vie et diversité spécifique des associations de forêts claires du nord du Bénin. XVIth AET-FAT Congress Syst Geogr 71: 873-888.
- TRAORÉ L, OUÉDRAOGO I, OUÉDRAOGO A & THIOMBIANO A, (2011): Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *Internat J Biol Chem Sci* 5: 258-278.
- TRAORÉ L, SOP TK, DAYAMBA SD, TRAORÉ S, HAHN K, & THIOMBIANO A. (2013) : 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 Sustainability* 15: 663-686.
- WHITE M (1986): La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique UNESCO/AETFAT/UNSO. ORSTOM/UNESCO, 389 P.
- WITTIG R, HAHN-HADJALI K & THIOMBIANO A (2000): Les particularités de la végétation et de la flore de la chaîne du Gbongou dans le sud-est du Burkina Faso. *Etudes Flor. Vég Burkina Faso* 5: 49-64.

**E-mail addresses:** elisetindano82@yahoo.fr, ganabasouley@gmail.com, adjima\_thiombiano@yahoo.fr

## Dynamics of juvenile woody plant communities on termite mounds in a West African savanna landscape

Arne Erpenbach<sup>1,\*</sup>, Rüdiger Wittig<sup>1,2</sup>, and Karen Hahn<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup> J. W. Goethe University, Institute of Ecology, Evolution and Diversity, Max-von-Laue-Str. 13 B, 60438 Frankfurt am Main, Germany

<sup>(2)</sup> Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F), Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main, Germany

**Summary:** Termites are keystone species in savanna ecology, and their mounds are thought to be an important source of habitat heterogeneity and structural complexity of the savanna. *Macrotermes termitaria* have been shown to allow woody plant colonisation of landscapes otherwise dominated by C4 grasses. In this study, we assess how resource-rich *Macrotermes* mounds affect juvenile woody plant and non-woody plant species diversity, community composition, biomass and population dynamics. We repeatedly sampled paired termite mound and savanna plots in Pendjari National Park (Sudanian vegetation zone, North Benin, West Africa) over the course of two years. Despite considerable overlap in their species pools, plant communities of mound and savanna plots were clearly separated in ordinations. Species richness and diversity of juvenile woody plants was consistently higher on termite mounds, while no differences could be detected for non-woody plants. Evenness of juvenile woody plants was generally lower on mounds, whereas density and basal area were higher on mounds. In contrast, we did not detect any influence of the mound microhabitat on colonisation, mortality and turnover of woody juveniles. Therefore, we suggest that differences in the communities on and off mounds should be strongly influenced by directed diaspore dispersal through zoochory.

**Key words:**  $\beta$ -diversity, biodiversity, bush encroachment, colonisation, habitat heterogeneity, *Macrotermes*, mortality, Pendjari National Park, termitaria

### DYNAMIQUE DES PLANTES LIGNEUSES JUVENILES SUR TERMITIÈRES DANS UN PAYSAGE DE SAVANE OUEST-AFRICAINE

**Résumé:** Les termites sont des espèces clés en écologie des savanes, et leurs termitières pourraient être une importante source d'hétérogénéité de l'habitat et de complexité structurelle dans la savane. Il a été démontré que les termitières de *Macrotermes* permettent aux plantes ligneuses la colonisation de paysages dominés par des graminées C4. Dans cette étude, nous évaluons comment des termitières de *Macrotermes* riches en ressources affectent la diversité des plantes ligneuses juvéniles et des plantes non-ligneuses, ainsi que la composition de la communauté, la biomasse et la dynamique de leurs populations. Nous avons échantillonné des couples de termitières et de parcelles de savane à plusieurs reprises dans le Parc National de la Pendjari (savane soudanienne, Nord du Bénin, Afrique de l'Ouest) au cours de deux années. Malgré des compositions d'espèces similaires, les communautés végétales des termitières et des parcelles de savane étaient clairement séparées par des ordinations. La richesse en espèces et la diversité des plantes ligneuses juvéniles étaient constamment plus élevées sur les termitières, alors qu'aucune différence n'a pu être détectée pour les plantes non ligneuses. L'équitabilité des plantes ligneuses juvéniles était généralement plus faible sur les termitières, alors que la densité et la surface basale étaient plus élevées sur les termitières. En revanche, nous n'avons détecté aucune influence du micro-habitat des termitières sur la colonisation, la mortalité et le renouvellement des juvéniles ligneuses, nous suggérons donc que les différences dans les communautés sur et hors termitières devraient être fortement influencées par la dispersion de diaspores par zoochorie.

**Mots clés:** biodiversité, colonisation, diversité bêta, embroussaillage, hétérogénéité de l'habitat, *Macrotermes*, mortalité, Parc Nationale de la Pendjari, termitières

### DYNAMIK JUVENILER GEHÖLZGESELLSCHAFTEN AUF TERMITENHÜGELN IN EINER WESTAFRIKANISCHEN SAVANNENLANDSCHAFT

**Zusammenfassung:** Termiten sind Schlüsselarten der Savannenökologie. Ihre Hügel werden als wichtige Ursache der Habitatheterogenität und Strukturkomplexität der Savannen angesehen. Für die Hügel von *Macrotermes* wurde gezeigt, dass sie Gehölzen die Besiedlung von Landschaften ermöglichen, die ansonsten von C4-Gräsern dominiert sind. In der vorliegenden Arbeit analysieren wir, wie Artendiversität, Artengemeinschaft und Populationsdynamik von juvenilen Gehölzen und krautigen Pflanzen durch ressourcenreiche *Macrotermes*-Hügel beeinflusst wird. Hierzu untersuchten wir wiederholt im Verlauf von zwei Jahren verbundene Stichproben von Termitenhügeln und benachbarten Savannenflächen des Pendjari-Parks (Sudanzone, Nordbenin, Westafrika). Trotz beträchtlicher Überschneidung des Artenpools der beiden Habitattypen ergaben Ordinationen eine klare Trennung der Pflanzengesellschaften. Artenreichtum und Diversität der juvenilen Gehölzarten waren auf den Termitenhügeln durchgängig höher als in ihrer Nachbarschaft. Für krautige Arten konnte dagegen kein Unterschied festgestellt werden. Die Evenness der jungen Gehölzpflanzen war auf den Hügeln niedriger, Dichte und Basalfläche höher als in der Nachbarschaft. Unterschiede in der Besiedlung, Sterblichkeit und im Turnover der jungen Gehölzpflanzen waren nicht feststellbar. Unserer Meinung nach könnten Unterschiede zwischen der Vegetation der Hügel und der ihrer Umgebung stark durch gerichtete Zoochorie beeinflusst sein.

**Schlagworte:**  $\beta$ -Diversität, Biodiversität, Verbuschung, Besiedlung, Habitatdiversität, Habitatheterogenität, *Macrotermes*, Mortalität, Pendjari Nationalpark, Termitenhügel

## 1 INTRODUCTION

Savanna systems occupy a large proportion of the global landmass (SANKARAN et al. 2005). They are thought to be shaped by competition of woody plants and grasses for limiting resources, such as water and nutrients (SCHOLLES & ARCHER 1997, SANKARAN et al. 2005). Further factors affecting the dynamics of savanna vegetation include an interplay of climate, fire, and large herbivores (BOND 2008, SANKARAN et al. 2008, STAVER et al. 2011, LEHMANN et al. 2014). It has long been suggested that termite mounds are key elements of woody plant establishment in savanna habitats (TROLL 1936, COLE 1963), and thus contribute to defining the character of the savanna landscape. However, few studies so far have addressed recruitment and dynamics of juvenile woody plants on termite mounds as compared to the surrounding savanna. Recently, emphasis has been renewed that further studies are needed to understand the role of termite mounds in the process of woody plant establishment in savannas (SILESHI et al. 2010). New insights in this regard could also be beneficial to a better understanding of bush encroachment, which can be observed in many open savanna habitats worldwide (SILESHI et al. 2010).

Available evidence suggests that woody plants establish preferably on termite mounds (COLE 1963, BLÖSCH 2008), and that their communities are shaped by fire and wildstock grazing. For instance, a recent study from East Africa showed higher densities of juvenile woody plants on termite mounds (STØEN et al. 2013). Higher seedling densities on mounds have also been reported for West Africa (TRAORÉ et al. 2008b), where at the same time strong temporal and seasonal variation of juvenile mortality was observed. Although a few studies on juvenile mound vegetation thus exist, the establishment, growth and mortality of juvenile woody plants on mounds compared to the surrounding savanna is overall poorly understood.

The aim of this study was to collect more data on vegetation dynamics on termite mounds, with a strong focus on juvenile woody plants. We contrasted data of juvenile woody plants against non-woody plants (including graminoids, geophytes, hemicryptophytes, and also semi-woody forbs and subshrubs) as their direct competitors. Our analysis was guided by several hypotheses related to differences in community composition and population dynamics between mounds and savannas. We expected (1) that plant communities on mounds are more diverse, and specifically show a higher within-group  $\beta$ -diversity than the surrounding savanna; and (2) that due to differences in mortality, colonisation, and diameter gain juvenile woody plants feature higher overall abundance, density, and biomass on termite mounds than in the surrounding savanna. All these factors should lead to a difference in woody plant species composition between mounds and savannas, as reported in many studies (JACKSON & GARTLAN 1965, MOE et al. 2009, SILESHI et al. 2010, JOSEPH et al. 2013a, VAN DER PLAS et al. 2013, JOSEPH et al. 2014). We furthermore expected that soil characteristics would differ between mounds and savannas and could be used to explain the results regarding the hypotheses on diversity, abundance, biomass, and mortality. Moreover, we assumed that dispersal mode should affect woody plant establishment on mounds. Within the communities of juvenile

plants, we expected animal-dispersed plants and plants with a mixed dispersal mode to be overrepresented on mounds compared to the surrounding savanna.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Study area

We conducted our study in Pendjari National Park (PNP), North Benin (10° 30'–11° 30'N, 0° 50'–2° 00'E), in the vicinity of a permanent plot of the BIOTA West Africa project. PNP is situated at the limit of the North Sudanian Vegetation Zone (WHITE 1983). In a paired plot design, we sampled twelve termite mounds and twelve corresponding savanna plots. The sampling sites were situated in an alluvial landscape on skeletal soil based on tillites. The area is dominated by *Terminalia avicennioides* and *Burkea africana* in the tree layer. The park area is under an annual early burning regime prescribed by its conservation authorities.

### 2.2 Sampling

For our sampling, we chose mound plots randomly and approximated their size by multiplying the longest diameter of each termite mound with its perpendicular axis diameter. Corresponding savanna plots of the same size as the paired mound plots were placed 15 m north of the mound plots, to minimize influence of termite activity (LEVICK et al. 2010, OKULLO & MOE 2012a, 2012b). Mound size varied between 5.5 m<sup>2</sup> and 37.7 m<sup>2</sup> (mean: 22.3 m<sup>2</sup> ± 8.0 SD). The average height of termite mounds was 1.5 m ± 0.5 SD. Vegetation data were recorded in four subsequent sampling periods in 2008 and 2009 at the beginning (end of May) and the end of the rainy season (end of October), respectively. Using these four samplings, we aimed at following individual plants over time to investigate juvenile dynamics. Nomenclature followed the African Plants Database (2014; <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>).

We considered woody plants with basal diameters < 5cm as juveniles. We calculated diversity indices for each plot, including species richness for non-woody plants, and species richness, inverse Simpson index and evenness  $E_{var}$  after SMITH & WILSON (1996) for juvenile woody plants. Furthermore, we estimated plant cover for all species present and recorded abundances and basal diameters of juvenile woody plants. We used the basal area for each individual as a proxy measure for juvenile biomass. Many individuals consisted of multiple stems, and while the identity of stems could not be ensured between two samplings, great care was taken to attribute stems to a particular individual. We measured colonisation as the number of plantlets emerging in a sampling that had not been present in the previous census. Mortality rate was calculated as the proportion of individuals that disappeared between two samplings, after excluding newly recruited individuals. Colonisation and mortality combined were treated as overall turnover between samplings. In addition to our field measurements, we compiled information on life form and dispersal type for each species present from the literature (GUINKO 1984, HOVESTADT 1997, HOVESTADT et al. 1999, AKÉ ASSI 2001). We sampled soil of both mounds and the surrounding savanna. Mound soil was

sampled on the mound slope 1 m inwards of the mound's pediment limit (perceived as the outer limit of any visible alluvial fan). Savanna soil was sampled in 15 m distance to the mound's limit. To account for micro-scale heterogeneity, we pooled four topsoil subsamples of 10 cm<sup>3</sup> for each plot. Soil samples were air-dried and sieved to < 2 mm prior to analysis. Concentrations of plant-available phosphorous (P<sub>2</sub>O<sub>5av</sub>), plant-available potassium (K<sub>2</sub>O<sub>av</sub>), organic and inorganic carbon, nitrogen, as well as pH and conductivity were determined. Additionally, we determined potential cation exchange capacity (CEC<sub>pot</sub>, with ion concentrations of sodium, potassium, calcium, and magnesium) and particle size distribution (PSD, as percentage of the sand, silt, and clay fractions).

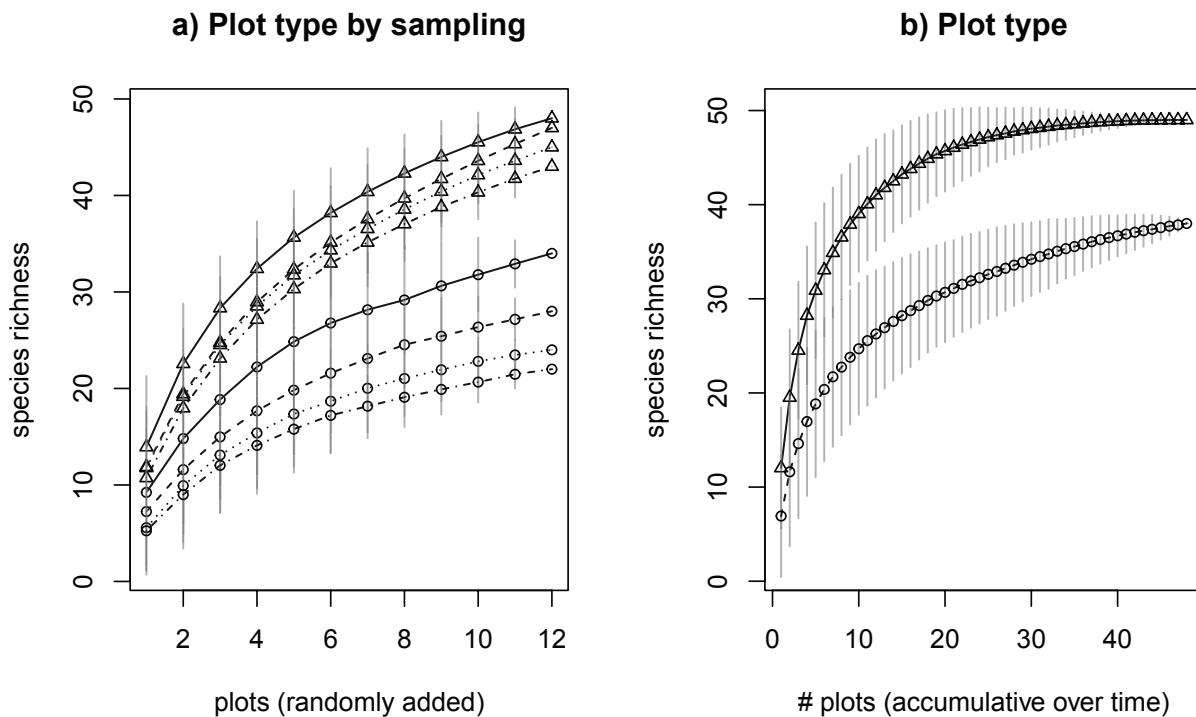
### 2.3 Statistical analysis

We calculated species accumulation curves to ascertain if our sample was representative for the local species pool. Differences in species richness, diversity, and evenness between plot types (mound/savanna) and samplings (1-4) were analysed using Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests. Further Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests were used to assess differences in basal area, number of individuals and stems, mortality, colonisation and turnover rates, and dispersal modes of juvenile woody plant species between mounds and savannas. Differences in soil composition were analysed using paired Wilcoxon rank sum tests. When multiple tests were performed, we corrected probability values with Benjamini & Hochberg correction (BENJAMINI & HOCHBERG 1995) to account for the higher probability of Type I errors.

To examine  $\beta$ -diversity on plot community level, we used constrained distance-based analysis of principal coordinates (CAP, or constrained db-RDA). CAP allows linear and metrical analysis, while non-Euclidian distance metrics can be applied for the ordination (ANDERSON & WILLIS 2003). Using abundance data for juvenile woody plants, we calculated Bray-Curtis distances among all plots as a basis for further analysis. To account for pseudoreplication, we used repeated samplings as a conditioning factor. When analysing non-woody communities, we used Whittaker's  $\beta_w$  on presence/absence data as a distance measure among plots. Whittaker's  $\beta_w$  is equivalent to Bray-Curtis distances for presence/absence data, and a dissimilarity analogon to Sørensen similarities. Blocked multiple response permutation procedure (MRPP) with permutations restricted by samplings was used to test for differences in mean  $\beta$ -diversity between plot types (MIELKE & BERRY 2001, MCCUNE & GRACE 2002). MRPP calculates the overall weighted mean of group mean distances  $\delta$  for the original data set, and for permuted data. The expected delta  $E\delta$  is the mean of original dissimilarities (assuming no structure in groups). MRPP does not require normal distribution and is sensitive to both location and spread of the groups. All statistical analyses were performed with R 3.1.1 (R Development Core Team 2014), using the package vegan 2.0.10 (OKSANEN et al. 2013).

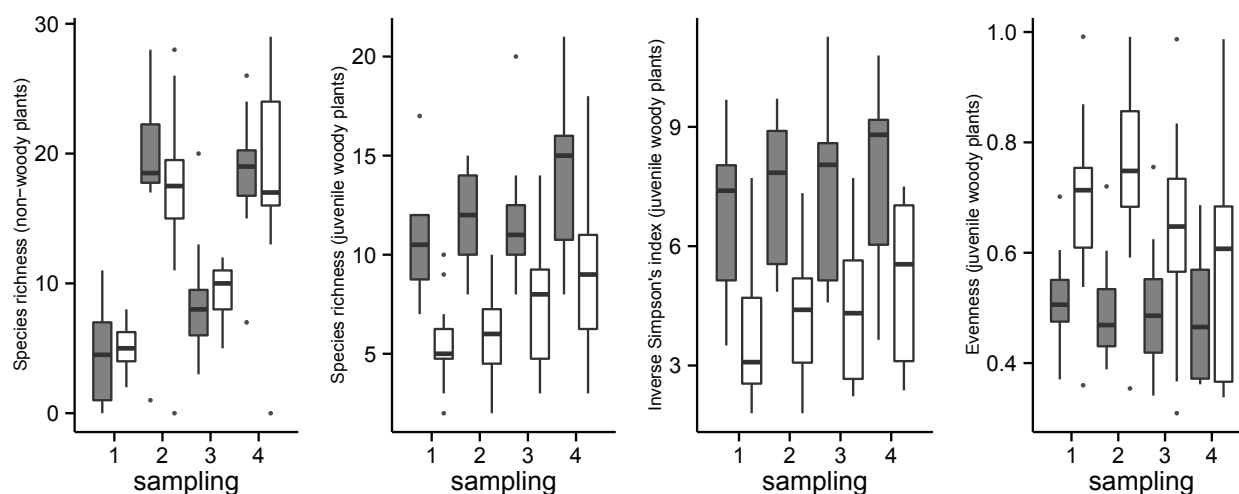
### 3 RESULTS

In our 24 plots, we recorded a total of 227 plant species from 55 families. On mounds, we found 173 species, and in the paired savanna plots we recorded 162 species. Mounds and savannas had 108 (48%) species in common, while 65 species were exclusively found on mounds (29%, from



**Fig. 1:** Species accumulation curves (SAC) for mound and savanna plots. a) SAC per sampling for each plot type; b) SAC for each plot type, accumulative samples over time.  $\Delta$  : mounds,  $\circ$  : savannas, vertical lines represent 95% confidence interval for each SAC / Courbes d'accumulation des espèces (SAC) pour relevés sur termitières et savanes. a) SAC par période d'échantillonnage pour chaque type de relevé; b) SAC pour chaque type de relevé, cumulée au fil de temps.  $\Delta$  : termitières,  $\circ$  : savanes, des lignes verticales représentent des intervalles de confiance à 95 % pour chaque SAC.





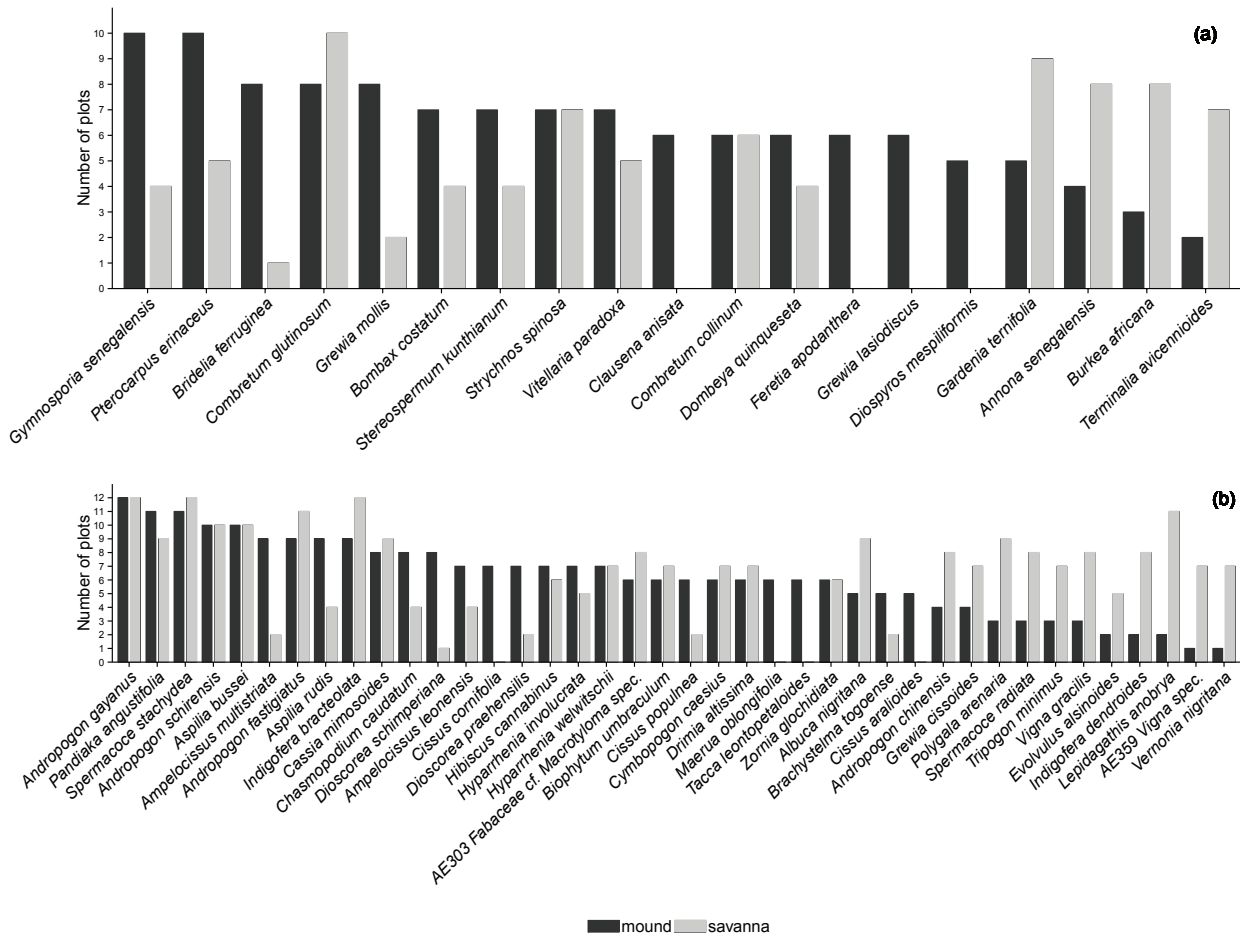
**Fig. 2:** Diversity of non-woody and juvenile woody plants on termite mounds ( $n = 12$ , dark grey boxes) and savanna plots ( $n = 12$ , white boxes) by sampling. For woody juveniles, differences between mounds and savannas are significant ( $P < 0.05$ ), except for evenness in the third and fourth sampling period (Wilcoxon matched-pairs signed-rank test) / Diversité des non-ligneuses et plantes ligneuses juvéniles sur les termitières ( $n = 12$ , cadrat gris) et les parcelles de savane ( $n = 12$ , cadrat blanches) par échantillonnage. Pour les juvéniles ligneuses, les différences entre les termitières et les savanes sont significatives ( $P < 0,05$ ), sauf pour l'équitabilité dans la troisième et la quatrième période d'échantillonnage (Wilcoxon matched-pairs signed rank test).

**Table 1:** Species richness of non-woody plants (herbaceous plants including graminoids, geophytes, hemicryptophytes, forbs and subshrubs) and species richness, inverse Simpson index and evenness of juvenile woody plants on mound and savanna plots. Given are mean and standard deviation across plots for each of the four sampling times. Statistical values Z and P are derived from Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests with Benjamini & Hochberg adjustment / La richesse des espèces de plantes non ligneuses (plantes herbacées, y compris géophytes, hémicryptophytes, graminées et sous-arbrisseaux) et la richesse en espèces, l'indice inverse de Simpson et l'équitabilité des plantes ligneuses juvéniles sur termitières et relevés de savane. Étant donné sont moyenne arithmétique et l'écart-type sur relevés pour chacune des quatre périodes d'échantillonnage. Valeurs statistiques Z et P sont dérivées de Wilcoxon matched-pairs signed rank test avec l'ajustement de Benjamini & Hochberg.

		Mound		Savanna		Z	P-value	
		Mean	SD	Mean	SD			
non-woody plants	species richness	1	4.42	3.63	4.92	1.88	-0.56	0.577
		2	18.83	6.53	17.17	7.13	1.12	0.262
		3	8.83	4.37	9.17	2.17	-0.88	0.381
		4	18.50	4.80	18.25	7.51	0.30	0.760
woody plants	species richness	1	10.58	2.71	5.58	2.27	3.05	0.004
		2	11.83	2.25	5.75	2.34	3.19	0.004
		3	11.75	3.17	7.58	3.29	2.94	0.004
		4	13.92	3.75	8.92	4.19	2.68	0.007
	inverse Simpson index	1	6.73	1.92	3.89	1.89	2.88	0.005
		2	7.41	1.81	4.23	1.56	2.98	0.005
		3	7.23	2.16	4.46	1.92	3.05	0.005
		4	7.76	2.40	5.07	2.11	2.73	0.006
evenness	1	0.51	0.09	0.69	0.16	-2.95	0.007	
	2	0.49	0.10	0.75	0.18	-2.91	0.007	
	3	0.49	0.12	0.64	0.19	-2.12	0.045	
	4	0.47	0.11	0.59	0.22	-1.19	0.232	

31 families), and 54 species (24%, from 17 families) were only found in the adjacent savanna. Considering juvenile woody plants only, we found 57 species from 24 families in our plots (Appendix Table S1), with 49 species on mounds, and 38 species in the paired savanna plots. Mounds and Savannas had 30 species of juvenile woody plants in common (53%). We found 19 juvenile woody species from 14 families which were exclusive to mounds, while only eight of

the juvenile woody species (from six families) were exclusive to the savanna plots. Species accumulation curves (Fig. 1) indicated sufficient sampling per plot type, and over time. In all four samplings, species richness and diversity were significantly higher on termite mounds than in the surrounding savannas (Wilcoxon rank sum test:  $P < 0.05$ , Fig. 2, Table 1). Evenness was significantly higher in savannas than on mounds in the first two samplings.



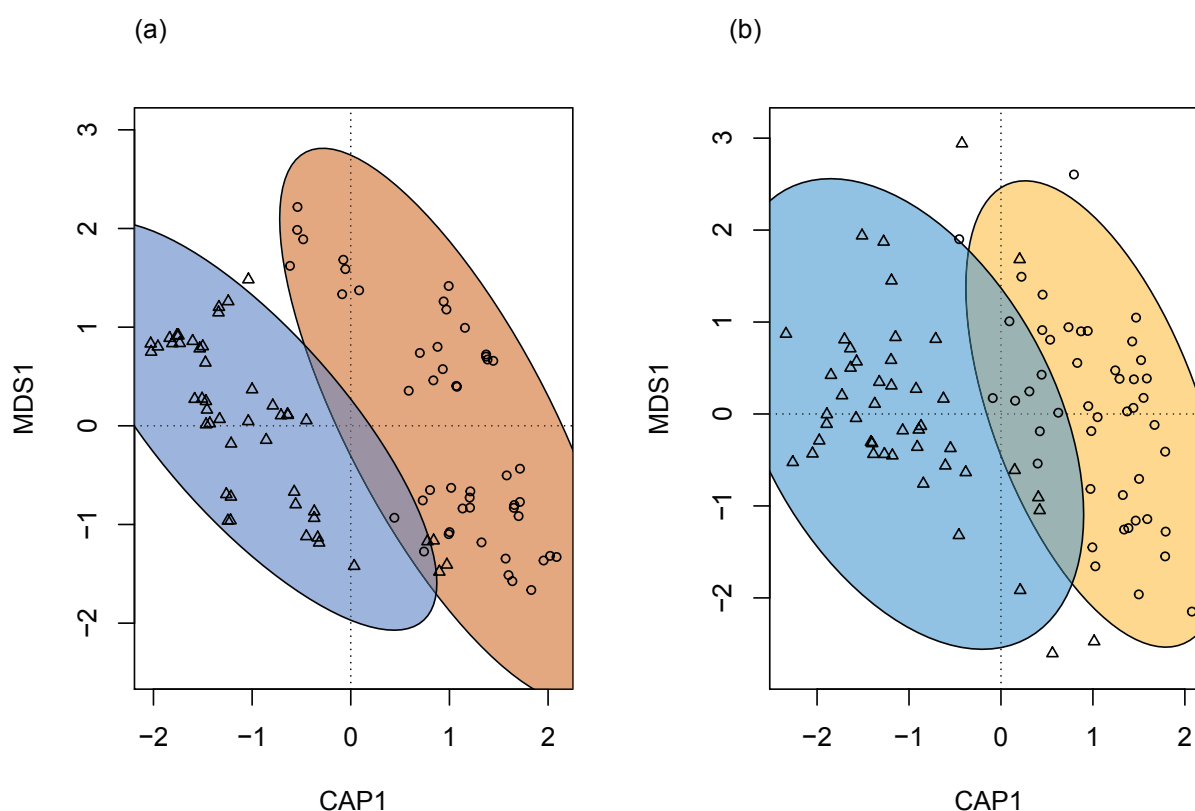
**Fig. 3:** Frequency of plant species, i.e. number of plots where a species was recorded on termite mounds (n=12) and savanna plots (n=12). (a) woody species, (b) non-woody species (herbaceous plants including graminoids, geophytes, hemicryptophytes, forbs and sub-shrubs). Only species present at more than four plots are included / Fréquence des espèces de plantes, ce est à dire le nombre de relevés où une espèce a été enregistrée sur les termitières (n = 12) et des relevés de savane (n = 12). (a) des espèces ligneuses, (b) des espèces non ligneuses (plantes herbacées, y compris graminées, géophytes, hémicryptophytes, et sous-arbrisseaux). Seules les espèces présentes à plus de quatre parcelles sont inclus.

**Table 2:** Basal area (cm<sup>2</sup>), number of individuals and number of stems of juvenile woody plants on mound and savanna plots. Given are mean and standard deviation across plots for each of the four sampling times. Statistical values Z and P are derived from Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests with Benjamini & Hochberg adjustment / La surface basale (cm<sup>2</sup>), nombre d'individus et le nombre de tiges de plantes ligneuses juvéniles sur termitière et relevés de savane. Étant donné sont moyenne arithmétique et l'écart-type sur relevés pour chacune des quatre périodes d'échantillonnage. Valeurs statistiques Z et P sont dérivées de Wilcoxon matched-pairs signed rank test avec l'ajustement de Benjamini & Hochberg.

	Sampling	Mound		Savanna		Z	P-value
		Mean	SD	Mean	SD		
basal area	1	41.31	22.68	24.12	26.65	2.98	0.01
	2	59.52	32.16	28.49	26.52	2.94	0.01
	3	44.55	27.02	26.83	32.35	2.49	0.03
	4	87.79	43.89	41.52	38.11	2.40	0.03
number of individuals	1	22.17	9.52	12.50	5.99	2.98	0.01
	2	27.50	11.83	12.42	6.22	2.94	0.01
	3	28.08	12.92	19.42	11.33	2.49	0.03
	4	35.50	15.75	24.67	16.71	2.40	0.03
number of stems	1	93.83	77.58	27.00	15.77	2.98	0.01
	2	133.50	132.49	37.92	17.72	2.94	0.01
	3	138.42	121.45	56.08	33.44	2.49	0.03
	4	222.33	283.97	72.75	45.77	2.40	0.03

**Table 3:** Mortality rate, colonisation rate and turnover rate of juvenile woody plants on mound and savanna plots. Given are mean and standard deviation across plots for each of the four sampling times. Statistical values Z and P are derived from Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests with Benjamini & Hochberg adjustment / Taux de mortalité, taux de colonisation et taux de roulement des plantes ligneuses juvéniles sur termitières et relevés de savane. Étant donné sont moyenne arithmétique et l'écart-type sur relevés pour chacune des quatre périodes d'échantillonnage. Valeurs statistiques Z et P sont dérivées de Wilcoxon matched-pairs signed rank test avec l'ajustement de Benjamini & Hochberg.

	Sampling	Mound		Savanna		Z	P-value
		Mean	SD	Mean	SD		
mortality	1-2	0.07	0.14	0.18	0.34	-0.29	0.77
	2-3	0.08	0.09	0.28	0.22	-2.07	0.10
	3-4	0.06	0.07	0.02	0.05	1.98	0.10
	1-4	0.05	0.09	0.16	0.27	-1.06	0.38
colonisation	1-2	0.20	0.16	0.30	0.34	0.07	0.94
	2-3	0.14	0.12	0.29	0.29	-0.88	0.92
	3-4	0.21	0.14	0.24	0.19	-0.40	0.92
	1-4	0.35	0.21	0.43	0.34	-0.68	0.92
turnover	1-2	0.16	0.11	0.26	0.33	0.14	0.89
	2-3	0.11	0.10	0.32	0.21	-2.17	0.12
	3-4	0.15	0.10	0.15	0.13	0.47	0.85
	1-4	0.25	0.15	0.36	0.28	-0.78	0.85



**Fig. 4:** Distance-based principal coordinate analysis for communities, constrained by plot type, (a) using Bray-Curtis distances on juvenile woody plants abundance data; (b) using Whittaker's  $\beta_w$  on non-woody species presence/absence data.  $\Delta$  : mounds,  $\circ$  : savannas, ellipses mark the 95% confidence interval for each group / Analyse en coordonnées principales pour les communautés végétales à la base des distances, contrainte par type de relevé, (a) en utilisant des distances Bray-Curtis sur des données de l'abondance des plantes ligneuses juvéniles; (b) en utilisant le  $\beta_w$  de Whittaker sur des données de présence / absence des espèces non-ligneuses.  $\Delta$ : termitière,  $\circ$ : savanes, ellipses marquent l'intervalle de confiance à 95% pour chaque groupe.

Overall, very few species occurred frequently, i.e. on many plots. Among both woody plantlets and non-woody plants, the most frequently found species occurred in either plot type (Fig. 3). In contrast, species restricted to one particular plot type were particularly infrequent. Of the species exclusive to mounds, only four non-woody and four woody species were found to be present at more than four of the sampled termite mounds over the whole sampling period. No species exclusive to the savanna was recorded in more than three of the savanna plots. The most frequent juvenile woody species exclusive to mounds (*Clausena anisata*, *Feretia apodanthera*, *Grewia lasiodiscus*) occurred on six of the mounds each, the most frequent juvenile woody species exclusive to savannas (*Pteleopsis suberosa*) was found only in three savanna plots.

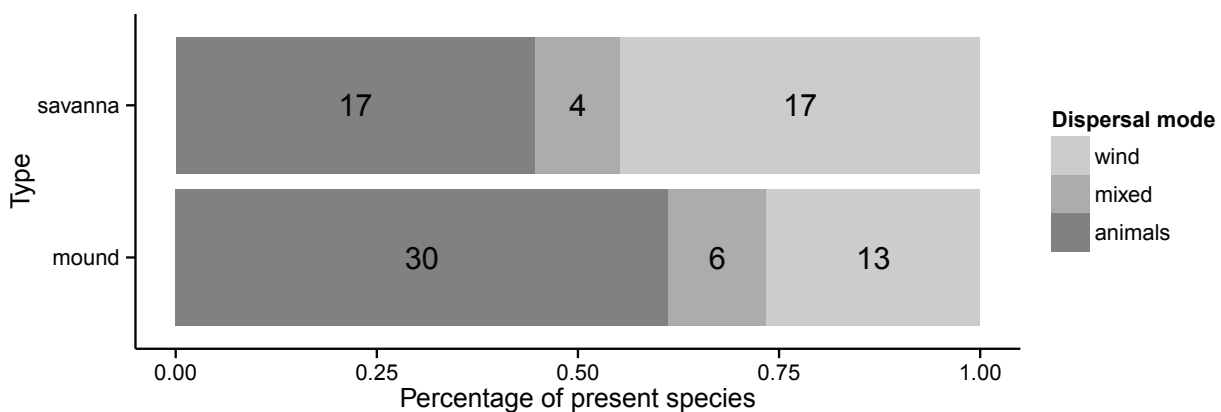
During our four sampling periods, we measured the basal area of 859 plant individuals on and off mounds. As most individuals showed more than one stem, we collected a total

of 9382 stem measurements over time. Over the whole sampling period, the total number of individuals as well as the total number of stems and total basal area of juvenile woody plants was constantly and significantly higher on mounds than in the savanna plots between plot pairs (Table 2). With one minor exception, all figures increased over time. Only the number of individuals in savanna plots at the second sampling was one individual less than at the previous sampling. Mortality was not significantly different between mound and savanna plot pairs, and neither between samplings or over the whole sampling period. Colonisation, and therefore also overall turnover, were also not significantly different between plot pairs (Table 3).

Community composition of juvenile woody plants differed between mounds and surrounding savanna plots, as indicated by CAP (Fig. 4a). Although the first axis for all plant species covered only 7.38% of the total variability of the juveniles dataset, groups were clearly separated. This was un-

**Table 4: Differences in dispersal mode among juvenile woody plant communities of mound and savanna plots. Given are mean number of species and standard deviation across plots for each of the four sampling times. Statistical values Z and P are derived from Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests with Benjamini & Hochberg adjustment / Différences entre les modes de dispersion entre les communautés juvéniles de plantes ligneuses de termitière et relevés de savane. Étant donné sont moyenne arithmétique et l'écart-type sur relevés pour chacune des quatre périodes d'échantillonnage. Valeurs statistiques Z et P sont dérivées de Wilcoxon matched-pairs signed rank test avec l'ajustement de Benjamini & Hochberg.**

Dispersal	Sampling	Mound		Savanna		Z	P-value
		Mean	SD	Mean	SD		
animals	1	6.58	1.51	2.73	1.85	3.51	<0.001
animals	2	7.42	1.73	2.42	1.68	4.11	<0.001
animals	3	7.33	1.78	4.00	2.37	3.02	0.005
animals	4	8.67	2.67	4.00	2.24	3.29	0.002
mixed	1	1.14	0.38	1.50	0.71	-1.01	0.714
mixed	2	1.12	0.35	1.50	1.00	-0.65	0.938
mixed	3	1.12	0.83	1.00	0.00	0.00	1.000
mixed	4	1.56	0.73	1.40	0.55	0.30	0.938
wind	1	3.33	1.50	2.83	0.94	0.76	0.724
wind	2	3.67	0.98	2.83	0.72	2.18	0.070
wind	3	3.67	1.50	3.67	1.07	-0.27	0.938
wind	4	4.08	1.62	4.67	1.72	-0.99	0.680



**Fig. 5: Distribution of dispersal modes of juvenile woody plants on mound and savanna plots over all samplings. Numbers in the graph indicate the species count per dispersal mode according to the legend / Distribution de modes de dispersion des plantes ligneuses juvéniles sur termitières et relevés de savane plus de tous les échantillonnages. Chiffres indiquent des nombre d'espèces par mode de dispersion.**

**Table 5:** Mean physical and chemical soil properties of all twelve termite mounds and twelve paired adjacent savanna plots in Pendjari National Park. Values are in mmol/kg unless otherwise indicated. Statistical values V and P are derived from Wilcoxon matched-pairs signed-rank tests with Benjamini & Hochberg adjustment / Moyenne des propriétés physiques et chimiques du sol de tous les douze paires de termitières et relevés de savane adjacentes du parc national de la Pendjari. Les valeurs sont en mmol/kg, sauf spécification contraire. Valeurs statistiques V et P sont dérivées de Wilcoxon matched-pairs signed rank test avec l'ajustement de Benjamini & Hochberg.

	Mound		Savanna		V	P-value
	Mean	SD	Mean	SD		
pH	6.81	0.66	5.68	0.38	76.0	0.004
P <sub>2</sub> O <sub>5av</sub>	1.12	1.18	0.45	0.14	44.5	0.092
K <sub>2</sub> O <sub>av</sub>	22.78	13.75	8.55	4.73	77.0	0.003
C	1.01	0.48	1.13	0.45	29.0	0.456
N	0.11	0.04	0.10	0.03	54.0	0.255
C:N ratio	8.81	1.26	11.82	2.63	1.0	0.003
Carbonates [%]	0.12	0.33	0.00	0.00	3.0	0.371
Organic substance [%]	1.03	1.33	1.34	1.34	11.0	0.673
CEC <sub>pot</sub>	97.60	37.82	78.64	20.37	61.0	0.092
Base concentration	86.37	39.31	53.03	19.63	69.0	0.021
Base saturation [%]	86.60	12.01	67.42	12.04	73.0	0.009
K <sup>+</sup>	6.24	5.36	1.37	1.53	77.0	0.003
Na <sup>+</sup>	0.50	0.35	0.29	0.28	49.0	0.168
Ca <sup>2+</sup>	62.85	28.25	40.15	14.64	65.0	0.045
Mg <sup>2+</sup>	16.77	7.24	11.22	3.91	66.0	0.038
Sand [%]	45.14	7.50	58.38	7.18	2.0	0.004
Silt [%]	37.00	4.15	33.14	6.48	61.5	0.084
Clay [%]	17.86	6.83	8.48	2.48	76.0	0.004

derlined by the MRPP analysis, which showed a significant, albeit small difference between the groups with a slightly lower mean  $\beta$ -diversity for termite mounds (effect size  $A = 0.06$ ,  $\delta = 0.75$ ,  $E\delta = 0.8$ ,  $p = 0.001$ , permutations = 999). CAP of presence-absence data for non-woody plants also showed mound and savanna groups (Fig. 4b). The first axis covered 4.41% of the total variability of the dataset. MRPP showed a significant difference in  $\beta$ -diversity for the groups with a slightly higher mean for termite mounds (effect size  $A = 0.03$ ,  $\delta = 0.79$ ,  $E\delta = 0.81$ ,  $p = 0.001$ , permutations = 999).

A comparison of dispersal modes between the communities showed significantly more animal-dispersed species on mounds (Fig. 5, Wilcoxon matched pairs signed rank test, adjusted  $p < 0.05$  for each sampling, Table 4), while both mixed dispersal mode and wind dispersal showed no significant differences between mound and savanna plots.

With respect to soil composition, termite mounds showed significant differences from the surrounding savannas (Fig. 6, Table 5). Physico-chemical analysis revealed that mound topsoil contained more plant-available potassium than savanna topsoil, and was enriched in clay. While the content of carbon and nitrogen did not differ significantly between mounds and savanna, the C:N ratio was significantly higher in savannas. Base saturation and base concentration were also significantly higher on mounds. Carbonates were absent in savanna soils, but present in mounds where they

could in some cases already be detected visually as small carbonate-rich nodules.

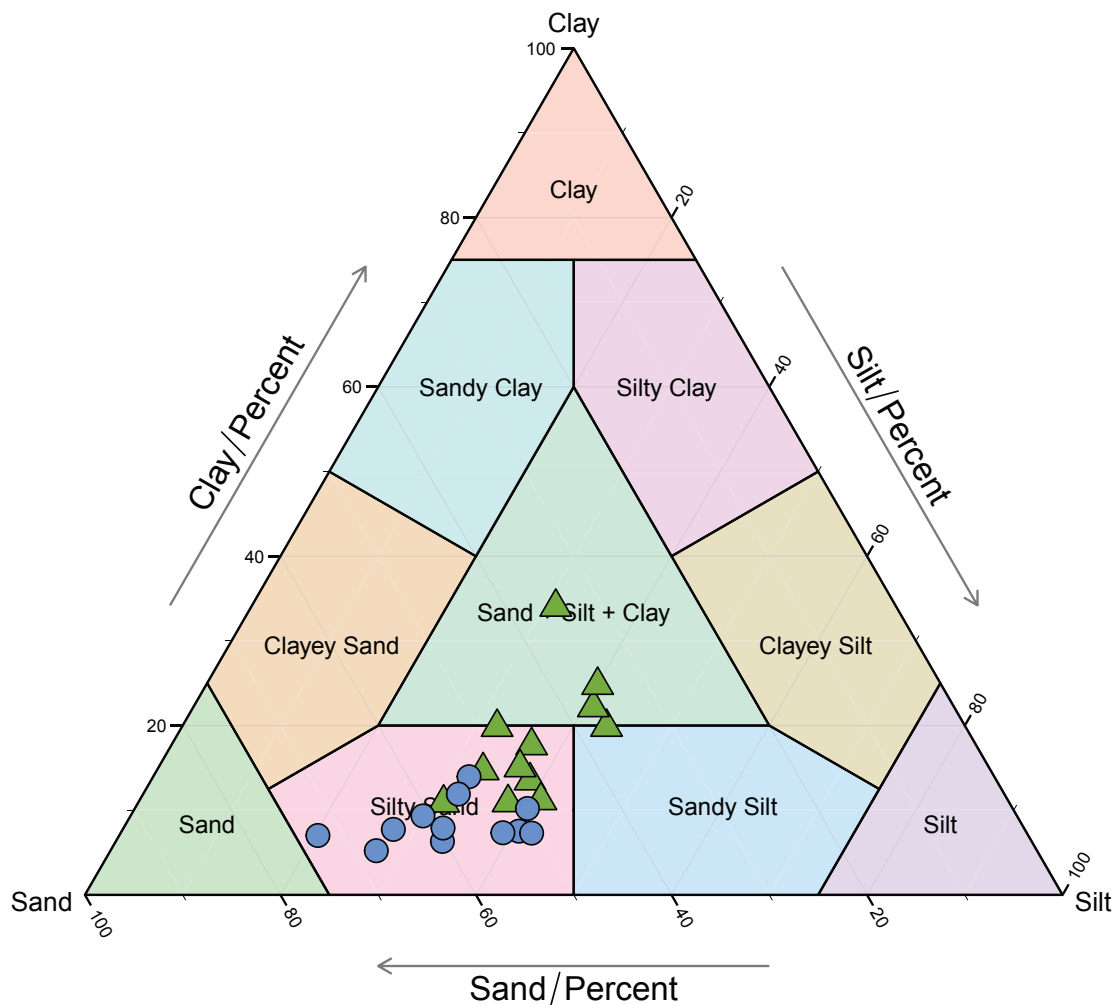
## 4 DISCUSSION

In this study, we used a repeated number of censuses and diameter measurements to gain more insight into patterns and processes within the community of juvenile woody plants and non-woody plants on and off termite mounds. While several of our hypotheses were confirmed, others had to be rejected or could not be adequately tested.

### 4.1 Biodiversity patterns

As expected, overall plant species richness and family richness were distinctly higher on mounds. Higher species richness on mounds was already reported in several studies from our study region (TRAORÉ et al. 2008a, KIRCHMAIR et al. 2012, ERPENBACH et al. 2013). Comparing paired plots, we detected higher species richness and diversity of juvenile woody plants on mounds than on the adjacent savanna plots (Figs. 1 & 2, Table 1). Higher plant species richness and diversity on mounds could be explained by several factors. First, termite mounds offer a more favourable environment for plants by providing higher nutrient and moisture availability in an otherwise deficient ecosystem (ADAMSON 1943, KONATÉ et al. 1999, JOUQUET et al. 2006, SILESHI et al. 2010), which was also confirmed by our soil analysis. Second, mounds offer some degree of shelter and protec-

### Shepard Sediment Classification Diagram



**Fig. 6:** Shepard diagram of termite mound and savanna plot soil samples. Mounds were characterized by higher clay content than the surrounding savanna plots.  $\Delta$  : mounds,  $\circ$  : savannas / Shepard schéma des échantillons de sol de termitières et de savanes. Termitières ont été caractérisées par la teneur plus élevée en argile que les relevés de savane environnantes.  $\Delta$ : termitières,  $\circ$ : savanes.

tion from disturbance such as fire and flooding (LAWSON & JENIK 1967, MCCARTHY et al. 1998, DEAN et al. 1999, BLÖSCH 2008, JOSEPH et al. 2013b), which on one hand can be a direct effect of termite activity due to slight elevation above the surrounding surface and a sparsely vegetated pediment around the mound base. On the other hand, it can also be an indirect effect due to less available fuel, i.e. less dry herbaceous, and more lush woody biomass, on mounds. Third, higher small-scale heterogeneity in soil and microclimatic conditions on mounds should promote the coexistence of plant species with different habitat requirements (compare, e.g., MOE et al. 2009, SILESHI & ARSHAD 2012, and also more generally STEIN et al. 2014 and MOESLUND et al. 2013). All these conditions enable the occurrence of species on mounds that may otherwise be discriminated against in the savanna by environmental stressors and competition.

Contrary to our findings (Fig. 2, Table 1), we had expected higher evenness on mound than savanna plots based on previous studies (MOE et al. 2009, OKULLO & MOE 2012a). However, the latter study only included herbaceous plants, for which evenness could not be investigated in the current ana-

lysis. VAN DER PLAS et al. (2013) also reported higher evenness on mounds, which was however not statistically significant when accounting for false discovery rate. In contrast, several studies also reported significantly lower evenness of mound vegetation, including woody and non-woody plants (LOVERIDGE & MOE 2004, KIRCHMAIR et al. 2012, STØEN et al. 2013). The lower evenness on mounds that we found in our study was likely caused by frequent and abundant species, like *Gymnosporia senegalensis*, and furthermore by species which were found infrequently, but in high abundance on mounds. For example, *Pseudocedreala kotschy* and *Afzelia africana* occurred on only a single mound each, but with a maximum of 14 and 11 individuals, respectively, for a given sampling period.

With respect to community composition, the ordinations showed a clear separation of mound and savanna communities for both woody juvenile and non-woody plants (Fig. 4). However, the community differences were less strongly pronounced as expected, which we attribute to the high number of shared frequent species (Fig. 3). Surprisingly, our hypothesis of higher  $\beta$ -diversity on mounds compared with

savanna plots was only confirmed for non-woody plants, but not for woody plants. Accordingly, the higher overall woody plant species richness we found on mounds should be influenced mainly by higher  $\alpha$ -diversity and not, as expected, by joint contributions of  $\alpha$ - and  $\beta$ -diversity. The lower  $\beta$ -diversity of woody plant species on mounds compared to savanna plots implies a more frequent reoccurrence of characteristic woody plant species on mounds. This makes sense considering that the three most-frequent woody plant species exclusive to mounds occurred on six mounds each, whereas the single most-frequent species exclusive to the savanna occurred only on three plots. Moreover, this trend towards a slightly more uniform typical "termite-mound vegetation" within juvenile woody plant communities is in accordance with findings from a related study that identified mainly woody plant species as characteristic mound species across multiple sites in West Africa (ERPENBACH et al. 2013). Unsurprisingly,  $\beta$ -diversity between mound and savanna plots was consistently higher than among-group  $\beta$ -diversity for both woody and non-woody plants. This goes in line with our findings of 65 exclusive mound species and 54 exclusive savanna species, including both woody and non-woody species (also compare Fig. 3).

#### 4.2 Population dynamics

In accordance with our hypothesis, basal area of juvenile woody plants was constantly and significantly higher on mound than on savanna plots in all samplings (Table 2). This goes in line with the higher number of individuals and higher number of stems that we found on mounds. Basal area of woody plants is often used as a proxy for biomass and productivity (CATCHPOLE & WHEELER 1992, VANCLAY 1992). We expected higher productivity on mounds, as a large number of studies has reported higher soil nutrient levels on mounds (JOUQUET et al. 2006, SILESHI & ARSHAD 2012). Also our own soil analysis revealed a better supply with potassium and other bases, and a more favourable (i.e., in this circumstance, smaller) C:N ratio on mounds than in the savanna. More fertile soil as well as higher water storage capacity due to higher clay content should thus promote productivity on mounds, similarly to the already mentioned promotion of plant diversity. These favourable conditions could also play a role in reducing mortality on mounds, as was suggested by MOE et al. (2009). Lower mortality, higher colonisation rates or a combination of both should be responsible for the higher abundance that we found on mounds. Mean mortality was generally lower on mounds than on savanna plots, even though the difference was not statistically significant (Table 3). Surprisingly, we neither found any significant differences in colonisation and turnover rates between mound and savanna; however, more studies with increased statistical power are needed to confirm or reject these results and understand mortality and colonisation dynamics better. We would therefore suggest to focus on a selected set of frequent and abundant species in future analyses. This would make it possible to extend the scope of further analysis to species level, and to distinguish between effects of biotic interaction among plants (e.g., density-dependent mortality, inter- and intraspecific competition) and of other influential environmental factors (e.g., fire, water availability, herbivory) on juvenile woody plants

on mounds. It is likely that intraspecific density affects several species on mounds, as density-dependent mortality has already been shown for *Acacia erythrocalyx* (TRAORÉ et al. 2008b). Moreover, not only mortality, but also species-specific biomass gain should be influenced by density as well as other mound-mediated factors. Unfortunately, in our dataset, the analysis of basal area gain as a biomass proxy was impeded. Continuous diameter measurements could only be conducted for one third of the 859 sampled individuals, due to high turnover rates and die-back of juveniles. Only four woody species were present both at more than four plots and at all four samplings, but not necessarily with the same individuals. In combination with low overall frequency and abundance of each species, this hampered an adequate testing of our hypothesis. Currently available experimental research indicates that differences in soil nutrients between mound and savanna influence neither the number of seedlings nor the growth rates of selected species (MULLER & WARD 2013). However, the experiment was performed under greenhouse conditions, and soil handling might have influenced the outcome. An experimental study of two herbaceous model species found that in situ biomass gain was higher on mounds than in the surrounding savanna, while biomass gain was higher on potted savanna soil than handled mound soil, presumably due to soil handling (GROHMANN 2010). However, experimental research in situ is highly challenging: in an experimental approach run simultaneously to our survey presented in this study, less than 1 % of all germinated seedlings (N = 1000) in a random block design with in situ and ex situ replicates survived long enough to obtain biomass measurements. As population dynamics on mounds and their impact on plant growth and survival of seedlings and saplings remain poorly understood, further research focussing on juvenile plants is desperately needed.

Regarding dispersal modes, we found that animal-dispersed species were overrepresented in the communities of juvenile woody plants on mounds, as predicted (Fig. 5, Table 4). In contrast, we did not detect differences in the proportion of wind-dispersed species and species with a mixed dispersal mode. It has been shown that protection from fire can lead to a prevalence of animal-dispersed colonisers in a savanna landscape (SWAINE et al. 1992), and the importance of termite mounds as refugia from severe fire has recently been emphasised (TRAORÉ et al. 2008a, JOSEPH et al. 2013b). Based on these findings, we would, however, expect a stronger effect of mounds as more fire-protected habitats on seedling mortality than was found in our study. We therefore suggest that directed dispersal by animals is a driving force behind the higher number of individuals and species, and also lower evenness on mounds. Due to the high structural complexity of mounds, they are attractive to animals already in an unvegetated stage. After establishment of woody plants, attractiveness should be increased through the high structural complexity of mound vegetation, which has been shown to harbour a large proportion of species with a climbing and scrambling habitus, and higher vegetation density (MOE et al. 2009, ERPENBACH et al. 2013). Such structural complexity can provide shelter, thermoregulation, roosting and nesting sites, and more heterogeneous food resources (LAWTON 1983). The resulting high attractiveness of mounds has

been shown for various taxa (FLEMING & LOVERIDGE 2003, MOE et al. 2009, BRODY et al. 2010, GARDEN et al. 2010, JOSEPH et al. 2011; but see also van der PLAS et al. 2013). Thus, structural complexity of mounds and mound vegetation can potentially lead to higher input of animal-dispersed diaspores, leading to higher dominance of some well-dispersed species and higher individual density, but also to higher species richness than in the surrounding savanna. Animal-dispersed species are often thought to have better long-distance dispersal ability than wind-dispersed species (HOVESTADT et al. 1999, HOVESTADT et al. 2005). Considering that some species often found on mounds, e.g. *Diospyros mespiliformis*, also typically occur in gallery forests and forest islands within the savanna habitat (HOVESTADT et al. 1999), the mound microhabitat could be considered an important stepping stone for populations of these otherwise spatially disconnected habitats.

Further long-term studies are needed to understand population dynamics on mounds and surrounding savanna habitats in more detail. Still, the outcomes of our study and of previous research emphasize that termite mounds represent crucial habitats for both plant and animal species and provide essential contributions to spatial structure and complexity in savanna systems.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the endorsement of our work and issuing of research permits by the national, regional, and local authorities in charge of Pendjari National Park. We are grateful to Brice Sinsin (Université d'Abomey-Calavi), and Adjima Thiombiano (Université de Ouagadougou) and their groups for their support. The Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, kindly provided help in soil analysis. We thank Anke Stein for helpful and very constructive comments on the manuscript. AE wishes to thank Holger Kreft (University of Göttingen) for continuing support, and Kevin Darras for proofreading the French translations. We thank BIOTA West (funding code 01LC0617D1, Federal Ministry of Science and Education, Germany, www.biota-africa.org) and the "Biodiversity and Climate" (BiK-F) in the framework of the LOEWE program (Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz) of the State of Hesse (Germany) research centre, and UNDESERT ("Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services", funding code EU FP7 243906, European Commission, Directorate General for Research and Innovation, Environment Programme) for funding.

#### REFERENCES

ADAMSON A (1943): Termites and the fertility of soils. *Trop. Agric. (Trinidad)* 20: 107–112.

AKÉ ASSI L (2001): Flore de la Côte-d'Ivoire: catalogue systématique, biogéographie et écologie. II. Editions de Conservatoire et Jardin Botanique, Geneva. *Boissiera* 58: 1–401.

ANDERSON MJ & WILLIS TJ (2003): Canonical analysis of principal coordinates: A useful method of constrained ordination for ecology. *Ecol* 84: 511–525.

BENJAMINI Y & HOCHBERG Y (1995): Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *J. R. Stat. Soc. Ser. B* 57: 289–300.

BLÖSCH U (2008): Thicket clumps: A characteristic feature of the Kagera savanna landscape, East Africa. *J. Veg. Sci.* 19: 31–44.

BOND WJ (2008): What limits trees in C4 grasslands and savannas? *Annual Rev Ecol Evol Syst* 39: 641–659.

BRODY AK, PALMER TM, FOX-DOBBS K & DOAK DF (2010): Termites, vertebrate herbivores, and the fruiting success of *Acacia drepanolobium*. *Ecol* 91: 399–407.

CATCHPOLE WR & WHEELER CJ (1992): Estimating plant biomass: A review of techniques. *Aust. J. Ecol.* 17: 121–131.

COLE MM (1963): Vegetation and geomorphology in Northern Rhodesia: An aspect of the distribution of the savanna of Central Africa. *Geogr. J.* 129: 290–305.

AFRICAN PLANTS DATABASE (2014): Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute). Available at <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/> (Accessed 8/2/2014).

DEAN WRJ, MILTON SJ & JELTSCH F (1999): Large trees, fertile islands, and birds in arid savanna. *J Arid Environment* 41: 61–78.

ERPENBACH A, BERNHARDT-RÖRMERMANN M, WITTIG R, THIOMBIANO A & HAHN K (2013): The influence of termite-induced heterogeneity on savanna vegetation along a climatic gradient in West Africa. *J Trop Ecol.* 29: 11–23.

FLEMING PA & LOVERIDGE JP (2003): Miombo woodland termite mounds: resource islands for small vertebrates? *J Zool* 259: 161–168.

GARDEN JG, MCALPINE CA & POSSINGHAM HP (2010): Multi-scaled habitat considerations for conserving urban biodiversity: native reptiles and small mammals in Brisbane, Australia. *Landsc Ecol* 25: 1013–1028.

GROHMANN C (2010): Termite mediated heterogeneity of soil and vegetation patterns in a semi-arid savanna ecosystem in Namibia. PhD dissertation. University of Würzburg. Würzburg, Germany. 122 pp.

GUINKO S (1984): La végétation de la Haute-Volta. Thèse de doctorat (PhD thesis). Université de Bordeaux III. Bordeaux, France. 318 pp.

HOVESTADT T, POETHKE HJ & LINSENMAIR KE (2005): Spatial patterns in species-area relationships and species distribution in a West African forest-savanna mosaic. *J. Biogeogr.* 32: 677–684.

HOVESTADT T, YAO P & LINSENMAIR KE (1999): Seed dispersal mechanisms and the vegetation of forest islands in a West African forest-savanna mosaic (Comoe National Park, Ivory Coast). *Plant Ecol* 144: 1–25.

HOVESTADT T (1997): Fruchtmerkmale, endozoochore Samenausbreitung und ihre Bedeutung für die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft: Untersuchungen im Wald-Savannenmosaik des Comoé Nationalparks, Elfenbeinküste. Dissertation (PhD thesis). Universität Würzburg. Würzburg, Germany. 245 pp.

JACKSON G & GARTLAN JS (1965): The flora and fauna of Lolui Island, Lake Victoria - a study of vegetation, men and monkeys. *J Ecol* 53: 573–597.

JOSEPH GS, CUMMING GS, CUMMING DHM, MAHLANGU Z, ALTWEGG R & SEYMOUR CL (2011): Large termitaria act as refugia for tall trees, deadwood and cavity-using birds in a miombo woodland. *Landsc Ecol* 26: 439–448.

JOSEPH GS, SEYMOUR CL, CUMMING GS, CUMMING DH, MAHLANGU Z & BARTHA S (2013a): Termite mounds as islands: woody plant assemblages relative to termitarium size and soil properties. *J Veg Sci* 24: 702–711.

JOSEPH GS, SEYMOUR CL, CUMMING GS, CUMMING DHM & MAHLANGU Z (2014): Termite Mounds Increase Functional



- Diversity of Woody Plants in African Savannas. *Ecosystems* 17: 808–819.
- JOSEPH GS, SEYMOUR CL, CUMMING GS, MAHLANGU Z & CUMMING DHM (2013b): Escaping the flames: large termitaria as refugia from fire in miombo woodland. *Landsc Ecol* 28: 1505–1516.
- JOUQUET P, DAUBER J, LAGERLOF J, LAVELLE P & LEPAGE M (2006): Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Appl Soil Ecol* 32: 153–164.
- KIRCHMAIR I, SCHMIDT M, HAHN K, ERPENBACH A & ZIZKA G (2012): Biodiversity islands in the savanna - Analysis of the phytodiversity on termite mounds in Northern Benin. *Flora Veg Sudano-Sambesica* 15: 3–14.
- KONATÉ S, LE ROUX X, TESSIER D & LEPAGE M (1999): Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime, and tree leaf shedding pattern in a West African savanna. *Plant Soil* 206: 47–60.
- LAWSON GW & JENIK J (1967): Observations on microclimate and vegetation interrelationships on Accra plains (Ghana). *J Ecol* 55: 773–785.
- LAWTON JH (1983): Plant Architecture and the Diversity of phytophagous Insects. *Annual Rev Entomol* 28: 23–39.
- LEHMANN C, ANDERSON TM, SANKARAN M, HIGGINS SI, ARCHIBALD S, HOFFMANN WA, HANAN NP, WILLIAMS RJ, FENSHAM RJ, FELFILI J, HUTLEY LB, RATNAM J, SAN JOSE J, MONTES R, FRANKLIN D, RUSSELL-SMITH J, RYAN CM, DURIGAN G, HIERNAUX P, HAIDAR R, BOWMAN DMJS & BOND WJ (2014): Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. *Science* 343: 548–552.
- LEVICK SR, ASNER GP, KENNEDY-BOWDOIN T & KNAPP DE (2010): The spatial extent of termite influences on herbivore browsing in an African savanna. *Biol Conservation* 143: 2462–2467.
- LOVERIDGE JP & MOE SR (2004): Termitaria as browsing hotspots for African megaherbivores in miombo woodland. *J Trop Ecol* 20: 337–343.
- MCCARTHY TS, ELLERY WN & DANGERFIELD JM (1998): The role of biota in the initiation and growth of islands on the floodplain of the Okavango alluvial fan, Botswana. *Earth Surf. Process. Land.* 23: 291–316.
- MCCUNE B & GRACE JB (2002): Analysis of ecological communities. With a contribution by D L Urban. Glenden Beach, OR, USA, MjM Software Design. 300 pp.
- MIELKE PW & BERRY KJ (2001): Permutation methods: A distance function approach. New York, NY, USA, Springer Verlag. 352 pp.
- MOE SR, MOBAEK R & NARMO AK (2009): Mound building termites contribute to savanna vegetation heterogeneity. *Plant Ecol* 202: 31–40.
- MOESLUND JE, ARGE L, BØCHER PK, DALGAARD T & SVENNING J-C (2013): Topography as a driver of local terrestrial vascular plant diversity patterns. *Nordic J Bot* 31: 129–144.
- MULLER K & WARD D (2013): Direct and indirect effects of termites on savanna tree-seedling growth. *Plant Ecol* 214: 811–819.
- OKSANEN J, BLANCHET FG, KINDT R, LEGENDRE P, MINCHIN PR, O'HARA RB, SIMPSON GL, SOLYMOS P, STEVENS MHH & WAGNER H (2013): vegan: Community ecology package. Available at <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- OKULLO P & MOE SR (2012a): Large herbivores maintain termite-caused differences in herbaceous species diversity patterns. *Ecology* 93: 2095–2103.
- OKULLO P & MOE SR (2012b): Termite activity, not grazing, is the main determinant of spatial variation in savanna herbaceous vegetation. *J Ecol* 100: 232–241.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2014): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at <http://CRAN.R-project.org>
- SANKARAN M, HANAN NP, SCHOLES R J, RATNAM J, AUGUSTINE DJ, CADE BS, GIGNOUX J, HIGGINS SI, LE ROUX X, LUDWIG F, ARDO J, BANYIKWA F, BRONN A, BUCINI G, CAYLOR KK, COUGHENOUR MB, DIOUF A, EKAYA W, FERAL CJ, FEBRUARY EC, FROST PGH, HIERNAUX P, HRABAR H, METZGER KL, PRINS HH T, RINGROSE S, SEA W, TEWS J, WORDEN J & ZAMBATIS N (2005): Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438: 846–849.
- SANKARAN M, RATNAM J & HANAN N (2008): Woody cover in African savannas: the role of resources, fire and herbivory. *Global Ecol Biogeogr* 17: 236–245.
- SCHOLES RJ & ARCHER SR (1997): Tree-grass interactions in savannas. *Annual Rev Ecol Evol Syst* 28: 517–544.
- SILESHI GW & ARSHAD MA (2012): Application of distance-decay models for inferences about termite mound-induced patterns in dryland ecosystems. *J Arid Environment* 77: 138–148.
- SILESHI GW, ARSHAD MA, KONATE S & NKUNIKA POY (2010): Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation: Mechanisms and patterns. *J Veg Sci* 21: 923–937.
- SMITH B & WILSON JB (1996): A consumer's guide to evenness indices. *OIKOS* 76: 70–82.
- STAYER AC, ARCHIBALD S & LEVIN SA (2011): The global extent and determinants of savanna and forest as alternative biome states. *Science* 334: 230–232.
- STEIN A, GERSTNER K & KREFT H (2014): Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecol L* 17: 866–880.
- STØEN O-G, OKULLO P, EID T & MOE SR (2013): Termites facilitate and ungulates limit savanna tree regeneration. *Oecologia* 172: 1085–1093.
- SWAINE MD, HAWTHORNE WD & ORGLE TK (1992): The effects of fire exclusion on savanna vegetation at Kpong, Ghana. *Biotropica* 24: 166–172.
- TRAORÉ S, NYGÅRD R, GUINKO S & LEPAGE M (2008a): Impact of *Macrotermes* termitaria as a source of heterogeneity on tree diversity and structure in a Sudanian savannah under controlled grazing and annual prescribed fire (Burkina Faso). *Forest Ecol Management* 255: 2337–2346.
- TRAORÉ S, TIGABU M, OUÉDRAOGO SJ, BOUSSIM JI, GUINKO S & LEPAGE MG (2008b): *Macrotermes* mounds as sites for tree regeneration in a Sudanian woodland (Burkina Faso). *Plant Ecol* 198: 285–295.
- TROLL C (1936): Termitensavannen. Pp. 275–312 in Louis, H. & Panzer, W. (eds.). *Festschrift zur Vollendung des sechzigsten Lebensjahres Norbert Krebs*. J. Engelhorn, Stuttgart, Germany.
- VAN DER PLAS F, HOWISON R, REINDERS J, FOKKEMA W & OLFF H (2013): Functional traits of trees on and off termite

mounds: understanding the origin of biotically-driven heterogeneity in savannas. *J Veg Sci* 24: 227–238.

VANCLAY JK (1992): Assessing site productivity in tropical moist forests: a review. *Forest Ecol Management* 54: 257–287.

WHITE F (1983): The vegetation of Africa: A descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. Paris, France, UNESCO. 356 pp. References

\*Corresponding author. E-mail address: arne.erpenbach@forst.uni-goettingen.de

## APPENDIX

**Appendix Table S1: List of juvenile woody species found on mounds and savannas over the whole sampling period.**

Family	Species	mound	savanna
Anacardiaceae	<i>Lannea acida</i>	+	+
Anacardiaceae	<i>Ozoroa insignis</i>	+	
Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i>	+	+
Bignoniaceae	<i>Stereospermum kunthianum</i>	+	+
Bombacaceae	<i>Bombax costatum</i>	+	+
Caesalpiniaceae	<i>Afzelia africana</i>	+	
Caesalpiniaceae	<i>Burkea africana</i>	+	+
Caesalpiniaceae	<i>Cassia sieberiana</i>	+	
Caesalpiniaceae	<i>Detarium microcarpum</i>	+	+
Caesalpiniaceae	<i>Piliostigma thonningii</i>	+	+
Caesalpiniaceae	<i>Tamarindus indica</i>	+	
Celastraceae	<i>Gymnosporia senegalensis</i>	+	+
Combretaceae	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	+	
Combretaceae	<i>Combretum adenogonium</i>	+	+
Combretaceae	<i>Combretum collinum</i>	+	+
Combretaceae	<i>Combretum glutinosum</i>	+	+
Combretaceae	<i>Combretum molle</i>	+	+
Combretaceae	<i>Combretum nigricans</i>	+	+
Combretaceae	<i>Guiera senegalensis</i>		+
Combretaceae	<i>Pteleopsis suberosa</i>		+
Combretaceae	<i>Terminalia avicennioides</i>	+	+
Combretaceae	<i>Terminalia laxiflora</i>		+
Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis</i>	+	
Euphorbiaceae	<i>Bridelia ferruginea</i>	+	+
Euphorbiaceae	<i>Flueggea virosa</i>	+	
Fabaceae	<i>Pericopsis laxiflora</i>	+	
Fabaceae	<i>Philenoptera laxiflora</i>	+	+
Fabaceae	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	+	+
Fabaceae	<i>Xeroderris stuhlmannii</i>		+
Loganiaceae	<i>Strychnos innocua</i>		+
Loganiaceae	<i>Strychnos spinosa</i>	+	+
Malvaceae	<i>Cienfuegosia heteroclada</i>	+	
Meliaceae	<i>Pseudocedrela kotschyi</i>	+	+
Meliaceae	<i>Trichilia emetica</i>	+	+
Mimosaceae	<i>Acacia dudgeonii</i>	+	
Mimosaceae	<i>Acacia gourmaensis</i>	+	+

<b>Family</b>	<b>Species</b>	<b>mound</b>	<b>savanna</b>
Mimosaceae	<i>Acacia hockii</i>	+	+
Mimosaceae	<i>Dichrostachys cinerea</i>	+	
Mimosaceae	<i>Prosopis africana</i>		+
Moraceae	<i>Ficus sur</i>	+	
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i>	+	+
Polygalaceae	<i>Securidaca longepedunculata</i>		+
Rubiaceae	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	+	+
Rubiaceae	<i>Fadogia cienkowskii</i>		+
Rubiaceae	<i>Feretia apodanthera</i>	+	
Rubiaceae	<i>Gardenia aqualla</i>	+	
Rubiaceae	<i>Gardenia erubescens</i>	+	+
Rubiaceae	<i>Gardenia ternifolia</i>	+	+
Rutaceae	<i>Clausena anisata</i>	+	
Rutaceae	<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	+	
Sapotaceae	<i>Vitellaria paradoxa</i>	+	+
Simaroubaceae	<i>Quassia undulata</i>	+	
Sterculiaceae	<i>Dombeya quinqueseta</i>	+	+
Sterculiaceae	<i>Sterculia setigera</i>	+	
Tiliaceae	<i>Grewia lasiodiscus</i>	+	
Tiliaceae	<i>Grewia mollis</i>	+	+
Verbenaceae	<i>Vitex madiensis</i>	+	
Zygophyllaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i>	+	+

## UseDa - A new database tool on ethnobotanical uses of West African plant species

Karen Hahn<sup>1,3</sup>, Marco Schmidt<sup>2,3</sup>, Anne Mette Lykke<sup>4</sup>, Adjima Thiombiano<sup>5</sup>

<sup>1</sup> J. W. Goethe University, Institute for Ecology, Evolution and Diversity, Max-von-Laue-Str. 13 B, 60438 Frankfurt am Main, Germany

<sup>2</sup> Senckenberg Research Institute, Department of Botany and molecular Evolution, Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main, Germany

<sup>3</sup> Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F), Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main, Germany

<sup>4</sup> Aarhus University, AU Research and Talent, Helsingforsgade 27, DK-8200 Aarhus N, Denmark

<sup>5</sup> University of Ouagadougou, Laboratory of Plants Biology and Ecology, 03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

**Summary:** Knowledge about useful plants and their various applications in West Africa is scattered over many publications and often in form of grey literature difficult to access. Several online-databases compile large scale information from these sources and provide comprehensive summarized descriptions of plant usages. Our aim is to additionally build up a database (UseDa) for primary ethnobotanical interview data. Thus, quantitative data can be extracted and synthesized and data sets can be treated according to different research questions analyzing for example uses in specific areas, of different ethnic groups or user groups, which is essential for practical applications on a local level. In this article we give an overview on the technical structure and the content of the database and discuss at the end the possible output for practical application. The database was set up in the frame of the EU-funded Project UNDESERT.

**Key words:** Ethnobotany, data base tool, West African plants.

### USEDA - UN NOUVEL OUTIL DE BASE DE DONNÉES SUR LES UTILISATIONS ETHNOBOTANIQUES DES PLANTES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

**Résumé :** La connaissance sur les plantes utiles et leurs diverses applications en Afrique de l'Ouest sont dispersées sur de nombreuses publications et souvent difficiles d'accès car souvent publiées sous la forme de littérature grise. Plusieurs bases de données en ligne compilent à grande échelle des informations provenant de ces sources et fournissent des descriptions synthétiques des usages des plantes. Notre objectif est de construire une base de données (UseDa) pour les données primaires des enquêtes ethnobotaniques. Ainsi, les données quantitatives peuvent être extraites et synthétisées et elles peuvent être traitées selon différentes questions de recherche analysant par exemple leurs utilisations dans des zones spécifiques, par différents groupes ethniques ou groupes d'utilisateurs, ce qui est essentiel pour les applications pratiques au niveau local. Dans cet article, nous donnons un aperçu sur la structure technique et le contenu de la base de données et discutons à la fin les options possibles pour une application pratique. La base de données a été mise en place dans le cadre du projet UNDESERT financé par l'UE.

**Mots clés:** Ethnobotanique, outil de base de données, plantes Ouest-Africaines.

### USEDA – EIN NEUES DATENBANK-INSTRUMENT ZUR ETHNOBOTANISCHEN NUTZUNG VON WESTAFRIKANISCHEN PFLANZEN

**Zusammenfassung:** Das Wissen über die Nutzung von Wildpflanzen in Westafrika und ihre verschiedenen Anwendungen ist in zahlreichen, breit gestreuten Publikationen dokumentiert und oft in Form von grauer Literatur schwer zugänglich. Mehrere Online-Datenbanken umfassen Informationen aus diesen Quellen und bieten zusammenfassende Kurzbeschreibungen der Pflanzen Nutzungen. Unser Ziel ist es, zusätzlich eine Datenbank (UseDa) für ethnobotanische Primärdaten aus Interviews aufzubauen. Damit können quantitative Daten extrahiert und synthetisiert werden. Es können Datensätze nach verschiedenen Fragestellungen analysiert werden, z.B. der Frage nach verwendeten Arten in bestimmten Gebieten, durch verschiedene ethnische Gruppen oder unterschiedliche Nutzergruppen, was für die praktische Anwendung auf lokaler Ebene von Bedeutung ist. In diesem Artikel geben wir einen Überblick über den technischen Aufbau und den Inhalt der Datenbank und diskutieren am Ende den möglichen Output für die praktische Anwendung. Die Datenbank wurde im Rahmen des EU-geförderten Projekt UNDESERT aufgebaut.

**Schlagworte:** Ethnobotanik, Datenbank, westafrikanische Pflanzen.

## 1 INTRODUCTION

Many cash poor rural communities in West Africa strongly depend on the provisioning ecosystem services of their environments, that is products directly obtained from the ecosystems, e.g. food, fibers, medicine (CAPISTRANO et al. 2005). Particularly non-timber forest products (NTFPs), which comprise any products other than timber derived from forests and woodlands (e.g. fruits, leaves, bark, roots), contribute significantly to maintain livelihoods (LYKKE et al. 2004, PARÉ et al. 2010, HEUBACH et al. 2011). A wide range of plant species are used mainly for households' subsistence and consumption needs, whereas some tree species also provide regular cash income (HEUBACH et al. 2011, HEUBES et al. 2012), as their products are sold on local markets (e.g. soulbala, a condiment made from seeds from *Parkia biglobosa*) are even exported (e.g. shea nuts of *Vitellaria paradoxa*).

For a number of plant species, general information about their use for different purposes (e.g. medicine, consumption, energy and construction) is available (BURKILL 1995, ARBONNIER 2002, THIOMBIANO, SCHMIDT et al. 2012). However, recent studies in West Africa showed that use values of plant species can differ considerably due to social and spatial differentiations, e.g. age, gender, ethnic affiliation, village (KEPE 2008, DE CALUWÉ et al. 2009, SCHUMANN et al. 2012, SOP et al. 2012). Subsequently detailed data are required to assess species use values according to different user groups as well as different areas with varying availabilities of species. Extensive knowledge on local use preferences and the socio-economic values of species therefore is important for the development of sound practical actions and appropriate conservation strategies towards sustainable use for maintaining species populations or for increasing and improving degraded populations through planting measures. In this regard it is also important to assess and collect information on the population status and developing trends of useful species.

Knowledge about useful plants and their various applications in West Africa is still scattered over many publications and quite often in form of grey literature difficult to access. In recent years several initiatives came up to create online databases for making access easier to data on useful plant species, e.g. SEPASAL (the Survey of Economic Plants for Arid and Semi-Arid Lands) or PROTA (Plant Resources of Tropical Africa). These databases compile on large scale information from different ethnobotanical literature sources and make the description of plant usages available through the web (<http://www.kew.org/ceb/sepasal/index.html>, <http://database.prota.org/>) or synthesis publications (PROTA 2010). As these data are synthesized, however, neither site-specific data nor data related to ethnic groups or quantitative data are available from these sources.

With the construction of the database UseDa we aim at collecting and compiling primary interview data, which enable researchers to synthesize and extract quantitative data. Thus, different data sets can be treated according to different stakeholder interests, e.g. for different areas, ethnic groups,

user groups (women, men, pastoralists, farmers), which is essential for practical applications.

The database UseDa was developed in the frame of the EU-funded research project UNDESERT: "Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services" ([www.undesert.neri.dk](http://www.undesert.neri.dk)). Data are continuously entered by scientists from several West African and European countries (Benin, Burkina Faso, Denmark, Germany, Niger, Senegal) collaborating closely in UNDESERT. In the following we describe the technical structure and the content of the database.

## 2 TECHNICAL STRUCTURE OF THE DATABASE

The user interface of the database is designed in Delphi. The data storage takes place in MS Access and queries and reports are carried out in MS Access. The database management system MS Access was chosen as it is available to many people as part of the MS Office suite. Each user can create his own local database to store the data. At a given time these local databases can be exchanged between researchers and/or joined in a central database as all records are unambiguously identified by GUIDs (globally unique identifiers). UseDa's plant names are following the AFRICAN PLANTS DATABASE (2012) as a standard list and can therefore be easily linked to other botanical resources for West Africa using the same standard, including the West African Vegetation Database (SCHMIDT et al. 2012) and 'African Plants – a photo guide (DRESSLER et al. 2014). This makes it possible to include information on co-occurrence, community structure, a range of plant trait data and geographical distributions in joint analyses with plant use data.

## 3 CONTENT OF THE DATABASE

To set up the database entry mask we considered two types of interviews for gathering most important information on use values and the status of species: i) structured general interviews which serve to gather broad information from several study areas on multipurpose woody species, ii) a structured detailed interviews, which assesses more detailed information for single species use.

Structured general interviews serve to assess broader information on the general usefulness and use preferences of local stakeholders as well as their perception of the population status of the species. The knowledge and perception of local resource users provide valuable insights into the local vegetation and its development (CUNNINGHAM 2001) and is thus one of the most important sources for indications on species population changes as historical and long-term data generally are lacking in West Africa. Moreover information about the planting interests of local communities is part of these interviews. The questionnaires consider a large number of woody species, which are important due to their multipurpose use function. The species are selected on the basis of expert knowledge of the study areas and literature. Besides general information on the interviewed person the questionnaires comprise the following fields:

- use preferences (0 = not useful, 1 = a bit useful, 2 = useful, 3 = very useful)
- abundance of species (0 = no, 1 = rare, 2 = medium, 3 = common)
- change of species (0 = unchanged, 1 = a bit increasing, 2 = very increasing, -1 = somehow declining, -2 = very declining)
- planting interest (0 = not useful, 1 = a bit useful, 2 = useful, 3 = very useful)

Structured detailed interviews

This type of interview contains questions concerning more detailed information on the use value of species. Besides the general information on the interviewed person we assess information on

- use and use value of species for different purposes (e.g. fire wood, consumption, medicine, construction, pasture)
- plant parts used
- used quantities
- harvesting practices
- local conservation practices
- species abundances and their development
- economic value (e.g. sale on markets)

The different types of interviews generate data with different information depth and content. The different data sets can be treated either individually or in combination for extracting relevant information on the value of species according to stakeholder specific interests on different spatial scales (e.g. most important species for planting interests in a specific study area, most important cash providing species for women in a specific study area, highly ranked species which are decreasing and for which people show planting interests in several study areas).

According to these types of interviews the entry mask of the database was constructed. It is organized in several parts (see screen shots below). The first part contains fields for general information on the interview event (interviewer, interviewed person, location, etc.), species-specific information (scientific name, local names, voucher specimens), the use of different plant parts, the use value and commercial value, the harvesting areas, harvesting periods and frequencies, and other species related information (local conservation strategies, planting interests, local perception of species abundances and development). Data from structured general interviews and structured detailed interviews can be integrated. Free text fields were inserted to allow for additional information of various kinds (e.g. calculated economic value of a species product). Secure long term archiving of such data can be provided by integration into the MetaCat system.

The main page of UseDa (Fig. 1) gives an overview on the interviews in the database. Interviews can be selected accor-

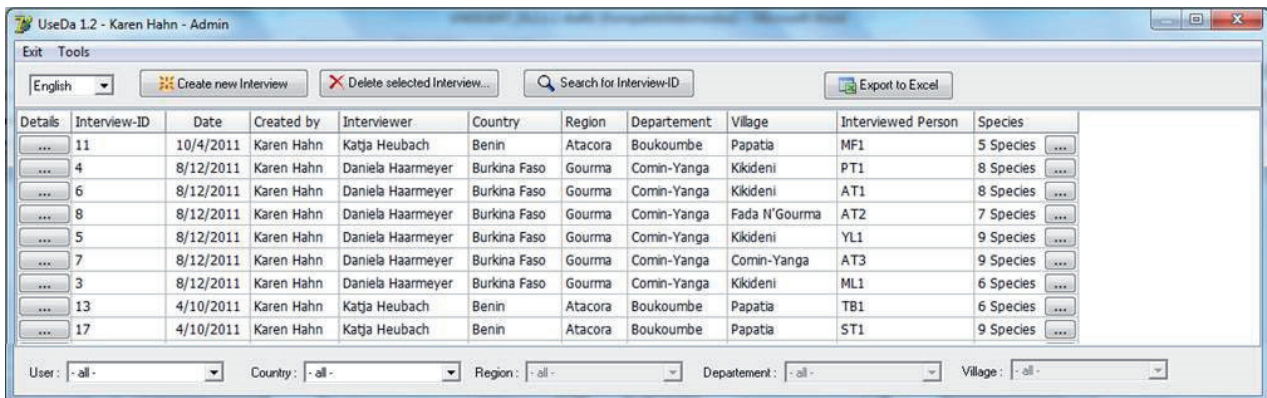


Fig. 1: Start page of the database with an overview on entered data/ La page de démarrage de la base de données avec un aperçu sur les données saisies.

ding to the user and the location (country, region, departement etc.).

In the 'General' entry mask of an interview (Fig. 2) information on the interviewer and detailed information on the locality of the interviewed person (in an anonymized form) can be inserted. Entries for the country, the region and the department can be chosen out of lists; the geographical coordinates can be inserted directly in decimal degrees or in degrees, minutes, seconds and will then be transformed automatically in decimal degrees. Information on the interviewed person contains fields for the coded name, the profession, age, sex, the ethnic group, religion and the family status.

The 'Species' entry mask (Fig.3) provides fields to choose the species in the taxon list (integrated from the Vegetati-

on database VegDa), the family name is then automatically completed and local names can be inserted in different local languages.

In the 'Use Value' entry mask (Fig. 4) main usages can be inserted, divided into sub usages, the use value, the used plant parts for the different use purposes, the harvesting areas and harvesting periods and frequencies as well as broad information about the commercial value.

The 'Species other' entry mask (Fig. 5) provides fields for information on existing conservation strategies and the perception about species frequency, the population development and the reasons and causes for this development. Furthermore data on planting interests can be inserted.

**Interview**

General | Species | Use Value | Species other | Free Entries

**General Information**

Created by : Karen Hahn

Date : Samstag , 12. Februar 2011

Interviewer : Daniela Haarmeyer

Interview-ID : 1

**Location**

Country : BF Burkina Faso

Region : Tapoa

Departement : Diapaga

Village : Kabougou

Latitude : 11.966388888889

Longitude : 2.0161111111111

calculate Coordinates

**Interviewed Person**

Name : LL1

Profession : farmer

Age : 35

Sex :  M  F

Ethnic Group : Gourmanché

Religion : Animist

Status :  Autochtonous  Migrant

Family status : Married

No. of Women : 1

No. of Children : 3

Person Notes :

OK Cancel

Fig. 2: Entry mask for general information of the interview / Masque de saisie pour des informations générales d'une enquête.

**Interview**

General | Species | Use Value | Species other | Free Entries

Species : Vitellaria paradoxa

Family : Sapotaceae

Herbarium specimen :

Local names :

Local name	Language
bu saanbu	Gourmanchéma

new Local Name Delete

< Previous Species 1 of 12 Next Species > new Species

OK Cancel

Fig. 3: Entry mask for information on the species/ Masque de saisie des informations sur les espèces.

**Interview**

General | Species | **Use Value** | Species other | Free Entries

Species : Vitellaria paradoxa

**Main Usage :**

- Alimentation
- Cultural Use
- Medicine human
- Medicine veterinary
- not used
- Pasture
- Services
- useful in general

**Sub Usages :**

- Beverages
- Food

**Plant Parts :**

- unknown
- Bark
- Flowers
- Fruits
- Leaves
- Roots
- Seeds
- Wood

**Harvesting Period :**

- all seasons
- dry season
- rainy season

**Harvesting Frequency :**

- no information
- daily
- 1 times per week
- 1 times per month
- 1 times per year

**Use Value :**

- very important
- important
- minor important
- no information

**Harvesting Area :**

- Fallows
- Fields
- Forest
- Savanna

**Commercial Value :**

- international market
- local market
- national market
- no value
- regional market

**Storage :**

- Yes
- No

< Previous Species    **1 of 12**    Next Species >

OK    Cancel

Fig. 4: Entry mask for use value information / Masque de saisie des informations sur la valeur d'usage.

**Interview**

General | Species | Use Value | **Species other** | Free Entries

Species : Vitellaria paradoxa

**Conservation strategies :**

- habitat protection
- no information
- planting
- protection in situ
- traditional taboo

**Species frequency :**

- abundant
- frequent
- rare
- absent
- no information

**Planting interest :**

- (0) not useful
- (1) a bit useful
- (2) useful
- (3) very useful
- (4) no information

**Population development :**

- (-1) very declining
- (-2) somehow declining
- (0) unchanged
- (1) a bit increasing
- (2) very increasing
- (3) no information

reasons / causes for development :

fields are increasing, fallows decreasing

< Previous Species    **1 of 12**    Next Species >

OK    Cancel

Fig. 5: Entry mask for other information on species / Masque de saisie pour d'autres informations sur les espèces.



The 'Free Entries' entry mask (Fig. 6) provides text fields for more descriptive information on the species use. The text fields are coded according to the category fields in the first column for easier extraction and export into Excel files.

For the export of data into Excel-files different options can be chosen (Fig. 7).

Export of

- all data in one file
- data from the general interview type
- data on the use of different plant species

In addition each user can create its own queries in MS Access according to specific interests.

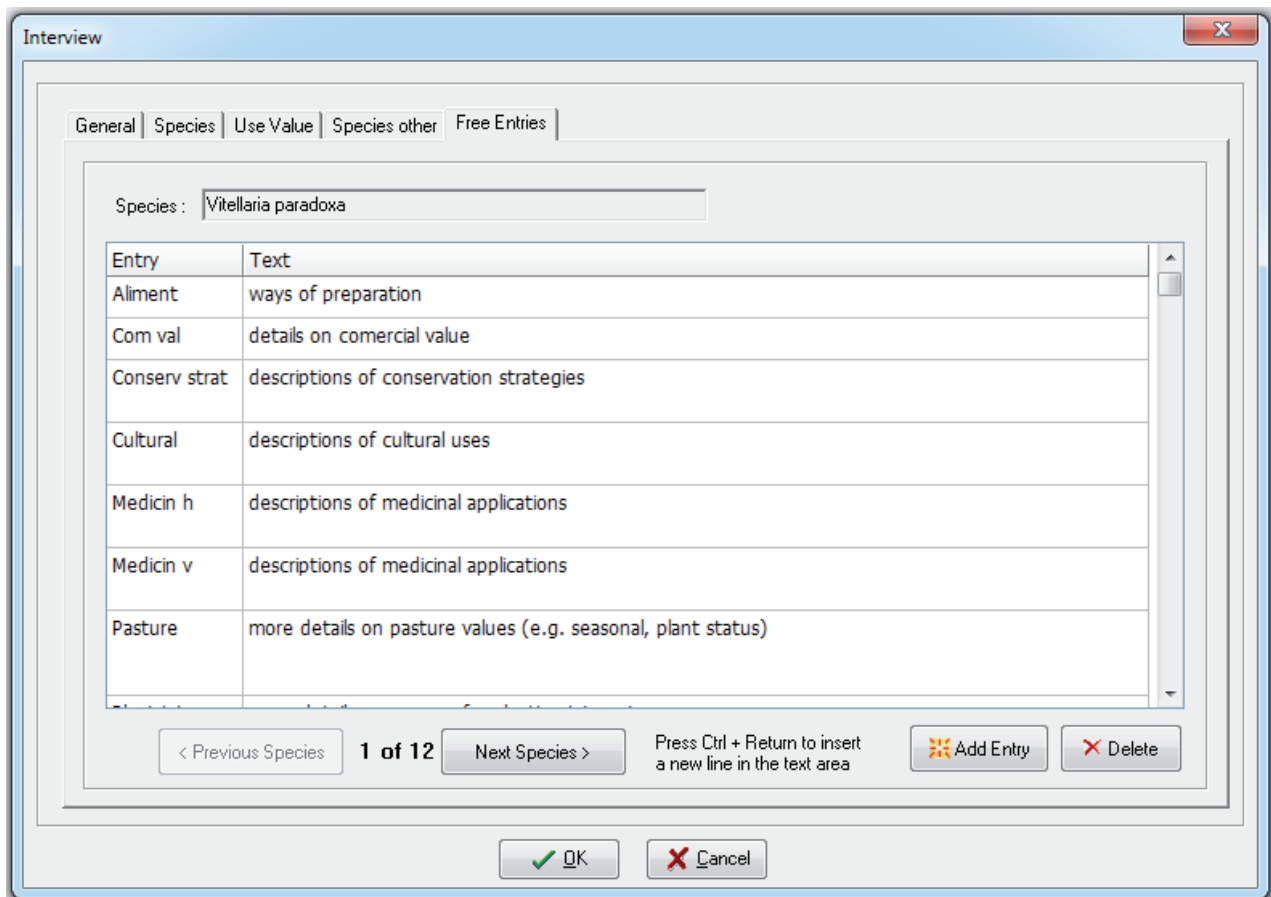


Fig. 6: Entry mask for free entries (text fields) for different categories / Masque de saisie pour entrées libre (texte) pour les différentes catégories.

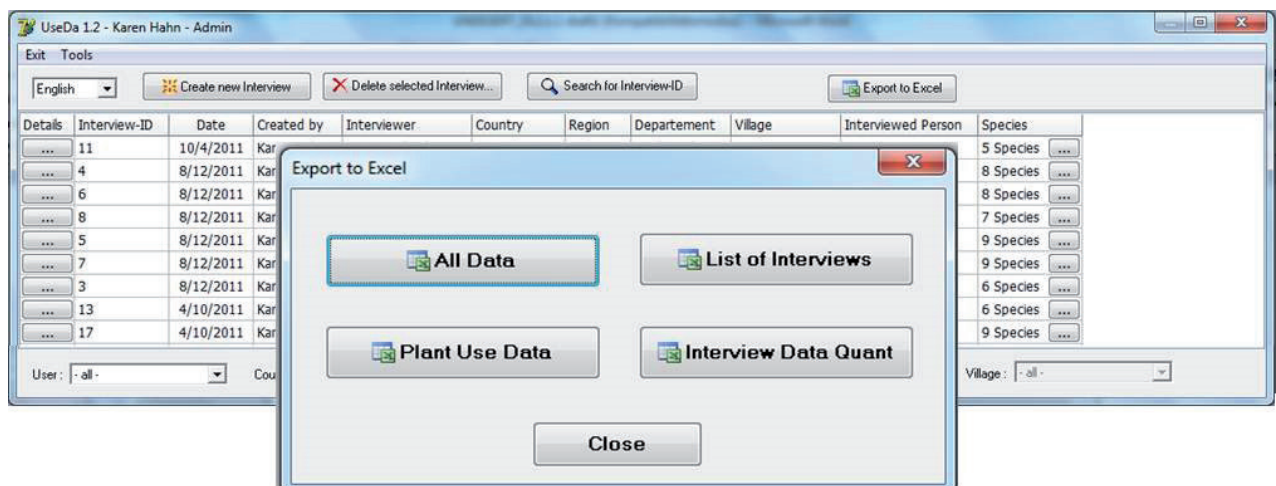


Fig. 7: Export function for data extraction into Excel files / Fonction d'exportation pour l'extraction de données dans des fichiers Excel.

#### 4 THE OUTPUT FOR PRACTICAL APPLICATION

UseDa output data provide information on a wide scale ranging from broad overviews down to very detailed knowledge according to different stakeholder interests for practical application. It is for example possible to obtain quantitative data on species which have a high use value i) in all investigated areas, ii) per specific area, iii) for different ethnic groups or iv) for certain user groups. We can also provide information about the user specific interests and differences between users that is preferences of men, women, and younger generation, as it is highly important to consider specific interests of distinct groups in the planning of measures for sustainable use of the species. Moreover species which are of specific interest for planting and income generation (market values) can be identified according to different areas, users etc.. It will also possible to compare species use and species status for species that are declining in numbers in order to identify areas with sustainable practices, which can be promoted as 'best practices' to other areas with unsustainable practices. Thus with this database we provide detailed quantitative information on highly important species which is essential for further measures of sustainable use of the species for long term income generation. This information will be combined with ecological knowledge such as distribution and habitat preferences of the species, which are compiled in the West African vegetation database (SCHMIDT et al 2012).

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge funding by the UNDESERT project "Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services" (EU FP7: 243906), which is funded by the European Commission, Directorate General for Research and Innovation, Environment Programme. Additionally, we acknowledge funding by the Biodiversity and Climate Research Center (BiK-F), part of the LOEWE program of the state of Hesse.

#### REFERENCES

AFRICAN PLANTS DATABASE (version 3.4.0), (2012). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria, Retrieved 2012 from <<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>>.

ARBONNIER M (2009): Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest.

BURKILL HM (1995): The useful plants of West tropical Africa, Vols. 1-3, pp. 976; 648; 868.

CAPISTRANO D, SAMPER C, LEE MJ, RAUDSEPP-HEARNE C (2005) (eds.): Ecosystems and human well-being: multiscale assessments: findings of the Sub-global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. The Millennium Ecosystem Assessment Series No. 4. Washington, D.C., USA, Island Press 388p. ISBN: 1-55963-186-4.

CUNNINGHAM AB (2001): Applied Ethnobotany: People, Wild Plant Use and Conservation. WWF. Earthscan Publications Ltd, London.

DE CALUWÉ E, DE SMEDT S, ASSOGBADJO A, SAMSON E (2009): Ethnic differences in use value and use patterns of baobab (*Adansonia digitata* L.) in northern Benin. African J Ecol 47: 433–440.

DRESSLER S, SCHMIDT M, ZIZKA G (2014): Introducing African Plants – A Photo Guide – An interactive photo database and rapid identification tool for continental Africa. Taxon 63: 1159–1164.

HEUBACH K, WITTIG R, NUPPENAU EA, HAHN K (2011): The economic importance of non-timber forest products (NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities: a case study from northern Benin. Ecol Econ 70: 1991–2001.

HEUBES J, HEUBACH K, SCHMIDT M, WITTIG R, ZIZKA G, NUPPENAU EA, HAHN K (2012): Impact of Future Climate and Land use Change on Non-timber Forest Product Provision in Benin, West Africa: Linking Niche-based Modelling with Ecosystem Service Values. Econ Bot 66: 383–397.

KEPE T (2008): Beyond the numbers: Understanding the value of vegetation to rural livelihoods in Africa. Geoforum 39: 958–968.

LYKKE AM, KRISTENSEN MK, GANABA S (2004): Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. Biodiversity Conservation 13: 1961–1990.

PARÉ S, SAVADOGO P, TIGABU M, OUADBA JM, ODÉN PC (2010): Consumptive values and local perception of dry forest decline in Burkina Faso, West Africa. Environment Development Sustainability 12:277–295.

PROTA (2010): Plant Resources of Tropical Africa. Promising African plants. A selection from the PROTA programme. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands / CTA, Wageningen, Netherlands. 169 pp.

SCHMIDT M, JANSSEN T, DRESSLER S, HAHN K, HIEN M, KONATÉ S, LYKKE AM, MAHAMANE A, SAMBOU B, SINSIN B, THIOMBIANO A, WITTIG R & G ZIZKA (2012): The West African Vegetation Database. In: DENGLE J, OLDELAND J, JANSEN F, CHYTRÝ M, EWALD J, FINCKH M, GLÖCKLER F, LOPEZ-GONZALEZ G, PEET RK, SCHAMINÉE JHJ (Eds.): Vegetation databases for the 21st century. Biodiversity Ecol 4: 105–110. DOI: 10.7809/b-e.00065.

SCHUMANN K, WITTIG R, THIOMBIANO A, BECKER U, HAHN K (2012): Uses, management, and population status of the baobab in eastern Burkina Faso. Agroforest Syst 85: 263–278.

SIEGLSTETTER R, HAHN K, WITTIG R (2011): The use of woody species in northern Benin.- Flora Veg Sudano-Sambesica 14: 19-23.

SOP TK, OLDELAND J, BOGNOUNOU O, SCHMIEDEL U, THIOMBIANO A (2012): Ethnobotanical knowledge and valuation of woody plants species: a comparative analysis of three ethnic groups from the sub-Sahel of Burkina Faso. Environment Development Sustainability DOI 10.1007/s10668-012-9345-9.

THIOMBIANO A, SCHMIDT M, DRESSLER S, OUÉDRAOGO A, HAHN K, ZIZKA G (2012): Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. Boissiera 65. Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève. 391 S.

**E-mail adress: karen.hahn@bio-uni.frankfurt.de**

## Hommage au / Obituary in memory of Prof. Dr. Laurent Aké-Assi (1931-2014)

In the first month of the year 2014, the Ivorian botanist, member of the editorial board of this journal, Laurent Aké Assi, often called “the genius of the Ivorian forest”, left the stage.

The curriculum vitae of Laurent Aké Assi reads like a fairy tale: Born at Agboville, the 10th of August 1931, Laurent Aké Assi attended the regional school of Agboville for four years (1941-1943). Without any further school education, he studied botany and agronomy, and finally held the Chair of Botany at the University of Abidjan. He spent his life studying, inventoring, promoting and protecting the flora of Ivory Coast and of the entire West-Africa.

The first step of his scientific career was employment as preparator at the *Laboratoire de Botanique de l'Office de la Recherche Scientifique Coloniale* (O.R.S.C.), Adiopodoumé, Abidjan (1946-1947). Afterwards he became moniteur-adjoint (1947-1956) at the same institution, subsequently assistant trainee at the *Laboratoire de Phanérogamie du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris* and at the *Laboratoire de Biologie Végétale de la Sorbonne*, Paris-Cuvier and simultaneously assistant at the *Laboratoire de Botanique du Centre-O.R.S.T.O.M.* d'Adiopodoumé, Abidjan (1956-1961). After employments at various other institutes, he gained the title of a *Docteur d'Etat es-Sciences Naturelles* of the University of Abidjan (1984). In the year 1985, he obtained the status of *Maître de Conférences* at the Faculty of Sciences of the University of Abidjan, Département de Botany; four years later he attained the chair of Botany at the Faculty of Science, Département de Botany, of the University of Abidjan.

Au début de cette année, le botaniste ivoirien, membre du Comité de Lecture de ce journal, Laurent Aké Assi, aussi connu sous le nom "le génie de la forêt ivoirienne", a tiré sa révérence à l'âge de 83 ans.

Le curriculum vitae de Laurent Aké-Assi ressemble à une fable: Né à Agboville, le 10 Août 1931, Laurent Aké Assi a visité l'école régionale d'Agboville pour quatre ans (1941-1943). Alors qu'il a jamais suivi formellement le cycle secondaire de l'enseignement, il est devenu titulaire de la Chaire de Botanique à l'Université d'Abidjan. Il a passé sa vie à étudier, inventorier, promouvoir et défendre la flore de la Côte d'Ivoire et aussi de l'Afrique de l'Ouest toute entière.

La première station de sa carrière scientifique était un poste de préparateur au Laboratoire de Botanique de l'Office de la Recherche Scientifique Coloniale (O.R.S.C.), Adiopodoumé à Abidjan de 1946-1947. Puis, il fut Moniteur-Adjoint (1947-1956) à la même organisation, ensuite assistant-stagiaire au Laboratoire de Phanérogamie du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris et au Laboratoire de Biologie Végétale de la Sorbonne, Paris-Cuvier et alternativement assistant au Laboratoire de Botanique du Centre-O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Abidjan (1956-1961). Après différentes autres stations, il a reçu le titre de Docteur d'Etat es-Sciences Naturelles de l'Université d'Abidjan (1984). En 1985, il a été fait Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Abidjan, Département de Botanique. Quatre années après il est arrivé au grade de Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université d'Abidjan, Département de Botanique.



Abb.: Laurent Aké Assi (second right) was member (often head) of many international examination boards, e.g. at the University of Ouagadougou, Burkina Faso (examination of Adjima Thiombiano, meanwhile professor of botany at this University)

Aké Assi dedicated his activities to two important programs, initiated by the Ministry of Scientific Research for the National Centre of the Flora, which he directed from 1973 until 1998:

- "permanent inventory of the flora of Ivory Coast",
- "natural substances for pharmaceutical, cosmetic and medical use".

The investigations conducted in the frame of these programs lead to the publication of the "*Flore Générale de la Côte d'Ivoire*" (Aké Assi 1982, 2001) and to a general assessment of the medicinal plants of Ivory Coast (Aké Assi et al 1991). They also represented the base for founding a botanical garden and a herbarium at the *Centre National Floristique* of the University of Cocody by Aké Assi. Today, concerning specimen and species, this herbarium is the richest one in West Africa.

Scientific excursions lead Aké Assi to almost all West African and many other African countries, but also to Europe and South-America. He also took part in many international congresses, among others in Germany, The Netherlands, Italy, Switzerland and in the USA. With teaching and examinations he was engaged in Benin, Burkina Faso, Cameroon, Gaboun, Guinea, Madagascar, Niger and Togo.

His list of honors is very long. Among others, it contains the nomination as:

- *Commandeur du Mérite de l'Ordre de l'Education Nationale* (1985),
- *Doctor Honoris Causa de l'Université de Tuscia, Viterbo* (Italy) (1990),
- *Commandeur de l'Ordre de l'Arche d'Or des Pays-Bas* (1995),
- *Commandeur de l'Ordre National de la Côte d'Ivoire* (2002),
- *Chevalier de l'Ordre international des Palmes académiques du C.A.M.E.S.* (2005),
- *Chevalier de l'Ordre National du Burkina Faso* (2009),
- *Grand Officier de l'Ordre National de la Côte d'Ivoire* (2010).

Additionally, many species or subspecies of plants were named after him, e.g. the palm *Borassus akeassii* (BAYTON et al. 2006) from which is extracted the basic liquid for the production of a traditional palm wine in Burkina Faso.

In spite of all these honors and of being internationally renowned, Aké Assi remained amicable, modest and helpful. With his death, the international botany community has lost an excellent scientist, and the world misses an outstanding personality.

AKÉ ASSI L (1984): Flore de la Côte d'Ivoire: Étude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse d'état de l'Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 1205 p.

AKÉ ASSI L (2001): Flore de la Côte-d'Ivoire: Catalogue systématique, biogéographie et écologie. Boissiera 57, 396 p.

AKÉ ASSI L, GUINKO S, AYA LAZARE A (1991): Plants used in traditional medicine in West Africa / Plantes utilisées dans la médecine traditionnelle en Afrique de l'Ouest. La Roche, Basel, 151 p.

BAYTON RP, A. OUÉDRAOGO A, GUINKO S (2006): The genus *Borassus* (Arecaceae) in West Africa, with a description of a new species from Burkina Faso. Bot J Linnean Soc 150 : 419-427

Aké Assi a consacré ses activités de recherche à deux programmes importants, dénis par le Ministère de la Recherche Scientifique, pour le Centre National de Floristique qu'il a dirigé de 1973 à 1998. Il s'agit des programmes:

- "Inventaire permanent de la flore de la Côte d'Ivoire",
- "Substances naturelles à usages pharmaceutiques et cosmétiques et santé".

Les investigations relatives aux deux programmes visent à la rédaction, d'une part, de la "*Flore Générale de la Côte d'Ivoire*" (Aké Assi 1982, 2001) et d'autre part, au recensement général des plantes médicinales du territoire ivoirien (Aké Assi et al 1991). Ils constituent aussi la base de la fondation d'un jardin botanique et pour la création d'un herbier au « Centre National Floristique » de l'Université de Cocody par Aké Assi. Cet herbier est aujourd'hui le plus riche de tous les herbiers d'Afrique de l'Ouest.

Aké Assi a exécuté des excursions scientifiques dans presque tous le pays de l'Afrique de l'Ouest et beaucoup des autres pays africain, mais aussi en Europe et en Amérique du Sud. En plus il a participé à de nombreux congrès, entre autres en Allemagne, aux Pays Bas, en Italie, en Suisse et aux États Unis d'Amérique. Au cadre de l'enseignement il était par ailleurs engagé au Benin, Burkina Faso, Cameroun, Gabon, Guinée, Madagascar, Niger et Togo.

La liste de ses honneurs est très longue et comprend, entre autres, les nominations comme:

- *Commandeur du Mérite de l'Ordre de l'Education Nationale* (1985),
- *Docteur Honoris Causa de l'Université de Tuscia, Viterbo* (Italie) (1990),
- *Commandeur de l'Ordre de l'Arche d'Or des Pays-Bas* (1995),
- *Commandeur de l'Ordre National de la Côte d'Ivoire* (2002),
- *Chevalier de l'Ordre international des Palmes académiques du C.A.M.E.S.* (2005),
- *Chevalier de l'Ordre National du Burkina Faso* (2009),
- *Grand Officier de l'Ordre National de la Côte d'Ivoire* (2010).

En outre, plusieurs espèces ou sous-espèces de plantes portent son nom, parmi lesquelles un palmier *Borassus akeassii* (BAYTON et al. 2006) dont on extrait traditionnellement au Burkina Faso un vin de rônier (vin de palme).

Malgré tous ses honneurs et sa renommée internationale, Aké Assi est resté un homme aimable, modeste et serviable. Par son décès, la Botanique international a perdu un scientifique excellent et le monde est diminué d'une personnalité extraordinaire.

RÜDIGER WITTIG

# Instructions for Authors

## Publication Series «Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica»

- ▶ The publication series «Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica» publishes primarily original scientific articles as well as summaries of larger research areas (if such summaries have been lacking to date). All articles are reviewed by two members of the Editorial Board; they are then returned to the authors with recommended changes or a rejection note.
- ▶ English is the preferred language for articles submitted to “Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica”. However, articles written in French are also accepted. Articles written in French must be accompanied by a detailed English summary, as well by English titles of figures and tables – and vice versa. A German version of the summary as well as of titles of figures and tables is desirable, but not imperative.
- ▶ The article must be written on a PC using the program Word for Windows. The type size must be 12 pt, linespacing 1 1/2, margins of 2,5 cm on each side; pages have to be numbered.
- ▶ Do **n o t** use any font formatting such as bold, italics, small capitals, etc.; this type of formatting is lost during text formatting. Please indicate any text to be set in italics (e.g. names of species) or small capitals (names of authors) (Cf. instruction below).
- ▶ We particularly ask you **n o t** to enter any names of authors in SMAL CAPITALS since we set authors’ names in SMALL CAPITALS. Any names typed in normal capitals have to be entered again manually.
- ▶ Do **n o t** hyphenate your text, unless the hyphen ist part of a word. Any hyphenation entered by authors is lost during reformatting.
- ▶ Use a **protected space** instead of a normal space to separate numbers, letters or symbols which belong together, e.g. § 1 ([Ctrl]+[Shift]+[spacebar]).
- ▶ Avoid footnotes!
- ▶ Figures and tables must be provided in an electronic version, with a format corresponding to the type area. Ideally, the format should match the type area (16.8 cm) or the column width (8.1 cm). (Figures with a width of 9.5 to 12 cm are also acceptable). Please do **n o t** insert figures or tables into the text, but deliver each of them in a separate document: Tables in Excel-format (\*.xls), figures only made with graphic programs \*.tif, \*.pcx, \*.eps or \*.bmp. Provide us with an excellent printed version of each table and figure, containing its title.
- ▶ Submit all captions for figures, titles of tables, and information within figures and tables in French, English and (if possible) German.
- ▶ Use the last volume of the series as a model when preparing the Outline of your article!
- ▶ Also follow the last issue when preparing the **Bibliography** (Do **n o t** enter authors’ names in capitals; do **n o t** format text with small capitals)!
- ▶ Mail your article to :

Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica (Redaktion)

c/o Prof. Dr. R. Wittig  
Institut für Ökologie, Evolution & Diversität  
Ökologie und Geobotanik  
Siesmayerstraße 70 | Haus B  
60323 Frankfurt/M.  
Germany  
eMail: r.wittig@bio.uni-frankfurt.de

# Conseils aux auteurs

## La collection « Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica »

La collection « Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica » publie en premier lieu des articles scientifiques originaux ainsi que des articles de synthèse d'un plus grand champ de recherche (à condition qu'une telle synthèse fait encore défaut).

- ▶ Tous les articles seront revus par deux membres du Comité de lecture qui se réservent le droit de solliciter des modifications jugées nécessaires, voire de refuser un article.
- ▶ Les textes sont à soumettre de préférence en anglais, des textes français pouvant toutefois être acceptés. Les textes français doivent être accompagnés d'un résumé détaillé en anglais, les textes français respectivement d'un résumé anglais. Il serait en plus souhaitable de joindre un résumé allemande.
- ▶ Veuillez saisir vos textes sur un PC, sous format Word for Windows. A titre de repère, une page imprimée (dans le logiciel InDesign) correspond à environ 4.500 signes, veuillez en tenir compte quand vous planifier la longueur de votre texte.
- ▶ Lors de la saisie, ne **jamais** utiliser les fonctions telles que caractères gras, italiques, PETITES CAPITALES, etc., car tout cela se perd dans le formatage. Veuillez marquer en vert tous les passages à mettre en italiques (noms d'espèces scientifiques) et en jaune ceux à mettre en PETITES CAPITALES (les noms d'auteurs)
- ▶ Ne **jamais** utiliser la **division automatique en syllabes**, car celles-ci ne peuvent pas être maintenues lors du re-formatage, et ne pas non plus utiliser des **traits d'union** pour marquer des divisions manuellement (si vous devez diviser, faites-le par un **trait d'union limité** [Strg]+[Shift]+[-]).
- ▶ Pour des signes, qui ne doivent pas être séparés, comme p.ex. § 1, utilisez l'**espace protégé** ([Strg]+[Shift]+[barre d'espace]).
- ▶ Evitez des notes de bas de page.
- ▶ Figures et tableaux seront conçus pour pouvoir être cliqués directement par l'imprimeur, respectant le format de « Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica », de préférence en largeur de la surface d'impression (16,8 cm) ou d'une colonne (8,1 cm). Toutefois, une largeur entre 9,5 et 12 est également possible. Veuillez les fournir sous forme d'un fichier numérique, de manière séparée du texte, c'est-à-dire les tableaux comme fichier excel (\*.xls) et les illustrations dans un des formats suivants: \*.tif, \*.pcx, \*.eps, \*.bmp; de cette manière, ils pourront, si besoin est être ouverts et retravaillés par nous au niveau de la mise en forme. Veuillez accompagner le fichier numérique d'une copie papier de bonne qualité (où figure obligatoirement le nom de fichier).
- ▶ Rédigez les titres des figures et tableaux ainsi que toutes les inscriptions, annotations et légendes à l'intérieur des illustrations en français/anglais, et, si possible, aussi en allemand.
- ▶ En ce qui concerne l'organisation et les parties de votre article, veuillez vous respecté la dernier volume de la serie.
- ▶ Les références bibliographiques seront présentées conformément à la dernier volume (ne pas utiliser des majuscules ni PETITES CAPITALES pour les noms d'auteur !).
- ▶ Envoyez votre texte par e-mail la rédaction:

Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica (Redaktion)

c/o Prof. Dr. R. Wittig  
Institut für Ökologie, Evolution & Diversität  
Ökologie und Geobotanik  
Siesmayerstraße 70 | Haus B  
60323 Frankfurt/M., Allemagne  
eMail: r.wittig@bio.uni-frankfurt.de