

Flora_{et} Vegetatio Sudano-Sambesica



edited by
éditées par
herausgegeben von

Rüdiger Wittig¹
Sita Guinko²
Brice Sinsin³
Adjima Thiombiano²

¹Frankfurt

²Ouagadougou

³Cotonou

Volume 22 • 2019

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

Volume:	22 • 2019
Publisher:	Institute of Ecology, Evolution & Diversity Chair of Ecology and Geobotany Max-von-Laue-Str. 13 D - 60438 Frankfurt am Main
Copyright:	Institute of Ecology, Evolution & Diversity Chair of Ecology and Geobotany Max-von-Laue-Str. 13 D - 60438 Frankfurt am Main
Online-Version:	http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/52006 urn:nbn:de:hebis:30:3-520067
ISSN:	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

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
adjima_thiombiano@univ-ouaga.bf

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

eMail:
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 / Germany

Dr. Anne Mette Lykke
Aarhus University
Department of Bioscience
Vejlsovej 25
8660 Silkeborg / Denmark

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

Dr. Marco Schmidt
Senckenberg Biodiversität und Klima For-
schungszentrum (SBiK-F)
Senckenberganlage 25
D - 60325 Frankfurt am Main / Germany

Flora^{et} Vegetatio Sudano-Sambesica

Volume 22 • 2019

Table of contents | Table des matières | Inhaltsverzeichnis

Table of contents | Table des matières | Inhaltsverzeichnis

2

Impact des activités anthropiques sur la diversité ligneuse et la structure de <i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. C.F. dans le Chantier d'Aménagement Forestier de Cassou (Burkina Faso)	François Wenemi Kagambèga Nouhoun Zampaligre, Didier Zida, Louis Sawadogo	3-15
Effect of anthropogenic activities on woody species diversity and structure of <i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. C. F. in the forest management domain of Cassou, Burkina Faso		

Local perceptions and traditional methods for <i>Carapa procera</i> oil production in Mali	Urbain Dembélé, Aïssata A. Diallo, Anne Mette Lykke, Yénizié Koné, Bino Témé, Amadou Malé Kouyaté	16-22
Perceptions locales et méthodes traditionnelles de production de l'huile de <i>Carapa procera</i> au Mali		

Filière des produits à usage médicinal issus de <i>Cordyla pinnata</i> , <i>Detarium microcarpum</i> et <i>Detarium senegalense</i> au Sénégal	Sara Danièle Dieng, Fatimata Niang-Diop, Mamadou Diop, Assane Goudiaby, Bienvenu Sambou, Anne Mette Lykke	23-35
Value chain of products for medicinal use derived from <i>Cordyla pinnata</i> , <i>Detarium microcarpum</i> and <i>Detarium senegalense</i> in Senegal		

Intraspecific habitat adaptation: How the germinability of herbaceous plant seeds change due to environmental conditions in West African savannas	Susanna E. Schmidt-Groh, Markus Bernhardt-Römermann, Adjima Thiombiano, Karen Hahn	36-42
Adaptation intraspécifique à l'habitat: Comment la capacité de germination des graines des plantes herbacées change-t-elle en fonction des conditions environnementales dans les savanes Ouest Africaines		
Intraspezifische Habitatangepassung: Wie sich die Keimfähigkeit von Samen krautiger Pflanzen durch Umweltbedingungen in der westafrikanischen Savanne verändert		

Instructions for Authors / Conseils aux auteurs

43-44

Impact des activités anthropiques sur la diversité ligneuse et la structure de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. C.F. dans le Chantier d'Aménagement Forestier de Cassou (Burkina Faso)

Received: 2019-09-10; revised: 2019-11-20; accepted: 2019-11-22

François Wenemi Kagambèga^{1,*}, Nouhoun Zampaligre², Didier Zida¹, et Louis Sawadogo¹

¹ Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'environnement et de Recherches Agricoles, Département Environnement et Forêts, 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso

² Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'environnement et de Recherches Agricoles, Station de Farako-ba, 01 BP 910 Bobo Dioulasso 01, Burkina Faso

* Corresponding author. E-mail address: wenemifrancois@yahoo.fr

Résumé: Au Burkina Faso, les unités d'aménagements forestiers (UAFs) sont confrontées à une forte pression anthropique qui cause la dégradation des ressources ligneuses dont *Vitellaria paradoxa* est l'une des espèces surexploitées. Afin de contribuer à la gestion durable de ces UAFs, il s'avère nécessaire d'analyser l'impact des pressions anthropiques sur la phytodiversité et la dynamique de *Vitellaria paradoxa*. Ainsi, des facteurs tels que l'agriculture, la coupe illégale de bois, le pâturage et les feux non autorisés ont été évalués dans l'UAF 2, l'UAF B et l'UAF C, où des inventaires forestiers ont été conduits. Les résultats montrent que le pâturage et les feux non autorisés ont été les facteurs les plus fréquents dans les UAFs, surtout dans l'UAF C (> 90%) alors que les autres facteurs ont été plus abondants dans l'UAF 2. La phytodiversité mesurée est presque similaire dans les trois UAFs avec toutefois des indices de diversité plus élevés dans l'UAF 2. La structure de *Vitellaria paradoxa* montre une prédominance d'individus jeunes dans les UAFs et des densités plus élevées dans l'UAF C tandis que sa régénération est plus importante dans l'UAF 2. L'état sanitaire de l'espèce est globalement satisfaisant bien que la principale menace soit l'infestation des Loranthaceae qui a été plus importante dans l'UAF 2 (7%). L'exploitation durable des UAFs nécessite la mise en œuvre d'un programme de conservation avec une forte implication des populations riveraines.

Mots clés: Aménagement forestier, Burkina Faso, diversité floristique, dynamique structurale, *Vitellaria paradoxa*.

EFFECT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON WOODY SPECIES DIVERSITY AND STRUCTURE OF *VITELLARIA PARADOXA* GAERTN. C. F. IN THE FOREST MANAGEMENT DOMAIN OF CASSOU, BURKINA FASO

Summary: In Burkina Faso, forest management units (FMUs) are facing to the intensification of anthropogenic pressures which causes the degradation of the woody resources of which *Vitellaria paradoxa* is one of the overexploited. To support their sustainable management, the impacts of human pressure on the diversity and the structural dynamic of *Vitellaria paradoxa* need to be analysed. Therefore, anthropogenic factors such as practice of agriculture, logging, grazing and fire were assessed at Cassou in FMU 2, FMU B and FMU C, in which forest inventories were conducted. The results show that grazing and fires were the most frequent factors in FMUs, especially in FMU C (> 90%) while the other factors were more observed in FMU 2. Phytodiversity is almost similar in the whole FMUs, even if FMU 2 presents the higher diversity indices. Structural analysis of *Vitellaria paradoxa* showed a predominance of young individuals in the FMUs and a higher tree density in the FMU C whereas tree regeneration was greater in the FMU 2. The health status of the species is overall satisfactory although the main threat is the Loranthaceae infestation which is more important in FMU 2 (7%). The sustainable exploitation of FMUs requires an implementation of a conservation program with a strong involvement of local populations.

Key words: Forest management, Burkina Faso, floristic diversity, structural dynamics, *Vitellaria paradoxa*.

1 INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers et savanicoles jouent un rôle fondamental dans la satisfaction des besoins de base des populations du continent africain. En Afrique subsaharienne, près de 600 millions de personnes dépendent de ces écosystèmes pour leur nourriture et / ou leurs revenus (KOFFI & al. 2016). Cependant, les multiples usages concurrentiels des ressources de ces formations végétales, sont également sources d'externalités négatives conduisant à leur dégradation ou à la déforestation. Effet, depuis plusieurs décennies, les écosystèmes forestiers subissent une forte dégradation, entraînant leurs dysfonctionnements et des pertes de biodiversité (FAO 2003). Au Burkina Faso, les facteurs majeurs de dégradation des ressources forestières sont les feux de brousse, la coupe abusive du bois, le surpâturage, la mortalité naturelle des espèces due aux aléas climatiques et les défrichements agricoles anarchiques (MEDD 2011 ; NACOULMA & al. 2011). Les recherches effectuées et les données disponibles révèlent une amplification de la déforestation (FAO 2015) qui se manifeste entre autres à travers la dégradation de la couverture végétale, la dégradation des sols, la dégradation des ressources en eau et des habitats de la faune (ETONGO & al. 2018).

Dans les parties nord et centrale du pays, les formations naturelles sont dans un état de dégradation avancé entraînant une forte migration du Nord vers le Sud et l'Est du pays (SAWADOGO 2007). Une pression de plus en plus exacerbée s'exerce alors sur les ressources naturelles, autres fois abondantes, de ces zones d'accueil notamment au Sud du pays. En effet, la croissance démographique contraint les paysans à rechercher de nouvelles terres agricoles au détriment des milieux naturels et entraîne également une consommation et une perturbation plus importante des ressources végétales (BELEM & al. 2018). Les Chantier d'Aménagement Forestiers (CAF) installées au Sud du pays depuis les années 1980, pour assurer une gestion durable des ressources naturelles (COULIBALY-LINGANI & al. 2011), n'échappent pas, eux aussi à toutes ces menaces. Bien que le modèle des CAF fonctionne sur la base d'un plan d'aménagement et de gestion approuvée, des pressions exceptionnelles et très intenses sont exercées sur leurs ressources forestières (BOUSSIM & al. 2009). Des études antérieures dans ces CAF, ont porté sur les défis de la gestion décentralisée des forêts, les facteurs influant sur l'accès aux produits forestiers, la gestion participative ou conjointe des forêts aménagées (BOUDA et al. 2011; COULIBALY-LINGANI & al. 2011). Aussi, des études récentes, suscite des inquiétudes quant à la durabilité de ces CAF au regard des besoins grandissants des populations humaines (AREVALO 2016) et de la forte pression anthropique exercée sur un certain nombre d'espèces surexploitées (TANYI & al. 2018). En effet, ces fortes pressions peuvent conduire à une modification significative de la structure de la végétation avec comme conséquence la disparition ou la régression de certaines espèces ligneuses utiles pour les populations (LESSMEISTER & al. 2015 ; SANDJONG & al. 2018). Cependant, des données concernant les caractéristiques structurales et la dynamique des espèces végétales en général et des espèces surexploitées en particulier, ne sont pas suffisamment documentées. L'une des espèces ligneuses les plus importantes au Burkina Faso d'un point de vue socio-économique est *Vitellaria paradoxa* (RABIOU Y al. 2016)

dont les utilisations sont multiples et diverses (LESSMEISTER & al. 2015).

La compréhension de la dynamique de cette espèce très exploitée dans les chantiers d'aménagement forestiers (CAF) est primordiale pour sa conservation durable. Il est donc indispensable d'analyser l'état de la diversité floristique des ligneux et la structure de cette espèce dans les Unités d'Aménagement Forestiers (UAFs) du CAF pour mieux appréhender le niveau de menace et proposer des stratégies de gestion durable. L'objectif général de la présente étude est de décrire la diversité de la flore ligneuse et d'analyser les attributs structuraux des populations de *Vitellaria paradoxa* dans trois UAFs du CAF de Cassou, soumis à différents degrés de perturbations anthropiques. Les objectifs spécifiques sont : (i) d'évaluer l'incidence et l'ampleur des facteurs anthropiques courants (activités agricoles, coupes illégales de bois, feux non autorisés et pâturage) dans les UAFs ciblées ; (ii) d'analyser l'impact de ces facteurs anthropique sur les caractéristiques floristiques de la végétation ligneuse dans ces UAFs; (iii) d'établir la distribution structurale des populations de *Vitellaria paradoxa* et de caractériser leur tendance évolutive. L'étude se fonde sur les hypothèses suivantes : (H1) La végétation des UAFs proches de l'unité de gestion basée à Cassou, est moins perturbée que celle des UAFs éloignées ; (H2) la structure démographique des peuplements de *Vitellaria paradoxa* au sein des UAFs est fonction d'un gradient d'anthropisation avec une dynamique structurale stable dans les UAFs proches de l'unité de gestion. Les résultats obtenus permettront de disposer d'indicateurs nécessaires à l'élaboration de stratégies de gestion durable de ces îlots forestiers en vue d'optimiser la contribution de ces ressources forestières à l'amélioration des conditions socioéconomiques des populations.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans le Chantier d'Aménagement Forestier (CAF) de Cassou, situé dans la province du Ziro, à 35 km de Sapouy son chef-lieu (Fig. 1). Localisé dans le domaine phytogéographique Sud-soudanien entre les latitudes 12°24' et 12° Nord et les longitudes 2°39' et 2° Ouest), le CAF de Cassou est sous l'influence d'un climat soudanien caractérisé par une longue saison sèche et une saison pluvieuse qui dure généralement moins de 5 mois (de mai à septembre / octobre). Les précipitations annuelles peuvent atteindre ou même dépasser 800 mm suivant les années. Avec une température moyenne de 31,5 °C, le mois d'Avril est le plus chaud de l'année pendant que Décembre est le mois le plus froid avec une température moyenne de 25,2 °C. La zone appartient au vaste complexe du plateau mosi mais présente un relief peu accidenté se caractérisant par une vaste pénéplaine. Les sols sont de types argileux-sableux, limoneux ou gravillonnaire et sont représentés par les Cambisols, les Lixisols et les Luvisols.

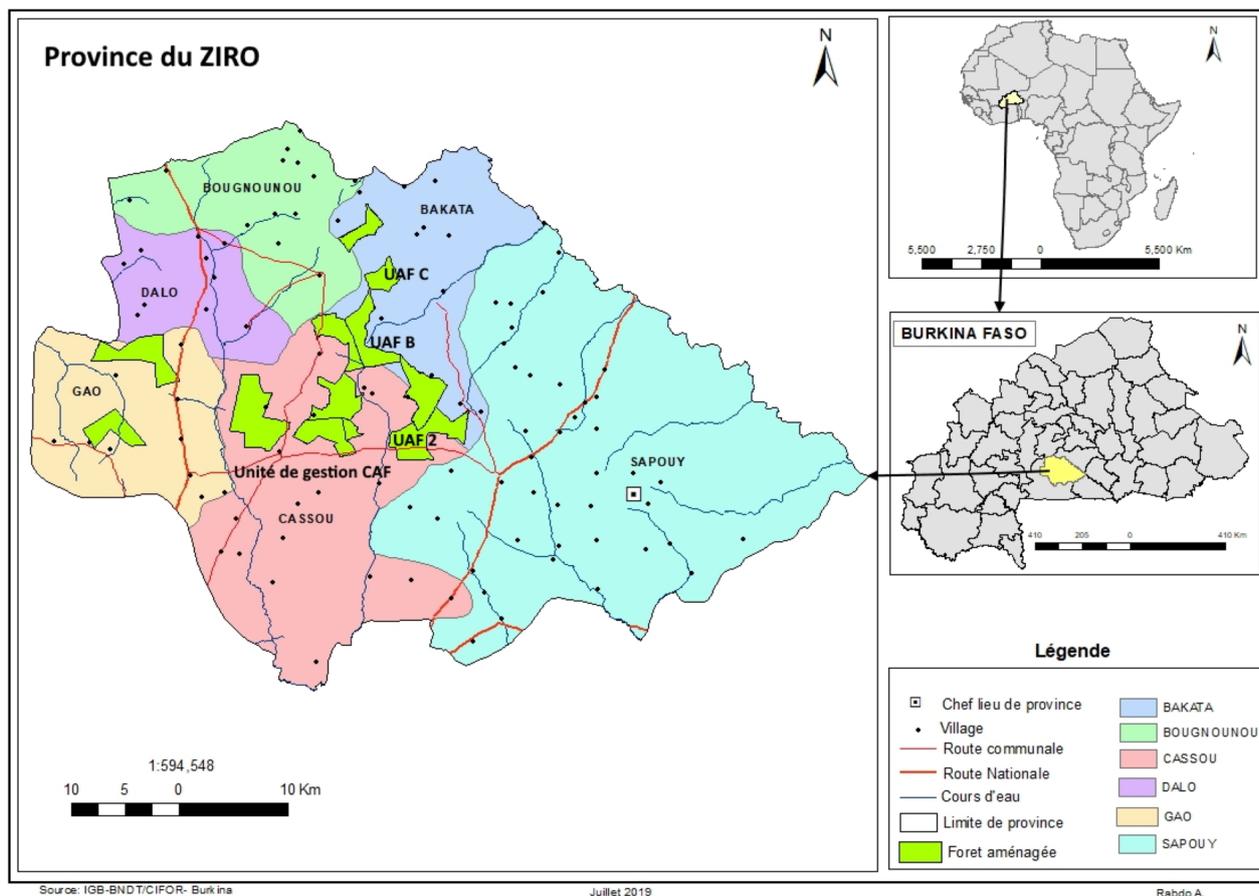


Fig. 1: Localisation du CAF de Cassou et des UAFs étudiées / Location of Cassou's FMD and the studied FMUs.

2.2 Techniques d'aménagement utilisées dans le CAF de Cassou

D'une superficie de 29515 ha, le CAF de Cassou fait partie d'un ensemble de sept (7) CAF du Burkina Faso créés en 1986 dans un programme d'aménagement des formations naturelles sur financement PNUD avec une implication de la FAO (ETONGO & al. 2018). L'objectif principal des CAF était de réguler l'exploitation du bois-énergie au profit des villages environnements et des centres urbains du pays. Le CAF de Cassou qui a été créé en 1991, est divisée en unités et sous-unités par les acteurs en charges de sa gestion. Ainsi, il compte neuf Unités d'Aménagement Forestiers (UAFs) et trois sous-unités. Chacune des unités / sous-unités est subdivisée en quinze parcelles exploitées successivement chaque année avec un cycle de rotation de 15 ans. L'exploitation forestière des parcelles est réalisée selon un plan d'aménagement avec un cahier de charge et suit le schéma des prescriptions suivantes:

- une coupe sélective de 50 % du volume de bois commercialisable sur pied ;
- l'utilisation du feu précoce annuel sauf sur les parcelles nouvellement coupées ;
- la protection des parcelles exploitées du feu et du pâturage pendant 3 à 5 ans ;

- l'interdiction du pâturage dans les forêts classées non aménagées, les parcs nationaux et les ranchs de gibier ;
- l'enrichissement par semis direct et par plantation des espaces exploités et des zones dénudées avec des espèces locales.

Les critères de coupe appliqués dans le CAF sont respectivement :

- la densité du peuplement, l'exploitation étant interdite dans les sites présentant moins de 200 pieds/ha ;
- l'état sanitaire, qui privilégie prioritairement la coupe des arbres malades ou malformés ; les considérations écologiques, qui épargnent les espèces protégées ou rares et les semenciers ;
- les dimensions de commercialisation qui orientent l'exploitation sur les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine est compris entre 10 et 25 cm ;
- la hauteur de coupe fixée à 15 cm maximum pour permettre l'émergence de rejets de souche le plus proche du sol.

2.3 Collecte de données

2.3.1 Echantillonnage et installation des placettes

Le CAF de Cassou a été choisie en raison de la présence d’une unité de gestion toujours en activité, ce qui constitue une meilleure opportunité pour évaluer l’efficacité des approches de gestion mises en œuvre. Pour caractériser l’état actuel de diversité du peuplement ligneux du CAF, un inventaire floristique a été réalisé dans trois (03) Unités d’Aménagement Forestiers (UAFs) sur un total de douze UAFs que compte le CAF de Cassou (Fig. 1). Ces UAFs (UAF 2, UAF B et UAF C) ont été échantillonnées selon des critères tels que l’accessibilité, la représentativité et l’homogénéité, à partir d’une localisation à l’aide de cartes d’occupation du sol préexistantes. L’étude a été conduite sur l’ensemble des 15 parcelles de chacune des UAFs ciblées où un échantillonnage aléatoire et stratifié aux taux de 0,3% a été adopté ; l’unité d’échantillonnage qui représente un relevé floristique est une placette circulaire de 20 m de rayon (1256,64 m²). L’installation des placettes a tenu compte de la taille des UAFs comme cela est présenté dans le Tableau 1. Sur cette base, les points représentant les placettes de chaque parcelle dans les différentes UAFs ont été pré-positionnés de façons aléatoires sur les cartes géo-référencier des UAFs et les coordonnées géographiques reportés dans des GPS. Les déplacements pour l’implantation des placettes d’inventaire sur le terrain se sont effectués à l’aide de ces GPS, à travers les pistes existantes.

Tableau 1: Caractéristiques des UAFs étudiées et répartition du nombre de placettes / Characteristics of the studied FMUs and distribution of the number of plots.

Caractéristiques des UAFs	UAF 2	UAF B	UAF C
Quelques villages associés	Luin, Vrassan, Diaio	Kou	Bakata, Lorou, Zenloua
Distance avec l’unité de gestion (Km)	10	14	18
Superficie (ha)	3774	2603	1214
Superficie moyenne de la parcelle (ha)	251,6	173,53	80,93
Nombre de placettes / parcelle	8	6	3
Nombre total de placettes	120	90	45

2.3.2 Caractérisation de la pression anthropique

Les facteurs de perturbations anthropiques tels que feux non autorisés, les activités agricoles, le pâturage et la coupe frauduleuse de bois, ont été caractérisés dans chaque placette. La pression anthropique est considérée nulle dans une placette, lorsqu’il n’y a ni trace de feu, ni trace de pâture d’animaux domestiques (présence d’animaux en pâture, de déjections, de traces de piétinements, etc.), ni activité agricole, ni trace de coupe illégale de bois. Par contre, lorsque dans une placette, on observe l’un de ces phénomènes, c’est leur intensité qui détermine le degré de l’action anthropique. Ainsi la pression anthropique a été évaluée à l’échelle de chaque placette selon une codification à quatre niveaux (0, 1, 2 et 3) pour chaque facteur :

- lorsque aucune trace de perturbations anthropiques relatives aux facteurs ci-dessus énumérés n’est observée dans une placette, le code 0 est attribué ;

- lorsque les traces sont faibles, le code 1 est attribué;

- le code 2 est attribué lorsque le degré de perturbation est moyen;

- lorsque les traces de perturbation sont élevées, le code 3 est attribué.

2.3.3 Inventaire floristique et mesures dendrométriques

Pour caractériser la diversité floristique du peuplement ligneux et la structure de *Vitellaria paradoxa* dans les différentes UAFs, un inventaire floristique a été conduite et des mesures dendrométriques réalisées sur les peuplements de *Vitellaria paradoxa*. L’unité d’échantillonnage a été une placette circulaire de 20 m de rayon, soit une aire de relevée de 1256,64 m². Dans chaque placette, tous les individus ligneux adultes (de diamètre à hauteur de poitrine (DBH) > 5 cm) sont inventoriés. L’inventaire floristique a été faite de façon exhaustive dans les différentes placettes et pour chaque individu identifié, les paramètres suivant sont noté sur une fiche de relevés: le DBH, la hauteur et l’état sanitaire. Les mesures de DBH ont été faites à l’aide d’un mètre ruban souple pendant qu’un dendromètre électronique associé au télémètre laser ont servi à l’estimation du de la hauteur des arbres, depuis la base du pied jusqu’au bout de la branche la plus élevée. L’état sanitaire des individus de *Vitellaria paradoxa* a été évalué suivant les codifications définies par KABORE (2004) et contenues dans le tableau 2.

Tableau 2: Code d’appréciation de l’état sanitaire des espèces ligneuses / Code of assessment of the woody species’ health status.

Code	Signification
1	Individu sans défaut visible
2	Individu ébranché
3	Individu brûlé (présence de trou ou de crevasse dans le bois)
4	Individu semi-mort ou cime plus ou moins desséchée
5	Individu mort sur pied
6	Individu parasité par des Loranthacées

Dans chaque placette principale, deux sous-placettes de 10 m² chacun (5m x 2m), sont installées pour l’évaluation de la régénération, par l’identification et le comptage de tous les individus de DBH ≤ 5 cm (OUEDRAOGO & al. 2006). L’identification des échantillons d’espèces récoltées sur le terrain a été faite par comparaison avec les spécimens de l’Herbier National du Burkina Faso. La classification APG III (2009) a été utilisée pour la nomenclature botanique des familles.

2.4 Analyse et traitement des données

2.4.1 Pression anthropique

La pression anthropique est évaluée pour chaque facteur en considérant la proportion des placettes concernées par le facteur de perturbation codifié par rapport au nombre total de placettes inventoriées dans l’UAF selon la formule 1 :

Formule 1 :

$$\text{Perturbation anthropique (\%)} = \frac{\text{Nombre de placettes codifiées } i}{\text{Nombre total de placettes inventoriée}} \times 100$$

Où i représente le niveau du code (0, 1, 2 ou 3) pour le facteur concerné.

2.4.2 Données floristiques et dendrométriques

À partir des données collectées sur le terrain, la richesse et la diversité floristique des peuplements ont été calculées dans les trois (3) Unités d'Aménagement Forestier (UAFs). Ainsi, tous les individus rencontrés lors de l'inventaire ont été regroupés par espèce, genre et famille. Pour mettre en évidence les espèces et les familles dominantes dans chaque UAF, l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) de CURTIS & MCINTOSH (1950) des espèces et la Valeur d'Importance de chaque Familles (FIV) ont été déterminés à partir des paramètres suivants :

- La densité (nombre d'individus d'une espèce par unité de surface (ha)) et sa valeur relative = (nombre d'individus de cette espèce / nombre total des individus) x 100 ;
- La dominance d'une espèce (somme des surface terrière par unité de surface (ha)) et sa valeur relative = (Surface terrière totale d'une espèce / Surface terrière totale de toutes les espèces) x 100 ;
- La fréquence de chaque espèce (dans les placettes inventoriées dans chaque UAF) et sa valeur relative = (Fréquence d'une espèce / Somme de toutes les fréquences) x 100 ;
- La densité relative de chaque famille ((nombre d'individus de cette famille / nombre total des individus) x 100) et leur dominance relative = Surface terrière totale d'une famille / Surface terrière totale de toutes les familles) x 100 ;
- La diversité relative de chaque famille = (nombre d'espèce dans une famille / nombre total d'espèces) x 100.

L'Indice de Valeur d'Importance (IVI) correspond à la somme de la densité relative, de la dominance relative et de la fréquence relative. La valeur d'importance d'une famille (FIV) est la somme de la densité relative, de la dominance relative et de la diversité relative de chaque famille (MORI et al. 1983).

L'évaluation de la diversité biologique s'est faite par le calcul des indices suivant :

- la richesse spécifique (S) qui est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné ;
- l'indice de Shannon-Weaver qui permet de quantifier l'hétérogénéité de la diversité spécifique par la formule : $H' = -\sum P_i \log_2 P_i$ où P_i est la Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu (DAJOZ 2008);
- l'indice de Simpson (D) qui donne la probabilité pour que deux individus sélectionnés au hasard dans une population appartiennent à la même espèce: $D = 1 / \sum (P_i)^2$
- la réciprocity de l'indice de Simpson (1/D) qui mesure l'hétérogénéité de l'abondance des espèces ; elle a été calculée selon la formule: $1/D = \sum (P_i)^2$;
- l'indice de Margalef (DM_g) qui indique si la richesse spécifique est élevée ou non par la formule:

$DM_g = (S-1)/\ln N$ où S est le nombre total d'espèces de l'échantillon et N le nombre total d'individus des espèces de de l'échantillon (MAGURRAN 2004).

Le taux de régénération (Tr) de chaque espèce a été évalué par la formule 2:

$$\text{Formule 2 : } \text{Tr (\%)} = \frac{\text{Nombre d'individus de diamètre} < 5 \text{ cm}}{\text{Nombre total d'individus dans l'UAF}} \times 100$$

Tous ces paramètres ont été calculés avec le tableur Excel.

À partir d'un seuil de 5 cm, des classes de diamètre d'amplitude 5 ont été constituées afin d'établir la structure de *Vitellaria paradoxa* à l'aide d'histogrammes de distribution diamétrales. Une distribution théorique suivant la loi de Weibull a été réalisée à l'aide du logiciel MINITAB 14, pour caractériser la structure des populations de l'espèce. Le choix de la distribution de Weibull a été fait à la faveur de sa souplesse d'emploi et de la grande variabilité de formes de distribution qu'elle produit. La distribution de Weibull à trois paramètres (de position a, d'échelle ou taille b et de forme c) a été utilisée selon la formule 3:

$$\text{Formule 3 : } f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$$

Le paramètre a correspond à la valeur seuil, c'est-à-dire à la plus petite valeur de diamètre retenue pour la constitution des histogrammes. Le paramètre b est lié à la valeur centrale de la distribution des classes de diamètre. Le paramètre c traduit la structure observée et selon sa valeur détermine la forme de la distribution structurale des peuplements. Lorsque $c < 1$, la distribution est en "J inversé"; lorsque $c = 1$, la distribution est exponentielle négative. Si $1 < c < 3,6$, la distribution est asymétrique positive. Pour $c = 3,6$, la distribution est approximativement normale et lorsque $c > 3,6$, la distribution est asymétrique négative.

2.4.3 Analyses statistiques

Les tests de Shapiro-Wilk et de Levene ont été réalisés pour tester respectivement la normalité et l'égalité des variances de chaque paramètre au sein des UAFs. Lorsque les hypothèses de normalité et d'égalité de variance étaient vérifiées, une analyse de variance à un facteur a été effectuée pour évaluer la différence de chaque paramètre entre les UAFs. Lorsque les moyennes sont significativement différentes et les effectifs suffisants, un test de comparaison multiple est appliqué; le test de Tukey (HSD: Honestly Significant Difference). Le logiciel R (R Development Core Team 2008) a permis d'effectuer ces tests statistiques.

3 RESULTATS

3.1 Etats des perturbations anthropiques dans les UAFs étudiées

L'ampleur et l'intensité des différents facteurs anthropiques à l'intérieur des UAFs sont rapportés dans la Fig. 2. Il ressort que toutes les UAFs parcourues présentent des traces de perturbations anthropiques dans des proportions variables. Le pâturage suivi par les feux non autorisés, ont été les facteurs anthropiques les plus fréquents dans toutes les UAFs (plus de 60% des placettes sont touchées) avec toutefois des

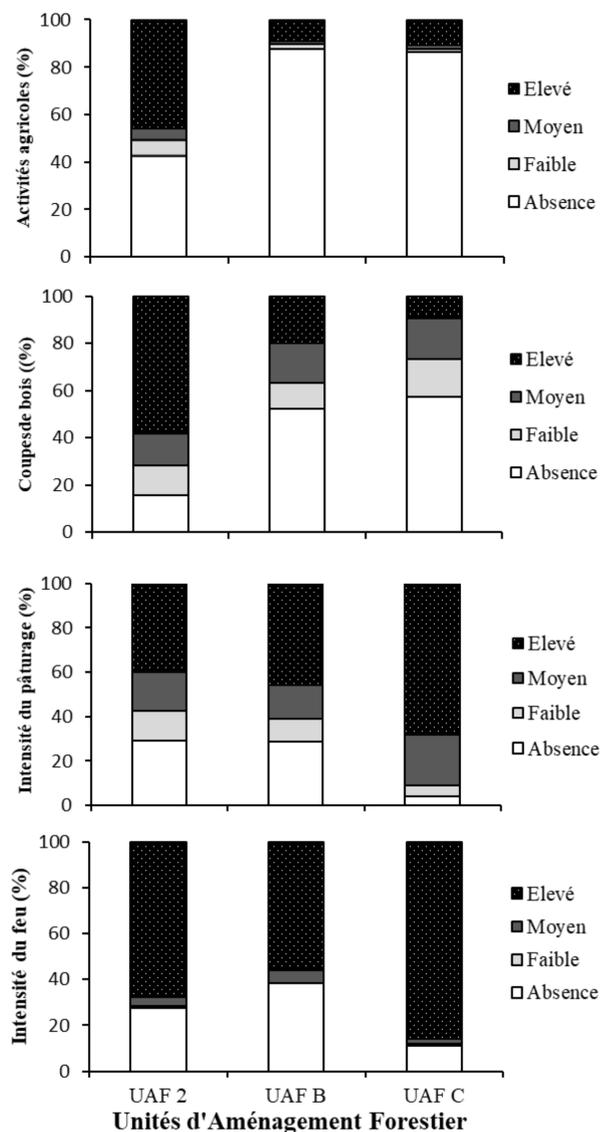


Fig. 2: Intensités des différents facteurs anthropiques en pourcentage (%) de placettes affectées dans les UAFs étudiées / Intensities of the various anthropogenic factors in percentage (%) of plots affected in the studied FMUs.

incidences plus élevées dans l’UAF C (> 90%). Les coupes illégales de bois ont été observées également dans toutes les UAFs étudiées dans des proportions allant de 42% des placettes inventoriées (dans les UAFs C et B) à 84% dans l’UAF 2 qui a été, le plus touchée par ce facteur. Les traces d’activités agricoles ont été également plus présentes

dans l’UAF 2 (57,5%) par rapport aux deux autres UAFs (< 13%).

3.2 Bilan floristique et caractéristiques structurales de la végétation des UAFs étudiées

Le peuplement ligneux de la végétation des trois unités d’aménagement forestier (UAFs) comprend 96 espèces réparties en 67 genres et 26 familles. Les caractéristiques floristiques et dendrométriques des différentes UAFs sont résumées dans le Tableau 3. Le nombre de taxa a légèrement varié suivant les UAFs. A l’exception du nombre de familles qui a été plus élevé dans l’UAF C, l’UAF 2 a enregistré le plus grand nombre de taxa avec 86 espèces appartenant à 62 genres et 25 familles; les plus faibles nombre de taxa ont été notés dans les UAF B. Les indices de diversité mesurés ont été plus ou moins similaires dans les UAFs étudiées avec toutefois des valeurs plus élevées dans l’UAF 2 suivi respectivement par les UAFs C et B.

La nature et l’abondance des espèces a varié également suivant les UAFs (Tableau 4). Dans les UAFs 2 et B, *Vitellaria paradoxa* et *Detarium microcarpum* présentent les indices de valeur d’importance (IVI) les plus élevées tandis que dans l’UAF C, il s’agit de *Anogeissus leiocarpa* suivi par *Detarium microcarpum*. La représentativité des familles à l’intérieur des UAFs (Tableau 5) révèle la domination de la famille des Fabaceae suivi de celle des Combretaceae et des Sapotaceae dans toutes les UAFs à l’exception de l’UAF C où les Combretaceae ont présenté la plus grande valeur d’importance des familles (FIV).

Les caractéristiques structurales du peuplement ligneux montrent des valeurs de densité et de surface terrière très variables suivant les différentes UAFs (Tableau 3). La densité des ligneux varie significativement suivant les UAFs ($df = 2$; $F = 27,08$; $p < 0,0001$) avec des valeurs plus élevées dans les UAFs C et B par rapport à UAF 2. La surface terrière des espèces a montré également des différences significatives suivant les UAFs ($df = 2$; $F = 28,6$; $p < 0,0001$) avec des valeurs plus élevées dans l’UAF C (67,1 m²/ha) suivies respectivement par celles de l’UAF B et de l’UAF 2 qui a enregistré la plus faible surface terrière.

Les résultats relatifs au potentiel de régénération des espèces sont reportés dans le Tableau 6. Le taux de régénération est relativement plus élevé dans l’UAF 2 (49,75%) suivi par celui de l’UAF B (38,89%) et faible dans l’UAF

Tableau 3: Paramètres floristiques et dendrométriques de la végétation des trois UAFs / Floristic and dendrometric parameters of the vegetation in the three FMUs.

Paramètres	UAF 2	UAF B	UAF C
Familles (nombre total)	24	21	25
Genres (nombre total)	62	53	61
Nombre total d'espèces	86	73	81
Indice de Margalef (DMg)	8,05	7,30	8,03
Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')	3,26	2,92	3,01
Réciproque de l'indice de Simpson (1/D)	17,85	9,73	12,62
Indice d'équitabilité de Simpson (D)	0,94	0,90	0,92
Densité (N/ha)	382 ± 61 a	690 ± 89 b	718 ± 55 b
Surface terrière (m ² /ha)	40,7 ± 12,1 a	47,2 ± 10,4 a	67,1 ± 15,8 b

Tableau 4: Les cinq espèces les plus abondantes dans chaque UAF selon l'ordre décroissant de leur Indice de Valeur d'importance/ the five most abundant species in each FMU in descending order of their Importance Value Index.

UAFs	Espèces	Den. rel. (%)	Dom. rel. (%)	Frep. Rel. (%)	IVI (%)
UAF 2	<i>Vitellaria paradoxa</i>	6,56	26,24	4,81	37,61
	<i>Detarium microcarpum</i>	13,79	4,04	4,53	22,37
	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	6,73	9,43	3,21	19,36
	<i>Piliostigma thonningii</i>	8,47	2,86	4,03	15,36
	<i>Lannea acida</i>	0,72	7,93	3,11	11,77
	Total	36,28	50,50	19,69	106,46
	Autres	63,72	49,50	80,31	193,54
UAF B	<i>Detarium microcarpum</i>	27,12	11,17	5,10	43,39
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	7,52	16,89	4,81	29,22
	<i>Lannea acida</i>	0,93	12,07	4,17	17,17
	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	4,49	8,80	3,42	16,71
	<i>Burkea africana</i>	1,14	10,57	3,71	15,41
	Total	41,21	59,49	21,21	121,91
	Autres	58,79	40,51	78,79	178,09
UAF C	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	15,88	30,18	4,79	50,86
	<i>Detarium microcarpum</i>	16,09	6,13	4,43	26,66
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	6,60	14,75	4,72	26,07
	<i>Combretum nigricans</i>	7,53	2,42	3,65	13,60
	<i>Combretum molle</i>	2,87	5,53	4,22	12,62
	Total	48,98	59,01	21,82	129,81
	Autres	51,02	40,99	78,18	170,19

IVI = Indice de Valeur d'Importance

C (28,87%). *Detarium microcarpum* a enregistré le meilleur taux de régénération dans toutes les UAFs; elle est suivie par *Pteleopsis suberosa* dans les UAFs 2 et B, par *Anogeissus leiocarpa* dans l'UAF C. En considérant les espèces les plus fréquentes et abondantes dans les classes adultes, il ressort que *Anogeissus leiocarpa* et *Burkea africana* présentent des faibles taux de régénération dans les UAFs 2 et B (TR < 2%) tout comme *Combretum molle* dans l'UAF C; ce qui pose le problème de renouvellement des peuplements de ces espèces.

3.3 Etats des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans les UAFs étudiées

3.3.1 Structures démographiques et capacité de régénération

Les caractéristiques structurales des peuplements de *Vitellaria paradoxa* varient significativement suivant les différentes UAFs (Tableau 7). La densité du peuplement de l'espèce varie significativement suivant les UAFs (df = 2 ; F = 27,8 ; p = 0,04) avec des valeurs plus élevées dans l'UAF C et dans l'UAF B par rapport à celles de l'UAF 2.

Tableau 5: Les trois familles les plus représentées dans chaque UAF selon l'ordre décroissant de leur FIV (Valeur d'Importance d'une Famille) / The three most represented families in each FMU in descending order of their FIV (Family Importance Value).

UAFs	Familles	Dens. rel. (%)	Dom. rel. (%)	Div. rel. (%)	FIV (%)
UAF 2	Fabaceae	40,58	31,35	33,72	105,65
	Combretaceae	30,26	19,91	11,63	61,80
	Sapotaceae	6,56	26,24	1,16	33,96
	Total	77,40	77,50	46,51	201,41
	Autres	22,60	22,50	53,49	98,59
UAF B	Fabaceae	47,43	37,03	36,84	121,30
	Combretaceae	28,17	21,66	13,16	63,00
	Sapotaceae	7,52	16,89	1,32	25,73
	Total	83,12	75,59	51,32	210,03
	Autres	16,88	24,41	48,68	89,97
UAF C	Combretaceae	40,13	42,38	12,35	94,85
	Fabaceae	36,82	24,99	29,63	91,44
	Sapotaceae	6,60	14,75	1,23	22,58
	Total	83,55	82,12	43,21	208,88
	Autres	16,45	17,88	56,79	91,12

Tableau 6: Taux de régénération (TR) dans les différentes UAFs avec les cinq espèces présentant les meilleurs taux / Regeneration rate in the different FMUs with the five most represented species.

UAFs	Espèces	TR (%)
UAF 2	<i>Detarium microcarpum</i>	5,76
	<i>Pteleopsis suberosa</i>	5,49
	<i>Dichrostachys cinerea</i>	4,03
	<i>Piliostigma thonningii</i>	3,95
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	3,06
	Autres	27,46
	Total	49,75
UAF B	<i>Detarium microcarpum</i>	8,76
	<i>Pteleopsis suberosa</i>	5,17
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	3,07
	<i>Combretum glutinosum</i>	2,14
	<i>Piliostigma thonningii</i>	1,93
	Autres	17,81
	Total	38,89
UAF C	<i>Detarium microcarpum</i>	5,03
	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	3,99
	<i>Combretum nigricans</i>	3,60
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	1,53
	<i>Pteleopsis suberosa</i>	1,49
	Autres	13,22
	Total	28,87

La surface terrière de *Vitellaria paradoxa* a montré également des différences significatives suivant les UAFs (df = 2 ; F = 3,303 ; p = 0,03) avec cette fois des valeurs plus élevées dans les UAFs 2 et C (12,1 m²/ha ; 11,4 m²/ha respectivement) par rapport à l’UAF B (8,7 m²/ha). Les résultats relatifs au potentiel de régénération de l’espèce indiquent de faibles taux de régénération sur la totalité des UAFs étudiées (autour de 3%) avec toutefois des valeurs plus faibles dans l’UAF C. Quant aux résultats sur les diamètres moyens des individus, il ressort que l’UAF 2 présente les plus gros individus suivi de ceux de l’UAF B, pendant que les plus faibles diamètres sont observés dans l’UAF C.

La distribution des classes de diamètre et de hauteur des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans les différents UAFs est présentée dans la Fig. 3. L’examen de ces distributions conformément à la loi de Weibull montre des structures diamétrales en forme de L ou de J inversé dans les toutes les trois UAFs investiguées (les valeurs du paramètre de forme c sont toutes inférieures à 1 (0,64 ≤ c ≤ 0,76) ; ce qui indique une importance majeure d’individus de faibles diamètres (Fig. 3A). L’analyse des structures en hauteur montre pratiquement les mêmes allures que la distribution des classes de diamètre dans les UAFs sauf que les valeurs du paramètre de forme c diffèrent légèrement (Fig. 3B). En effet, le paramètre de forme c est inférieur à 1 seulement dans l’UAF 2 (c = 0,089) tandis que sa valeur est d’environ 1 dans les UAFs B et C, indiquant ainsi une forte présence de jeunes pieds mais également d’individus dont le développement pourrait être compromis par les strates arborescentes, souvent qualifiés de rabougris.

Tableau 7: Paramètres dendrométriques et taux de régénération de *Vitellaria paradoxa* dans les différentes UAFs / Dendrometric parameters and regeneration rate of *Vitellaria paradoxa* in the different FMUs.

UAFs	Densité (N/ha)	Surface terrière (m ² /ha)	Diamètre moyen (cm)	Taux de régénération (%)
UAF 2	62 ± 5 a	12,1 ± 4,3 b	39,60 ± 10,17	3,06
UAF B	82 ± 8 b	8,7 ± 2,4 a	29,36 ± 9,92	3,07
UAF C	89 ± 9 b	11,4 ± 5,8 b	23,54 ± 12,72	1,53

3.3.2 Etat sanitaire des peuplements de *Vitellaria paradoxa*

La Fig. 4 résume la situation sanitaire des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans les UAFs investiguées. De l’analyse de cette figure, il ressort que les peuplements de l’espèce présente une situation sanitaire satisfaisante car la proportion des individus sans défaut visible est supérieure à 85% sur l’ensemble des UAFs. Cependant, les problèmes sanitaires les plus récurrents sont respectivement la présence des individus attaqués par des parasites de Loranthaceae, des individus semi-morts ou à cimes plus ou moins desséchées et des individus ébranchés. Aussi, la situation sanitaire de l’espèce varie d’une unité à une autre suivant l’incidence des agents ou facteurs causaux. Bien qu’elle ait des proportions en individus ébranchés et semi-morts plus élevées (3%), l’UAF C apparait comme présentant la meilleure situation sanitaire (91% d’individus sans défaut visible) suivi respectivement par l’UAF B et l’UAF 2 à l’intérieur desquelles, les peuplements de l’espèce souffrent surtout de l’infestation des parasites de Loranthaceae (> 6%).

4 DISCUSSION

4.1 Ampleur des facteurs de perturbation anthropiques affectant les UAFs

Les résultats indiquent que toutes les UAFs présentent des traces de perturbations anthropiques dans des proportions élevées. Le pâturage suivi par les feux non autorisés ont été les facteurs anthropiques les plus fréquents dans toutes les UAFs (plus de 60% des placettes sont touchées) avec toutefois des incidences plus élevées dans l’UAF C (> 90%) qui est l’unité d’aménagement la plus éloignée de l’unité de gestion du CAF. Les incidences élevées du feu et du pâturage dans les UAFs révèlent donc des failles dans le dispositif de surveillance mis en place. Ces résultats corroborent ceux obtenus par SAWADOGO (2009) qui a indiqué que les prescriptions prévues dans le cahier de charge, en matière d’administration des feux précoces et d’interdiction du pâturage, sont rarement respectées du fait du manque de suivi et de surveillance des parcelles. Les incidences élevées de ces deux facteurs dans l’UAF C par rapport aux deux autres, pourrait donc s’expliquer par sa situation très éloignée de l’unité de gestion du CAF. En effet, des investigations conduites par YONI & SEDOGO (2015) dans les CAF du Centre-Ouest, indiquent que le contrôle du service technique et forestier dans le CAF de Cassou est insuffisant. En plus, la proximité des villages riverains, constituent une opportunité de ravitaillement en ressource fourragère par le bétail airant ou les pasteurs transhumants. Les coupes illégales de bois et les traces d’activités agricoles, ont été quant à elles plus présentes dans l’UAF 2 malgré

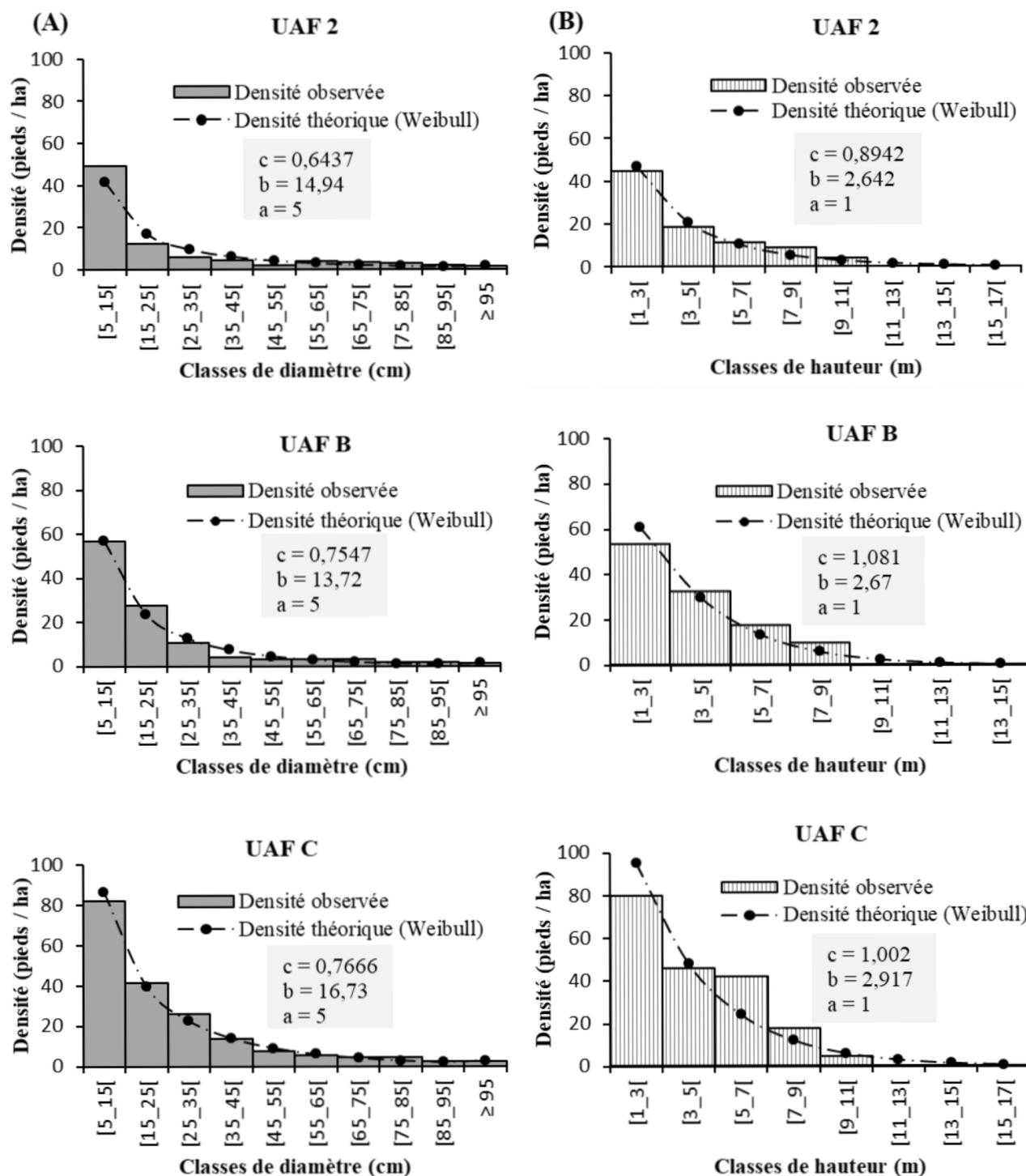


Fig. 3: Structure en diamètre (A) et en hauteur (B) des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans chaque UAF avec imposition de leurs distributions suivant la loi de Weibull à trois paramètres (de position a , d'échelle b et de forme c) / Diameter (A) and height (B) structure of *Vitellaria paradoxa* in each FMU with imposition of their distribution according to the three-parameter Weibull (a = thresh, b = scale and c = shape).

sa relative proximité de l'unité de gestion du CAF. Ces résultats s'expliquent par la forte pression anthropique entretenue par les populations des nombreux villages riverains, à travers dans la recherche de bois de chauffe et la pratique d'une agriculture extensive.

4.2 Diversité floristique et dynamique des ligneux

La présente étude révèle que la flore ligneuse des trois UAFs du Chantier d'Aménagement Forestier (CAF de Cassou, est riche de quatre-vingt-seize (96) espèces ligneuses réparties

en 67 genres et 26 familles dominées par la famille des Fabaceae. Comparée aux résultats de BOUSSIM & al. (2009) qui ont recensés soixante-huit (68) espèces dans les unités d'aménagement forestier du même chantier d'aménagement (Cassou), la flore recensée est plutôt riche. Cette richesse floristique est également plus importante que celles enregistrées dans le CAF de Tiogo (88 espèces ligneuses) par SAVADOGO & al. (2002) et dans le CAF du Nazinon (90 espèces ligneuses) par SAWADOGO (2007) ; toutefois elle reste faible

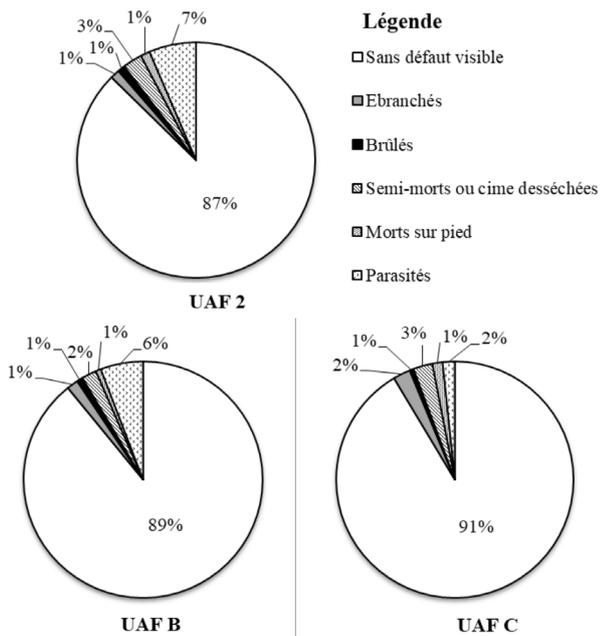


Fig. 4: Etat sanitaire des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans chacune des UAFs étudiées / Health status of *Vitellaria paradoxa* stands in each studied FMUs.

comparée à celle enregistrée dans le domaine soudanien du Togo avec 111 espèces d’arbres réparties en 79 genres et 32 familles (DOURMA & al. 2012). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences, dont notamment les variations des conditions pédoclimatiques et leurs influences sur la distribution spatiale et géographique des flores (BONDE & al. 2013).

La similitude de la composition floristique de la strate ligneuse dans les différentes UAFs, seraient liée au fait qu’elles soient toutes dans la même zone phytogéographique, subissant les mêmes conditions climatiques et le même système d’aménagement et à des degrés près les mêmes pressions anthropiques. Aussi, dans toutes les UAFs, les indices de diversité mesurés indiquent qu’il n’y a pas de différence significative d’une UAF à l’autre. Ces résultats sont en accords avec ceux de KENGNE & al. (2018), qui indiquent que la périodicité des activités d’exploitation dans les UAFs, fait que les phases de perturbation n’ont pas de grandes influences sur la diversité de la flore et la richesse spécifique. En effet, les coupes frauduleuses du bois vert pour les besoins tels que la construction, l’énergie et l’exploitation des espèces ligneuses comme fourrage portent sur des espèces précises, si bien que ces activités illégales dans les UAFs, ne sont actuellement pas assez importantes pour provoquer une baisse conséquente de la diversité floristique. Néanmoins, ces facteurs de perturbations agissent négativement sur la structure des ligneux (BONDE et al. 2013) car les défrichements combinés à l’exploitation presque abusive de certaines espèces conduisent à la réduction de leurs paramètres dendrométriques, surtout dans les zones anthropisées ; cela expliquerait les faibles densités en ligneux dans l’UAF 2, plus perturbé par les coupes illégales de bois par rapport aux deux autres UAFs. L’une des principales causes de régression des formations ligneuses est la raréfaction des jeunes individus susceptibles de remplacer les sujets vieillissants (OUEDRAOGO & al. 2006). Les

résultats de la présente étude indiquent que le taux de régénération avec une prédominance de *Detarium microcarpum* est relativement plus élevé dans l’UAF 2 suivi par l’UAF B et faible dans l’UAF C où les incidences du pâturage et des feux incontrôlés étaient plus élevées. Selon SAWADOGO (2009), le faible taux de régénération des ligneux est la conséquence du surpâturage ainsi que des feux de brousses répétés et incontrôlés qui ne laissent pas suffisamment de temps aux espèces pour se reconstituer, justifiant ainsi nos résultats. Les faibles taux de régénération de certaines espèces fréquentes et abondantes dans les classes adultes, comme *Anogeissus leiocarpa* et *Burkea africana* présentent dans les UAFs 2 et B et *Combretum molle* dans l’UAF C, seraient la conséquence de l’incidence des facteurs de perturbation. Le surpâturage entraîne la réduction de la régénération naturelle des ligneux (JURISCH & al. 2016), la baisse de la couverture herbacée, la mise à nue du sol et son endurcissement (KESSLER & GEERLING 2006). Des observations analogues ont été faites également par SAWADOGO (2007) et BOUSSIM & al. (2009), qui ont constaté que ces espèces étaient menacées de disparition à cause de leur régénération quasi nulle. La coupe abusive de bois a déjà été relevée comme un facteur important dans la dynamique régressive des ligneux (BAGGNAN & al. 2013). La bonne régénération de *Detarium microcarpum* corrobore les observations de KABORE (2004) et de SAWADOGO (2007) dans d’autres CAF du Burkina Faso, et s’explique selon BELLEFONTAINE & al. (2000) par les grandes capacités de drageonnage de l’espèce qui constitue un atout de bonne régénération car les drageons ont une croissance plus rapide que les semis.

4. 3 Etats des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans les UAFs étudiées

La distribution des peuplements de *Vitellaria paradoxa* sur l’ensemble des UAFs, présente des paramètres de formes indiquant des structures en « L ». Selon DAN GUIMBO & al. (2010), les individus jeunes assurent l’avenir de la formation naturelle tandis que ceux de gros arbres résultant de la sélection naturelle sont des semenciers qui assurent la pérennité du peuplement à travers la production des graines. La prédominance d’individus de faible diamètre et de hauteur dans les différentes UAFs assurent ainsi une dynamique structurale stable. L’analyse des caractéristiques dendrométriques montre des variations significatives suivant les UAFs avec des valeurs de densité plus élevées dans l’UAF C et de surface terrière plus élevées dans les UAFs 2 et C. Cette différence de répartition et d’abondance de l’espèce dans les UAFs s’explique par les facteurs écologiques et les pressions anthropiques qui s’exercent sur elle. La densité élevée observée au niveau de l’UAF C, s’explique par les conditions stationnelles et écologique favorable de cette UAF avec une végétation généralement plus dense par rapport aux autres UAFs. Les densités observées dans le cadre de la présente étude sont similaires à celles obtenues dans la même zone (BOUSSIM & al. 2009) mais nettement moins élevées que celles obtenues à Saponé (222 pieds /ha) par RABIOU & al. (2016). Cette différence s’explique par l’intervention d’un projet d’aménagement qui dans le cadre de ces activités de restauration du paysage a réalisé des plantations de l’espèce dans ce milieu. Toutefois ces densités sont nettement supérieures à celles observées par BOUFA (2000) au Mali, dans les agrosystèmes (2 pieds / ha en

secteur nord soudanien, 19 pieds /ha en secteur sud soudanien et 52 pieds /ha en secteur soudano-guinéen). Les fortes surfaces terrières observées au niveau de l'UAF 2 malgré sa faible densité, s'explique par le fait que l'importance de la surface terrière est corrélée à la présence et à la fréquence des individus à gros tronc qui sont plus représentés dans cette UAF ; cependant les fortes surfaces terrières observées au niveau de l'UAF C s'explique par la forte densité de l'espèce observée dans son sein, mais dont les individus sont caractérisés par des diamètres moyens et hauteur moyenne faible (Tableau 7).

Les résultats relatifs au potentiel de régénération de l'espèce indiquent de faibles taux de régénération sur la totalité des UAFs étudiées avec toutefois des valeurs plus faibles dans l'UAF C. Ces résultats contrastent avec ceux obtenus par RABIOU & al. (2016) qui ont constaté une forte densité de régénération dans la forêt de Saponé en zone Nord-soudanienne. Les faibles taux de régénération de l'espèce dans les UAFs en général et dans l'UAF C, en particulier, peuvent s'expliquer par l'effet des facteurs de dégradation tels le surpâturage et les feux de brousses incontrôlés (JURISCH & al. 2016). En effet, plusieurs des plantules qui émergent sont éliminées soit par les effets de la sécheresse en saison sèche, soit le feu de végétation ou par les dents des herbivores qui parcourent chaque jour ces UAFs. Cette remarque rejoint les observations de BOKARY & al. (2004) qui expliquent ces difficultés d'affranchissement des individus juvéniles de *Vitellaria paradoxa* par les effets néfastes des feux de brousse qui ne favorisent pas l'évolution des plantules qui apparaissent. Par ailleurs, les feux précoces ou d'aménagement peuvent aussi entraîner une mortalité très élevée jeunes individus de l'ensemble des espèces.

L'état sanitaire des peuplements de *Vitellaria paradoxa* dans les UAFs est satisfaisant avec un taux d'individus sans défaut visible supérieur à 85 % et surtout dans l'UAF C (91%). Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par SAWADOGO (2007) qui a également indiqué que l'espèce était victime de pratiques contrevenantes au plan d'aménagement et au cahier de charge, notamment la coupe pour le bois de feu. Toutefois, il est ressorti dans la présente étude que la principale menace sanitaire de l'espèce dans les UAFs est l'attaque des parasites de la famille des Loranthaceae avec des incidences plus élevées dans l'UAF 2 suivi de l'UAF B et faible dans l'UAF C. Cette différence des taux d'infestation constatés dans les UAFs peut être liée à la fréquence et la taille des arbres, car selon KOFFI & al. (2014), le taux de parasitage des Loranthaceae est plus élevé chez les gros arbres par rapport aux arbustes. En effet, selon BOUSSIM (2002), la dissémination des Loranthaceae se fait par des oiseaux qui se nourrissent de la viscine (pulp collante) de leurs fruits. Ces oiseaux auraient donc une préférence des gros arbres dont l'ombrage procure plus de sécurité que les arbustes. Le faible taux de parasitage obtenu dans l'UAF C pourrait s'expliquer par le type de végétation caractérisé par un nombre moins élevé d'arbres défavorisant ainsi la dissémination des Loranthaceae.

5 CONCLUSION

Les investigations sur la végétation des trois (3) unités d'aménagement forestiers (UAFs) du CAF de Cassou a permis de mettre en évidence les diverses perturbations anthropiques exercées sur la végétation, d'évaluer la diversité floristique des ligneux et de décrire la structure ainsi que l'état sanitaire des peuplements de *Vitellaria paradoxa*. Il ressort que:

(i) l'exploitation frauduleuse et excessive du bois, couplée à la pression agricole et pastorale, compromet la pérennité de ces UAFs. Le pâturage suivi par les feux non autorisés ont été les facteurs de perturbations anthropiques les plus fréquents dans toutes les UAFs avec toutefois des incidences plus élevées dans l'UAF C (> 90%). Les coupes illégales de bois et les activités agricoles ont été plus manifestes dans l'UAF 2;

(ii) les indices de diversité mesurés ont été plus ou moins similaires dans toutes les UAFs étudiées avec toutefois des valeurs plus élevées dans l'UAF 2 suivi respectivement par les UAFs C et B;

(iii) les caractéristiques dendrométriques des peuplements de *Vitellaria paradoxa* diffèrent suivant les UAFs avec des valeurs de densité et de surface terrière plus élevées dans l'UAF C tandis que la régénération est plus importante dans l'UAF 2 et faible dans l'UAF C. Toutefois, les allures des structures en diamètre et en hauteur de l'espèce montrent que les individus jeunes sont les plus représentés dans toutes les UAFs;

(iv) la situation sanitaire de *Vitellaria paradoxa* est satisfaisante sur l'ensemble des UAFs, même si la principale menace est l'attaque des parasites de Loranthaceae avec un taux d'infestation plus élevé dans l'UAF 2 suivi respectivement par l'UAF B et l'UAF C.

Partant des hypothèses de départ, les résultats obtenus montrent que les UAFs proches de l'unité de gestion ont été moins perturbées par une partie des facteurs notamment le pâturage et les feux incontrôlés; ce qui confirme partiellement la première hypothèse. Cependant, la deuxième hypothèse est rejetée car la structure démographique des peuplements de *Vitellaria paradoxa* n'a été fonction du gradient d'anthropisation défini en fonction de la proximité de l'unité de gestion.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Center for International Forestry Research (CIFOR) qui a commandité cette étude. Les remerciements s'adressent particulièrement à Mr Michael Philippe Bessike Balinga, pour sa collaboration et son assistance logistique ainsi qu'à Mr Abdoulaye Rabdo pour son appui dans la réalisation des cartes.

REFERENCES

- BAGGNIAN I, ADAMOU M, ADAM T & MAHAMANE A (2013): Impact des modes de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le Centre-Sud du Niger. *Journal of Applied Biosciences* 71: 5742 – 5752.
- BELEM M, ZOUNGRANA M & NABALOU M (2018): Les effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la

- forêt classée de Toéssin, Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(5): 2186-2201.
- BELLEFONTAINE R, EDELIN C, ICHAOU A, DU LAURENS D, MONSARRAT A & LOQUAI C (2000): Le drageonnage, alternative aux semis et aux plantations de ligneux dans les zones semi-arides: protocole de recherches. *Sécheresse*, 11 (4): 221-226.
- BOFFA JM (2000): Les parcs agroforestiers en Afrique Sub-saharienne. Cahier FAO cas du maïs (*Zea mays* L.) Associé au Karité (*Vitellaria paradoxa*) dans la Zone de Conservation, Cahier FAO, guide de conservation 34, FAO, Rome : 1 - 251.
- BOKARY AK, BOUVET JM & PICARD N (2004): Size class distribution and spatial pattern of *Vitellaria paradoxa* in relation to farmer practices in Mali. *Agroforestry Systems*, 60: 3-11.
- BONDE L, OUEDRAOGO O, KAGAMBEGA WF & BOUSSIM IJ (2013). Impact des gradients topographique et anthropique sur la diversité des formations ligneuses soudanaises. *Bois et Forêts des Tropiques* 318 (4): 15 – 25.
- BOUSSIM IJ (2002): Les Phanérogames parasites du Burkina Faso : inventaire, taxonomie, écologie, et quelques aspects de leur biologie. Cas particulier des Loranthaceae parasites du karité. Thèse de doctorat d'état ès Sciences naturelles. 285p.
- BOUSSIM IJ, OUEDRAOGO A & LANKOANDE B (2009): Etude des impacts écologiques dans les unités d'aménagements forestiers des régions du Centre-Nord et du centre-Ouest. In: KABRÉ AM, SOMDA J, SAVADOGO M, NIANOGO AJ (eds). *Bois-énergie au Burkina Faso: Consolidation des moyens d'existence durable (2006 – 2009)*, Ouagadougou, Burkina Faso: Bureau UICN - Burkina Faso : 115-139.
- COULIBALY-LINGANI P, SAVADOGO P, TIGABU M & ODEN PC (2011): Factors influencing people's participation in the forest management program in Burkina Faso, West Africa. *Forest Policy and Economics* 13 (4): 292-302.
- CURTIS JT & MCINTOSH RP (1950): The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31:434-455.
- DAJOZ R (2008): *La biodiversité: l'avenir de la planète et de l'homme*. Ellipses, Paris. 275 p.
- DAN GUIMBO I, MAHAMANE A & AMBOUTA KJM (2010): Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. C.F.) dans le sud-ouest nigérien: diversité, structure et régénération. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5, (4): 1706 - 1720.
- DOURMA M, WALA K, GUELLY KA, BELLEFONTAINE R, DELEPORTE P, AKPAVI S, BATAWILA K & AKPAGANA K (2012): Typologie, caractéristiques structurales et dynamique des faciès forestiers fragiles à *Isobertinia* spp. en vue de leur gestion au Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 313 (3) : 20-33
- ETONGO D, KANNINEN M, EPULE EPULE T & FOBISSIE K (2018): Assessing the effectiveness of joint forest management in Southern Burkina Faso: A SWOT-AHP analysis. *Forest Policy and Economics* 90: 31-38, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.008>
- FAO (2003): *Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne*. Rome, Italie, 63 p.
- FAO (2015): *Global forest resources assessment 2015*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 253p.
- JURISCH K, BERNHARDT-RÖMERMANN M, WITTIG R & HAHN K (2016): Impact of land use on juvenile densities of woody plants in a West African savanna. *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica* 19, 18-34
- KABORE C (2004): *Référentiel technique d'aménagement des forêts au Burkina Faso*, BKF/007PAFDK, Ouagadougou, 133p.
- KENGNE OC, ZAPFACK L, GARCIA C, NOIHA NV & NKONG-MENECK B-A (2018): Diversité floristique et structurale de deux forêts communautaires sous exploitation au Cameroun: cas de Kompia et Nkolenyeng. *European scientific journal* (14) 24 : 245-271.
- KESSLER J & GEERLING C (2006): *Profil Environnemental du Burkina Faso, rapport final*. Université agronomique de Wageningen, Pays-Bas. <http://ec.europa.eu/development/icenter/>
- KOFFI AA, KOUASSI FA, KOUA N'GORAN SBK & SORO D (2014): Les Loranthaceae, parasites des arbres et arbustes : cas du département de Katiola, au nord de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(6): 2552-2559.
- KOFFI CK, DJOUDI H & GAUTIER D (2016): Landscape diversity and associated coping strategies during food shortage periods: evidence from the Sudano-Sahelian region of Burkina Faso. *Reg Environ Change* 16:1-12.
- LESSMEISTER A, SCHUMANN K, LYKKE A-M, HEUBACH K, THIOMBIANO A & HAHN K (2015): Substitution of the most important and declining wild food species in southeast Burkina Faso. *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 18: 11-20.
- MAGURRAN AE (2004): Measuring biological diversity. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 131, (3): 277-278.
- MEDD (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable) (2011): *Programme d'Investissement Forestier – Burkina Faso*, volume 2, 130p.
- MORI SA, BOOM BM, DE CARVALHO AM, DOS SANTOS TS (1983): Southern Bahian moist forests. *The Botanical Review* 49 (2): 155-232.
- NACOULMA BMI, SCHUMANN K, TRAORÉ S, BERNHARDT-RÖMERMANN M, HAHN K, WITTIG R & THIOMBIANO A (2011): Impact of land-use on West African savanna vegetation: a comparison between protected and communal area in Burkina Faso. *Biodiversity Conservation*, 20: 3341-3362. DOI 10.1007/s10531-011-0114-0
- OUEUROAGO A, THIOMBIANO A, HAHN-HADJALI K & GUINKO S (2006): Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse* 17 (4): 485 – 491.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008): *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- RABIOU H, IRO DAN GUIMBO I, BATIOÑO BA, ISSAHAROU-MATCHI I & MAHAMANE A, (2016): État des populations naturelles de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. C. F. Dans la zone soudanienne du Niger et du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 28 : 428 - 441
- SANDJONG RCS, NTOUPKA M, VROUMSIA T & IBRAHIMA A (2018): Caractérisation structurale de la végétation ligneuse du Parc National de Mozogo-Gokoro (Cameroun). *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 21: 7-24. DOI: 10.21248/fvss.21.56
- SAWADOGO L (2007): *Etat de la biodiversité et la de production des ligneux du Chantier d'Aménagement Forestier*

du NAZINON après une vingtaine d'années de pratiques d'aménagement. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 42 p.

SAWADOGO L (2009): Influence des facteurs anthropiques sur la dynamique de la végétation des forêts classées de Laba et de Tiogo en zone soudanienne au Burkina Faso. Thèse doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 142p.

SAWADOGO L, NYGARD R & PALLO F (2002): Effect of live-stock and prescribed fire on coppice growth after selective cutting of Sudanian savannah in Burkina Faso. *Ann. For. Sci.*, 59. 185-195.

TANYI TF, ETONGO D & RABDO A (2018): Assessing the sustainability of fuelwood production and its potential impact on REDD+ in Burkina Faso. *International Journal of Environmental Studies*, 75 (1): 186-200, DOI: 10.1080/00207233.2017.1386435

YONI G & SEDEGO S (2015): Rapport final mission d'évaluation technique, socio-économique, écologique et de gouvernance des Chantiers d'Aménagement Forestier (CAF) de Bougnounou -Nebelianayou, de Cassou, du Nazinon et de Sapouy Bieha dans la région du Centre Ouest au Burkina Faso. Ministère de l'Environnement et des Ressources Halieutiques. Initiatives Conseils International. 101p.

Local perceptions and traditional methods for *Carapa procera* oil production in Mali

Received: 2019-10-22; revised: 2019-12-10; accepted: 2019-12-12

Urbain Dembélé^{1,*}, Aïssata A. Diallo¹, Anne Mette Lykke², Yénizié Koné³, Bino Témé⁴, Amadou Malé Kouyaté¹

¹ Institute of Rural Economy, Sikasso, Mali

² Aarhus University, Department of Bioscience, Silkeborg, Denmark

³ Michigan State University Office, Bamako, Mali

⁴ Institut of Rural Economy, Bamako, Mali

* Corresponding author. E-mail address: udembele@yahoo.fr

Summary: *Carapa procera* is a wild oil tree species traditionally exploited in Mali for seed oil. Carapa oil is highly sought because of therapeutic, cosmetic, insecticidal and repellent properties. The purpose of this work was to contribute to the understanding of local practices in carapa oil production and local perceptions related thereto. The method used was based on surveys in four production localities and tests of oil production according to the traditional processes practiced by the processors. Two methods of seed storage and oil extraction processes were identified. Women were the main actors in seed collection and oil processing. The average oil extraction efficiency from the seeds was 23.1% and varied among sites. The wet extraction process was the most efficient. In addition to socio-cultural considerations, difficulties related to technology (lack of adequate extraction equipment) and the decrease of carapa populations limit the full development of processing activities. It is necessary to undertake options to improve traditional oil production processes such as education and introduction of shea presses in order to reduce labour intensity, improve efficiency and ensure quality standards. It also requires action for the sustainable management and conservation of the carapa species.

Keywords: *Carapa procera*, efficiency, local processes, oil extraction, socio-cultural considerations, Sub-Saharan Africa.

PERCEPTIONS LOCALES ET MÉTHODES TRADITIONNELLES DE PRODUCTION DE L'HUILE DE *CARAPA PROCERA* AU MALI

Résumé: *Carapa procera* est une espèce ligneuse oléagineuse naturelle traditionnellement exploitée au Mali pour l'huile des graines. L'huile de carapa est très recherchée pour ses propriétés thérapeutiques, cosmétiques, insecticides et répulsives. L'objectif de ce travail était de contribuer à la compréhension des pratiques locales en matière de production d'huile de carapa et des perceptions locales y afférentes. La méthode utilisée a été basée sur des enquêtes dans quatre localités de production et la réalisation des tests de production d'huile selon les procédés traditionnels pratiqués par les transformatrices. Deux méthodes de conservation des noix de carapa et d'extraction de l'huile ont été identifiées. Les femmes sont les principales actrices de la collecte des noix et de la production de l'huile. Le rendement moyen d'extraction de l'huile des graines a été de 23,1% et a varié entre les sites. Le procédé d'extraction de l'huile par voie humide a été le plus efficace. Outre les considérations socioculturelles, les difficultés liées à la technologie (manque d'équipements d'extraction adéquats) et la diminution des populations de carapa limitent le plein développement des activités de transformation. Il est nécessaire de développer des options pour améliorer les processus traditionnels de production de l'huile comme la formation et l'introduction de presses à karité afin de réduire l'intensité de travail, améliorer l'efficacité et garantir des normes de qualité. Cela implique également une action pour la gestion durable et la conservation de l'espèce carapa.

Mots clés: *Carapa procera*, efficacité, procédés locaux, extraction de l'huile, considérations socioculturelles, Afrique subsaharienne.

1 INTRODUCTION

In sub-Saharan Africa, wild tree species play an important role for livelihoods in most rural communities (HAHN & al. 2018; KALINGANIRE & al. 2007; VAN ANDEL 2006a). Among the socio-economically interesting products are oils from native trees used for food, body- and hair care and medicine, but their potential is far from fully exploited (GRACE & al. 2009). Enhanced oil production can therefore play an important role in income generation for local communities and contribute to food security and economic growth, particularly for women who traditionally make the oil products. Some studies have shown that there is potential for promoting new oil products from native trees in West Africa apart from shea butter and palm oil (KOUYATÉ & al. 2015; OUÉDRAOGO & al. 2013). These studies focused mainly on traditional knowledge of the use of these products, e.g. carapa oil.

Carapa procera is a promising oil species (MAIGA 2001; FAO 1996). In Africa, its range of distribution extends from Uganda to Senegal with Mali as the most northern distribution (WEBER & al. 2010). Presently in Mali, carapa habitats are threatened because of degradation of native trees species due to increased deforestation caused by extensive agriculture and an increase in the number of agricultural farms (DEMBÉLÉ & al. 2016). In Mali flowering occurs from January to March (WEBER & al. 2010), but can be earlier further south (DOLIGEZ & JOLY 1997). Various parts of the tree (bark, leaves, gum, seeds, roots and wood) are used by local communities in southern Mali. The seeds are the most exploited plant part (DEMBÉLÉ & al. 2015). The fruits are capsules with triangular brown seeds that mature from May to June. The fruits have a high oil content; about 55-60% (DJENONTIN & al. 2012; SANOGO & SACANDÉ 2007). This oil is widely used in traditional human and veterinary medicine body- and hair care and soap (DEMBÉLÉ & al. 2015; Weber & al. 2010; GUËYE & al. 2009) and also as repellent and insecticide (JIOFACK & al. 2008; VAN ANDEL 2006b; SYLLA & al. 2003). Marketing of carapa oil is often limited but has a potential to provide a significant source of income. However, the valorization and promotion of carapa oil requires an understanding of endogenous extraction processes.

This study aims to identify and describe traditional methods of seed storage, oil production and the socio-cultural perceptions related to carapa oil.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

The study was conducted in the Sudanian zone of Mali in the regions of Sikasso (villages of Ziékorodougou, Mourasso and Kountjila) and Koulikoro (village of Koumabougou) (Fig. 1). The choice of these localities was based on the availability of a natural habitat of carapa and traditions for use and processing by the local communities.

2.2 Method

The data were collected using semi-structured questionnaires with 30 women processors in each village and

participant observations in January-February and June-July 2013. All participants were previously informed of the purpose of the study and the consent of each participant was obtained before starting data collection. The information collected was related to seed collection, seed storage, oil extraction and socio-cultural perceptions related to carapa in order to describe the exact steps and methods of production and equipment used.

2.3 Data analysis

Descriptive statistics were calculated. Oil extraction efficiency was determined by the formula: $R = [\text{Quantity of oil extracted} / \text{Quantity of processed kernels}] \times 100$ (NOUMI & al. 2002, WOMENI & al. 2002).

3 RESULTS

3.1 Socio-demographic characteristics of actors investigated

The main actors in seed collection and processing of carapa oil were women. The average age of these operators was 47 years. Those in Mourasso were the oldest, 51 years in average, and those in Ziékorodougou the youngest, 42 years in average. Average age was 48 and 46 years in Koumabougou and Kountjila, respectively. The majority of these women (90%) were married and 10% widows. In Ziékorodougou all women were married, compared to 93% in Kountjila, 90% in Mourasso and 77% in Koumabougou. Majority of women (65%) were illiterate and never attended school, only 4% attended primary school, 6% koranic studies and 25% were literate in local languages. The average experience in exploitation of non-timber forest products (NTFPs) was 30 years and the average experience in exploitation of carapa was 20 years.

3.2 Seed collection

Seed collection took place at the beginning of the rainy season from May to June in gallery forests along river beds, where there is open access to harvesting of seeds. However, in some localities this period is extended to July for certain late fruiting individuals. Seed collection was regarded a demanding activity because of difficult access to carapa habitats, risks of slipping and falling and contact with snakes and scorpions that shelter in the bush. The daily collection time depended on the distance from the village and varied from 2 to more than 6 hours. The collection sites were closest from Koumabougou and Ziékorodougou (1-4 km), 4-6 km from Mourasso more than 6 km from Kountjila. The collection was mainly done by collecting fruit fallen on the ground.

3.3 Processing of seeds and oil production

Two processes of seeds and oil production were identified: the dry process (Fig. 2) and the wet process (Fig. 3).

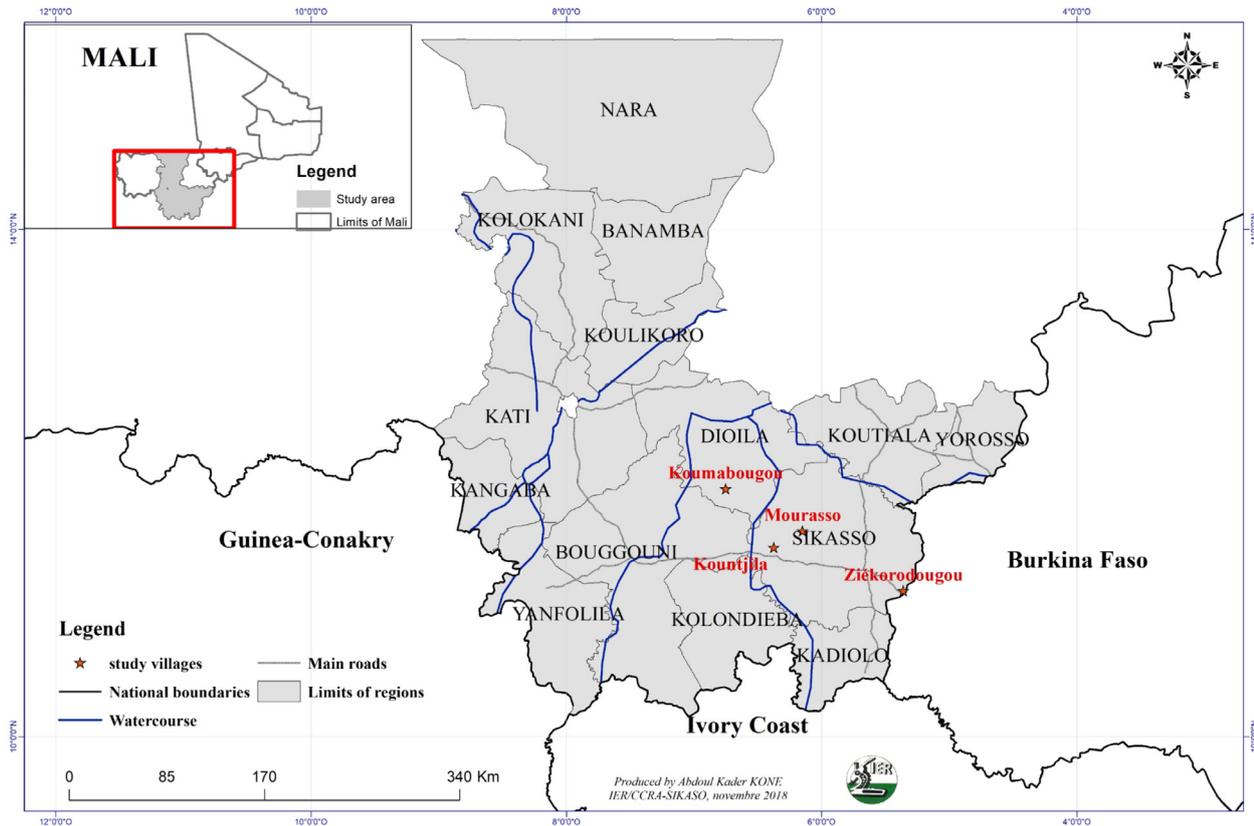


Fig. 1: Location of the study area /Localisation de la zone d'étude.

3.3.1 The dry process (Dp)

The dry process (Dp) was practiced in Ziékoroougou and Koumabougou. It consisted in boiling the seeds in a pot with water (Dp1), the duration varied according to the quantity of seeds and the intensity of the fire. This process leads to a softening of kernels inside the seeds. By pressing the seed between the two fingers it was determined if they were tender. The seeds treated by boiling were stored in holes (Dp2) near the village. These boiled seeds were dusted with ashes and covered with soil. The storage duration was varied on when time was available for processing and ranged from 1 to 6 months. Commonly, the period of large-scale processing of oil occurred during the months of December to February after the crop harvest period. The seeds were dug up (Dp3) and shelling was done by hand using stones to crush the seeds, where after the kernels were extracted with a knife or similar suitable equipment (Dp4). The kernels obtained after shelling were grounded with a traditional millstone (Dp5). The resulting paste was prepared in the form of balls that were dried under sun (Dp6) for some duration varying according to the size of the balls (at least 1 day for small balls to several days for larger ones). After drying, the balls were cooked in a pot and mixed to a paste with addition of water or boiled plant extracts (Dp7). The commonly used plant extracts were mainly based on leaves from *Pavetta crassipes* (Rubiaceae), *Piliostigma reticulatum* (Fabaceae-Caesalpinioideae) and *Argemone mexicana* (Papaveraceae) called "kumu-ba", "gnama-bulu" and "ngoni-dièni" respectively in the local language, Bamanakan. According

to processors, the use of these additives was intended to stabilize the oil extraction. The oil was decanted from the paste (Dp8), cooled and stored in various materials.

3.3.2 The wet process (Wp)

The wet process (Wp) was practiced in Kountjila and Mourasso. It consisted in drying the collected seeds under sun and roasting them at a constant temperature in a traditional furnace (Wp1) commonly made in terra cotta and fuelled by a wood. Roasted seeds were commonly stored in jute bags or canaries (Wp2) and kept in specific shelters in the houses. The storage duration was ranged from 1 to 6 months depending on when time was available for processing. Similarly, to the dry method, the main processing period was during the months of December to February after crop harvest. For processing, the seeds were destocked (Wp3) (removed from storage) and the shell was broken manually using stones or other suitable equipment to extract the kernels (Wp4). The kernels were crushed and grounded with a traditional millstone or a conventional mill (Wp5). The paste obtained after crushing was mixed and churned by hands by periodically adding cold water until a whitish cream was obtained (Wp6). This white cream was heated in a pot to obtain the oil (Wp7), which was decanted to remove impurities (Wp8) and subsequently packaged in various materials. The churning process was commonly carried out very early in the morning during the cold season (from December to January) before the sunrise and could often be completed in

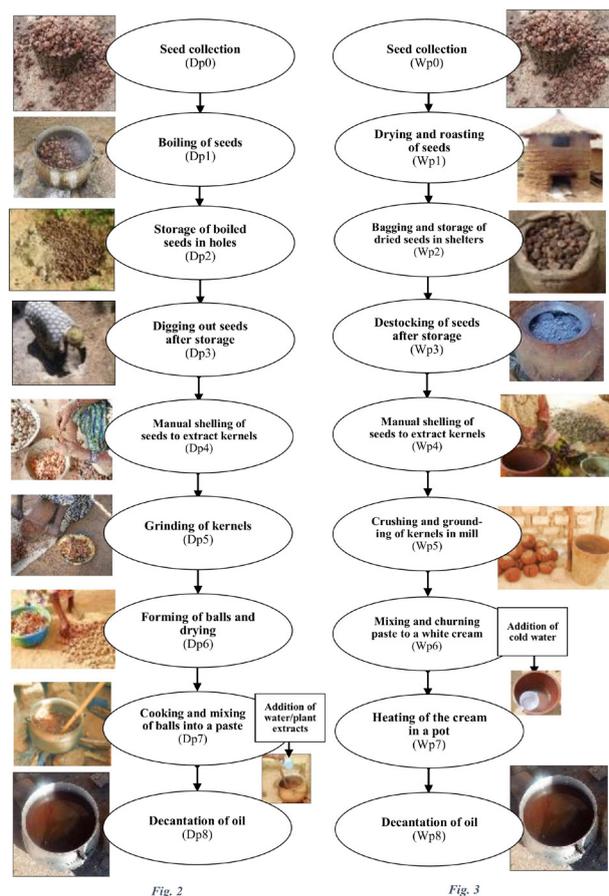


Fig. 2: Diagram of carapa oil extraction by dry process /Diagramme d'extraction de l'huile de carapa par voie sèche.

Fig. 3: Diagram of carapa oil extraction by wet process / Diagramme d'extraction de l'huile de carapa par voie humide

2 to 3 days. The women stated that the longer the duration of the churning, the higher the extraction efficiency.

Oil samples collected during the study showed a variation in coloration (Figure 4). Oil produced by the dry process had a darker coloration than that obtained by the wet process.

3.4 Oil extraction efficiency

The oil extraction efficiency ranged from an average of 21.16% in Koumabougou to 25.27% in Kountjila (Table 1). The wet extraction process average efficiency (25.02%) was higher than the dry process (21.80%).

3.5 Socio-cultural perceptions and constraints

Carapa oil production was considered of socio-cultural importance and several magico-mystical specificities were related to the production. The common perception was not to collect seeds and extract oil during menstrual periods for women in child-bearing age. This explains the common perception that carapa exploitation is more devolved for menopausal women. For this reason, it was also not permitted for a menstruating woman to step over the carapa seeds to avoid the risk that the seeds will not produce oil. These considerations relate to an assumption that carapa seeds will not tolerate blood. It was also reported that the processor must be free from criticism and reproaches and not be angry when



Fig. 4a



Fig. 4b

Fig. 4: Samples of oil produced by dry process (a) and by wet process (b) / Echantillons d'huiles produites par voie sèche (a) et par voie humide (b).

starting the oil production process. According to them, this perception refers to the state of purity that must be achieved in order to produce the oil successfully. This state of purity and cleanliness was also desired during the storage of seeds. For this reason, women say they keep seeds away from unsanitary conditions such as urine. It is also prohibited to steal or cheat during seed collection, otherwise the oil during processing will not be good.

However, despite compliance with most of these rules, it happens that during the processing stage, no oil is obtained. According to the producers, this situation is perceived as a sign of bad news that can affect the producer or her family and/or friends (i.e. diseases, accidents, deaths, tragic events or bad luck).

The main constraints mentioned by the processors are the drudgery associated with the processing due to the lack of adequate equipment and the decrease in the carapa trees, which reduces the potential for production.

4 DISCUSSION

Women are the main operators of carapa seeds collection and oil processing. It seems obvious in Africa that women are the main actors in the exploitation and processing of non-timber forest products (BUP & al. 2014; POULIOT 2012; NATTA & al. 2010; SAUSSEY & al. 2008; MBÉTID-BESSANE 2005). The producers were mainly older women. As WEBER & al. (2010) reported, the collection of carapa seeds in Mali occurs in May-June. There are constraints for women in this period as they are highly involved in agricultural activities and therefore forced to stock the collected seeds for a more suitable time for processing. Women collect seeds fallen in the ground, which is the commonly recommended method, because it ensures that the fruits have reached maturity and

Table 1: Oil extraction efficiency according to the extraction processes / Rendement d'extraction de l'huile en fonction des procédés.

Method	Study site	Number of samples	Extraction efficiency (%)		
			Mean	Minimum	Maximum
Dry process	Koumabougou	3	21.16 ± 1.09	19.85	23.33
	Ziékorodougou	3	22.43 ± 1.55	19.64	25.00
	Total	6	21.80 ± 0.89	19.64	25.00
Wet process	Kountjila	2	25.27 ± 0.82	24.44	26.09
	Mourasso	2	24.77 ± 0.96	23.81	25.74
	Total	4	25.02 ± 0.54	23.81	26.09

are suitable for production of high quality butter (AHOUSOU & al. 2012; NATTA & al. 2010; NOUMI & al. 2006; WOMENI & al. 2005; MBÉTID-BESSANE 2005; KAPSEU & al. 2002).

For storage, two methods of pre-treatment of carapa seeds (boiling and drying) were practiced. These methods are comparable to those of shea nuts described by AHOUSOU & al. (2012). According to WEBER & al. (2010), the storage of boiled seeds in holes in the ground could facilitate the breakdown of the tegument and make the seed easier to peel. In comparison, the drying before storage of carapa seeds used by some women is not recommended by WOMENI & al. (2006) in the case of shea nuts, because it can cause biochemical modifications that affect the quality of the butter.

The two processes of carapa oil extraction are similar to those described for the production of shea butter by DAND-JOUMA & al. (2009). These traditional processes are labour-intensive, particularly for shelling. In general, traditional processing methods are slow and labour-intensive (GRACE & al. 2009).

The drying stage of balls made from grinded carapa kernels during dry process is varies in duration, ranging from 1 day to 4 weeks (WEBER & al. 2010). However, the practice of some women of drying balls on the ground exposes the balls to a range of impurities, which is not good practice according to AHOUSOU & al. (2010). As found in this study, the use of plant ingredients to stabilize the production was also reported by WEBER & al. (2010).

In the case of wet extraction, water temperature and frequency of water addition influenced the duration and water requirements in the churning process (SON & al. 2012). A correlation between churning duration and extraction efficiency was also found (BADOUSSI & al. 2015). The extraction efficiency of carapa oil in this study was comparable to that obtained by KAPSEU & al. (2002) in the extraction of safou oil (*Dacryodes edulis*) in the range of 23-28% by manual press.

The visual appreciation of the quality of oil showed a difference in the colouring. Traditional oil production is generally not uniform (KAPSEU 2009). The variation in physico-chemical characteristics was found to be related to the duration and temperature of the roasting and frying process (BADOUSSI & al. 2015). These statements indicate a need for quality standards in the production of carapa oil and it has been argued that production should ensure safety and quality standards whether the product is intended for food

or other uses, for local markets or for export (GRACE & al. 2009). A compliance of oil products with quality and safety standards can provide protection not only to the consumer but is crucial for export markets.

5 CONCLUSION

The study has highlighted two traditional processing methods for extracting carapa oil, the dry and the wet processes. The wet process was the most efficient with an average efficiency of 25%. However, it is necessary to perform a more in-depth comparative analysis to determine the influence of treatment and seed storage techniques on the physico-chemical characteristics and quality of the oil produced and also to estimate the financial profitability of the two processes of carapa oil.

The promotion of carapa oil production for the benefit of local communities could be improved by: improving processing by introducing appropriate technologies such as shea presses to increase extraction efficiency and quality of oil, educating women in the best practices, promoting carapa domestication strategies to increase seed availability and continuous supplies and ensure sustainable use.

Acknowledgements

The work was funded Qualitree (Danida 10-002AU) and Treefood (Agropolis, Cariplo and Carasso Foundations' Thought for Food Initiative). Authors sincerely thank all participants in the study villages for their frank cooperation and knowledge sharing.

Conflict of interest statement

Authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

- AHOUSOU R, DOHOU VIDEONON B, FANDOHAN P, SOGLO A, KOUMASSA L, KLOTOÉ A, AGNILA B, ADÉOTI R, COULIBALY O, KOUDANDÉ OD & MENSAH GA (2010): Bonnes pratiques de production, de transformation et de commercialisation des amandes et du beurre de karité. Fiche technique.
- AHOUSOU RH, HOUSSOU P, DAN CBS, AGBOBATINKPO P, ADÉKAMBI S, GNONLONFIN GJB, FANOU L, KOUMASSA L, HELL K, ADÉOTI R, COULIBALY O, VIDÉGNON BD, AHOUSOU AL, FANDOHAN P, KOUDANDÉ OD, MENSAH GA, DOHOU VIDÉGNON B, AHOUSOU AL, FANDOHAN P, KOUDANDÉ OD & MENSAH GA (2012): Savoir-faire endogènes pour la valorisation du fruit de karité au Bénin en Afrique de l'Ouest. Bull la Rech Agron du Bénin 71:38-45.
- BADOUSSI E, AZOKPOTA P, MADODÉ YE, AMOUSSOU BF, TCHOBO FP, KAYODÉ APP, DOSSOU A, SOUMANOU MM &

- HOUNHOUGAN DJ (2015): Effet des opérations unitaires d'extraction sur le rendement et la qualité du beurre de *Pentadesma butyracea* produit en milieu traditionnel au Bénin. *J Appl Biosci* 86:7976–7989.
- BUP DN, MOHAGIR AM, KAPSEU C & MOULOUNGUI Z (2014): Production zones and systems, markets, benefits and constraints of shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) butter processing. *Oilseeds fats Crop Lipids* 21:1–5. doi: 10.1051/ocl/2013045.
- DANDJOUA AKA, ADJIA HZ, KAMENI A & TCHIÉGANG C (2009): Procédés traditionnels de production et circuit de commercialisation du beurre de karité au Nord-Cameroun. *Tropicicultura* 27:3–7.
- DEMBÉLÉ U, KONÉ Y, TÉMÉ B, LYKKE AM & KOUYATÉ AM (2016): Préférences ethnobotaniques des espèces ligneuses locales exploitées pour la production d'huile végétale dans le cercle de Sikasso, Mali. *Afrika Focus* 29:49–65.
- DEMBÉLÉ U, LYKKE AM, KONÉ Y, TÉMÉ B & KOUYATÉ AM (2015): Use-value and importance of socio-cultural knowledge on *Carapa procera* trees in the Sudanian zone in Mali. *Ethnobiol Ethnomedicine* 11:1–10. doi: 10.1186/1746-4269-11-14.
- DJENONTIN TS, WOTTO VD, AVLESSI F, LOZANO P, SOHOUNHLOUÉ DKC & PIOCH D (2012): Composition of *Azadirachta indica* and *Carapa procera* (Meliaceae) seed oils and cakes obtained after oil extraction. *Ind Crops Prod* 38:39–45. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.01.005.
- DOLIGEZ A & JOLY HI (1997): Mating system of *Carapa procera* (Meliaceae) in the French Guiana tropical forest. *Am J Bot* 84:461–470.
- FAO (1996): Arbres du terroir pour l'alimentation. Projet GCP/RAF/303/ITA, Forêt et sécurité alimentaire en Afrique Sahélienne, Sikasso.
- GRACE OM, BORUS DJ & BOSCH CH (2009): Oléagineux de l'Afrique tropicale. Conclusions et recommandations basées sur PROTA 14: "Oléagineux". [Traduction de: Vegetable oils of Tropical Africa. Conclusions and recommendations based on PROTA 14: 'Vegetable oils'. 2008]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas, pp 1–86.
- GUÈYE M, KENFACK D & FORGET P-M (2009): Importance socio-culturelle, potentialités économiques et thérapeutiques du Carapa (Meliaceae) au Sénégal. In: X. van der Burgt, J. van der Maesen & J.-M. Onana (eds), Systematics and conservation of African plants. Royal Botanic Gardens, Kew, pp 357–365.
- HAHN K, SCHMIDT M & THIOMBIANO A (2018): The use of wild plants for food: a national scale analysis for Burkina Faso (West Africa). *Flora Veg Sudano-Sambesica* 21:25–33. doi: 10.21248/fvss.21.57.
- JIOFACK T, FOKUNANG C, KEMEUIZE V, FONGNZOSSIE E, TSABANG N, NKUINKEU R & NKONGMENECK BA (2008): Ethnobotany and phytopharmacopoea of the South-West ethnobotanical region of Cameroon. *J Med Plants Res* 2:197–206.
- KALINGANIRE A, WEBER JC, UWAMARIYA A & KONÉ B (2007): Improving rural livelihoods through domestication of indigenous fruit trees in the parklands of the Sahel. *Fruit trees* 10:186–203.
- KAPSEU C (2009): Production, analyse et applications des huiles végétales en Afrique. *Oilseeds fats Crop Lipids* 16:215–229.
- KAPSEU C, AVOUAMPO E & DJEUMAKO B (2002): Oil extraction from *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam fruit. *For Trees Livelihoods* 12:97–104. doi: 10.1080/14728028.2002.9752413.
- KOUYATÉ AM, DEMBÉLÉ U & LYKKE AM (2015): Les espèces ligneuses locales à huile : une ressource utile pour les communautés locales au Sud du Mali. *Int J Biol Chem Sci* 9:2754–2763.
- MAIGA AS (2001): Situation des ressources génétiques forestières du Mali. In: Atelier sous-régional FAO/IPGRI/CI-RAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne. Ouagadougou, 22-24 sept. 1998.
- MBÉTID-BESSANE E (2005): Caractérisation du marché des huiles de karité en Centrafrique. *Tropicicultura* 23:141–145.
- NATTA A, SOGBÉGNON R & TCHOBO F (2010): Connaissances endogènes et importance du *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) pour les populations autochtones au Nord Ouest Bénin. *Fruit, Veg Cereal Sci Biotechnol* 4:18–25.
- NOUMI GB, DANDJOUA AKA, KAPSEU C & PARMENTIER M (2006): Le savoir-faire local dans la valorisation alimentaire des fruits du safoutier (*Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam) au Cameroun. *Tropicicultura* 24:58–62.
- NOUMI GB, NGAMENI E, KAPSEU C & PARMENTIER M (2002): Variation de la composition en acides gras et en triglycérides de l'huile des fruits de l'aïélé en fonction des conditions d'extraction et de la couleur du fruit. *La Riv Ital Delle Sostanze Grasse* 79:315–318.
- OUÉDRAOGO A, LYKKE AM, LANKOANDÉ B & KORBÉOGO G (2013): Potentials for promoting oil products identified from traditional knowledge of native trees in Burkina Faso. *Ethnobot Res Appl* 11:71–83.
- POULIOT M (2012): Contribution of "Women's gold" to West African livelihoods: the case of shea (*Vitellaria paradoxa*) in Burkina Faso. *Econ Bot* 66:237–248.
- SANOGO S & SACANDÉ M (2007): *Carapa procera* DC. Seed Leaflet. Forest & Landscape Denmark, Hørsholm.
- SOUSSEY M, MOITY-MAIZI P & MUCHNIK J (2008): Nouvelles formes de reconnaissance des femmes burkinabè dans la production de beurre de karité. *Cah Agric* 17:582–586.
- SON G, YE SG & KABORE A (2012): Besoins et pratiques du dosage de l'eau du procédé d'extraction du beurre de karité par arratage. *J la Rech Sci l'Université Lomé* 14:45–52.
- SYLLA M, KONAN L, DOANNIO JMC & TRAORE S (2003): Evaluation de l'efficacité de lotions et de crèmes à base d'huiles de coco (*Cocos nucifera*), de palmiste (*Eleais guineensis*) et de gobi (*Carapa procera*) dans la protection individuelle contre les piqûres de *Simulium damnosum* s.l. en Côte d'Ivoire. *Bull la Société Pathol Exot* 96:104–109.
- VAN ANDEL T (2006a): Les produits forestiers autres que le bois d'œuvre. La valeur des plantes sauvages. In: *Agrodok* 39. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, 80 pages.
- VAN ANDEL T (2006b): Non-timber forest products. The value of wild plants. In: *Agrodok* 39. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, 69 pages.
- WEBER N, BIRNBAUM P, FORGET P, GUYE M & KENFACK D (2010): L'huile de carapa (*Carapa* spp., Meliaceae) en Afrique de l'Ouest: utilisations et implications dans la conservation des peuplements naturels. *Fruits* 65:343–354. doi: 10.1051/fruits/2010029.
- WOMENI HM, KAMGA R, TCHIEGANG C & KAPSEU C (2002): Extraction du beurre de karité: influence du séchage des

amandes et de la technique d'extraction. *La Riv Ital Delle Sostanze Grasse* 79:33–37.

WOMENI HM, NDJOUENKEU R, KAPSEU C, MBIAPO FT, PARMENTIER M & FANNI J (2006): Effet de la cuisson et du séchage des noix de karité (*Butyrospermum parkii* (G . Don) Kotschy) sur la qualité du beurre. *Tropicultura* 24:175–182.

WOMENI HM, TCHAGNA DT, NDJOUENKEU R, KAPSEU C, MBIAPO FT, LINDER M, FANNI JJ & PARMENTIER M (2005): Influence des traitements traditionnels des graines et amandes de karité sur la qualité du beurre. Notes techniques: Food Africa, Yaoundé.

Filière des produits à usage médicinal issus de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* au Sénégal

Received: 2019-11-15; revised: 2019-12-12; accepted: 2019-12-17

Sara Danièle Dieng^{1*}, Fatimata Niang-Diop¹, Mamadou Diop¹, Assane Goudiaby¹, Bienvenu Sambou¹, Anne Mette Lykke²

¹ Institut des Sciences de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-Fann, Sénégal

² Department of Bioscience, Aarhus University, Silkeborg, Denmark

* Auteur correspondant; adresse Email: saradieng@gmail.com

Résumé: Cette étude avait pour objectifs: 1) d'identifier et de caractériser les acteurs impliqués dans la filière des produits à usage médicinal tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* au Sénégal; 2) d'analyser l'organisation de cette filière et l'importance des parties utilisées; 3) d'analyser la commercialisation de ces produits; 4) d'identifier les forces, faiblesses, opportunités et menaces de la filière. L'échantillonnage en boule de neige a été utilisé et a permis d'interroger, à l'aide de guides d'entretien 13 tradipraticiens locaux, 3 récolteurs et 17 herboristes. Les résultats ont révélé que les acteurs de cette filière, majoritairement des hommes, entretenaient des relations de coopération et qu'ils bénéficiaient de l'appui de la société civile en termes de formation et d'organisation. Les racines et les écorces de *Cordyla pinnata* et *Detarium microcarpum* étaient plus utilisées tandis que celles de *Detarium senegalense* étaient peu commercialisées. Les écorces, les racines et les feuilles étaient vendues entre 0,108 et 0,290 Euro/100g. Une partie des écorces était transformée en poudre avant d'être commercialisée chez les herboristes entre 1,046 Euro/100g (pour *Cordyla pinnata*) et 1,524 Euro/100g (*Detarium microcarpum*). Les prix étaient plus élevés à Dakar. Les parties tirées de *Cordyla pinnata* étaient essentiellement utilisées contre les parasitoses intestinales tandis que celles de *Detarium microcarpum* et dans une moindre mesure celles de *Detarium senegalense* servaient à soigner les dermatoses. Les faiblesses de cette filière concernaient essentiellement l'exploitation anarchique de la ressource et la raréfaction saisonnière de certains produits tandis que l'éloignement des sites d'approvisionnement menaçait son bon fonctionnement.

Mots clés: *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum*, *Detarium senegalense*, filière, produits à usage médicinal, Sénégal.

VALUE CHAIN OF PRODUCTS FOR MEDICINAL USE DERIVED FROM *CORDYLA PINNATA*, *DETARIUM MICROCARPUM* AND *DETARIUM SENEGALENSE* IN SENEGAL

Summary: The objectives of this study were: 1) to identify and characterize actors involved in products for medicinal value chain of *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* and *Detarium senegalense* in Senegal; 2) to analyze the organization of this value chain and the importance of plant parts used; 3) to analyze the commercialization of these products; 4) to identify the strengths, weaknesses, opportunities and threats of the value chain. Snowball sampling was used and allowed to interview, using interviews guides, 13 local healers, 3 harvesters and 17 herbalists. Results showed that actors involved in this value chain collaborated together and benefit from the support of civil society in terms of training and organization. The roots and bark of *Cordyla pinnata* and *Detarium microcarpum* were the most widely used while those of *Detarium senegalense* were poorly commercialized. Bark, roots and leaves were commercialized between 0.108 and 0.290 Euro/100g. Part of the bark was transformed into powder before being marketed among herbalists between 1.046 Euro/100g (for *Cordyla pinnata*) and 1.524 Euro/100g (*Detarium microcarpum*). Selling prices were higher in Dakar. Plant parts derived from *Cordyla pinnata* were mainly used against intestinal parasites while those of *Detarium microcarpum* and, to a lesser extent, those of *Detarium senegalense* were used to treat dermatosis. This value chain was faced with weaknesses such as uncontrolled exploitation of the resource and the seasonal scarcity of certain products while long distance from supply sites threatened its good functioning.

Keywords: *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum*, *Detarium senegalense*, products for medicinal use, Senegal, value chain.

1 INTRODUCTION

Les écosystèmes naturels fournissent aux populations des ressources utilisées à des fins diverses: alimentaires, artisanales, médicales et spirituelles (LYKKE & al. 2004, IPBES 2019). Quatre milliards de personnes dans le monde dépendent des médecines naturelles pour leur santé (IPBES 2019). En Afrique, les plantes occupent une place de choix dans la santé humaine (ASSOGBADJO & al. 2010, GUEYE & al. 2012, WITTIG & al. 2013). Dans des pays comme le Bénin et le Burkina Faso, plus de 30% des plantes vasculaires sont utilisées à titre aromatique ou médicinal (SIEGLSTETTER & al. 2011, WITTIG & al. 2013). En plus de leur utilisation dans la médecine traditionnelle, de nombreux extraits de plantes sont utilisés dans l'industrie pharmaceutique pour la fabrication de médicaments modernes et font l'objet d'un commerce international (CUNNINGHAM & MBENKUM 1993, COPPEN 1995). Malgré l'importance économique des plantes dans la santé humaine, peu d'études s'intéressent aux filières des produits à usage médicinal d'origine végétale (VADOUHÉ & al. 2008, BOOKER & al. 2012). Parmi celles qui concernent l'Afrique, la plupart des études se concentrent sur le Formule 21'analyse de leurs caractéristiques chimiques (DE WET & VAN WYK 2007, BAKWAYE & al. 2013, DIATTA & al. 2013, DIBONG & al. 2015, FALL & al. 2017). Toutefois, le profil des personnes qui utilisent ces médicaments, les sources d'approvisionnement ainsi que l'organisation de la filière créée à partir de leur commercialisation restent pour la plupart peu connus (ALBUQUERQUE & al. 2007). Ces éléments nous amènent à étudier la filière des produits à usage médicinal tirés de trois espèces ligneuses de grande importance socio-économique dans la zone soudanienne sénégalaise. Il s'agit de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*. Cette étude, qui s'intéresse aux maillons de la récolte et de la commercialisation, se fixe comme objectifs: 1) d'identifier et de caractériser les acteurs impliqués dans la filière de ces produits à usage médicinal; 2) d'analyser l'organisation de cette filière et l'importance des parties utilisées, 3) d'analyser la commercialisation de ces produits; et 4) d'identifier les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces de la filière.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Zone d'étude

La présente étude a été réalisée dans trois sites: 1) la Forêt Classée de Patako et sa périphérie, 2) des marchés des centres urbains de Kaolack et 3) de Dakar (Fig. 1).

La Forêt Classée de Patako est localisée entre 13°40' et 16°15' Ouest, dans la région de Fatick. Le climat est marqué par l'alternance d'une saison sèche de novembre à juin et d'une saison pluvieuse, de juillet à octobre. La moyenne pluviométrique dans la période de 1983 à 2013 était de 753 mm (DIENG 2017). Les types de végétation présentes dans cette forêt sont la savane arborée à arbustive, la savane boisée à proximité des vallées, la forêt galerie dans les vallées et la mangrove dans les zones humides saumâtres (SAMBOU 2004). La population est majoritairement constituée de wolofs (plus de 60%) et de mandingues (environ 18%). L'agriculture est la principale activité socio-économique

avec comme principales cultures le mil, l'arachide, le maïs et le sorgho.

La ville de Kaolack, située au cœur du Bassin Arachidier, au centre-ouest du Sénégal et à environ 95 km de la Forêt Classée de Patako, joue un rôle important dans le commerce intérieur et extérieur du Sénégal. Sa position centrale en fait un passage obligé vers les régions nord et sud du pays et vers les autres pays limitrophes (Gambie, Guinée Bissau, Guinée Conakry et Mali). Trois marchés ont été visités pour la collecte des données. Le marché central et le marché Guedj sont situés au quartier Léona entre 14°13' Nord et 16°07' Ouest. Le marché Médina, pour sa part, est situé entre 14°09' Nord et 16°03' Ouest, dans le quartier de Médina Baye.

La région de Dakar est située dans la presqu'île du Cap Vert et couvre une superficie de 550 kilomètres carrés. Située à environ 260 km de la Forêt Classée de Patako, cette région comptait 3137196 habitants en 2013 (ANSD 2015). L'activité commerciale y est dominée par le secteur informel qui est essentiellement animé par des personnes issues des zones rurales. Un marché a été visité à Dakar. Il s'agit du marché Tilène, situé entre 14°68' Nord et 17°44' Ouest dans la commune de la Médina, département de Dakar.

2.2 Matériel d'étude

Cordyla pinnata (A.Rich.) Milne-Redh. est un arbre de la famille des Fabacées qui pousse dans les savanes soudanaises et les forêts sèches (KERHARO & ADAM 1974, ARBONNIER 2019). Son fruit est une baie charnue, de forme plus ou moins sphérique et qui devient jaune à maturité. Dans la Forêt Classée de Patako, sa densité moyenne est estimée à 9 individus à l'hectare (SAMBOU 2004) contre 1 individu à l'hectare en zone de terroir périphérique (CHRISTENSEN 2010). *Cordyla pinnata* est la principale espèce agroforestière de la zone (DIOP & al. 2012). Son caractère multi-usages dans la zone d'étude (DIENG & al. 2016) justifie que l'on s'intéresse davantage à ses usages dans la médecine traditionnelle qui peuvent être des facteurs de dégradation du peuplement suivant la partie de la plante utilisée et l'intensité dans les prélèvements.

Detarium microcarpum Guill. & Perr. est aussi un arbre de la famille des Fabacées (Fig. 2). Ses fruits charnus sont ovoïdes et contiennent une pulpe farineuse et verdâtre. Son aire de répartition s'étend de l'axe Sénégal-Cameroun jusqu'au Soudan. *Detarium microcarpum* fait l'objet de différentes utilisations. Son fruit, ses feuilles et ses fleurs entrent dans l'alimentation, tandis que ses feuilles, écorces, racines, amandes, entrent dans la médecine traditionnelle (ARBONNIER, 2019, KOUYATÉ 2005). Dans la Forêt Classée de Patako, *Detarium microcarpum* a une population stable, marquée par une abondante régénération naturelle (SAMBOU, 2004). En 2004, sa densité moyenne a été évaluée à 3 individus à l'hectare (SAMBOU, 2004). Elle est peu présente en zone de terroir. L'espèce fait l'objet d'une exploitation plus ou moins anarchique dans la zone, guidée notamment par ses propriétés thérapeutiques; ce qui justifie son choix dans cette étude.

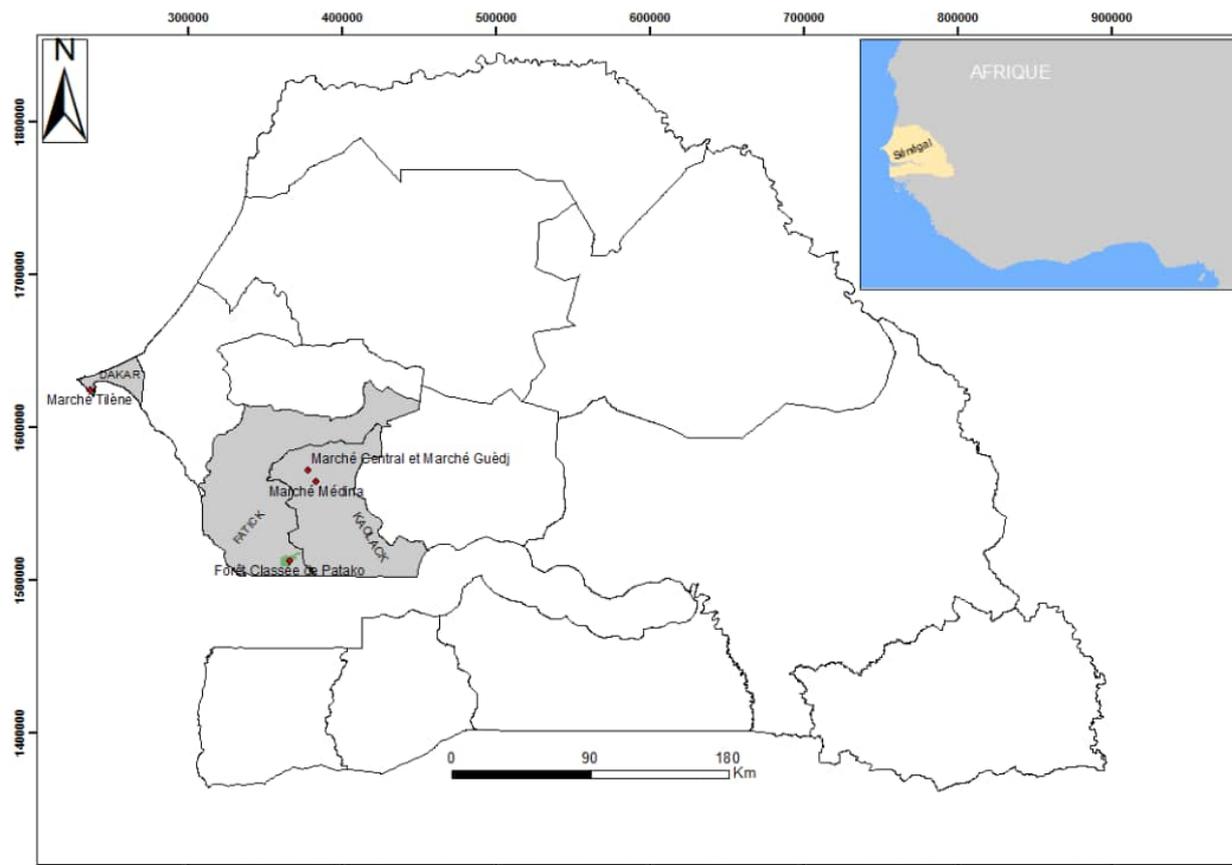


Fig. 1: Localisation des sites d'étude/ Location of study sites/ Standort der Untersuchungsorte .

Detarium senegalense J.F. Gmel., un arbre fruitier de la même famille que *Detarium microcarpum*, a une aire de répartition qui s'étend du Sénégal au Soudan (ROUSSEL 1995, ARBONNIER 2019). Dans la zone couverte par la présente étude, l'espèce est localisée le long des vallées à l'intérieur de la Forêt Classée de Patako et dans sa périphérie. Cependant, il n'existe pas encore d'informations quantitatives sur les caractéristiques de son peuplement dans la zone d'étude. *Detarium senegalense* est surtout exploité pour ses fruits riches en vitamine C. Certains individus de *Detarium senegalense* produisent des fruits toxiques, sans que l'on puisse les différencier scientifiquement (KERHARO 1974, ROUSSEL 1995, DIOP 2013). Cependant, les populations locales parviennent à les identifier à l'aide d'indicateurs tels que l'emplacement de l'arbre, l'abondance des fruits

non consommés sous son houppier et la saveur du fruit. L'exploitation des fruits est généralement marquée par de mauvaises pratiques dans la zone d'étude (cueillette de fruits non murs et élagage des arbres). En plus des fruits, certaines parties de l'arbre sont utilisées dans la médecine traditionnelle par les populations locales. D'où l'importance d'étudier l'intérêt médicamenteux de *Detarium senegalense* en vue de déterminer si, en dehors de la pression due à la cueillette des fruits, l'exploitation des autres parties de l'arbre constitue une menace pour la pérennité du peuplement.

2.3 Méthodes et outils de collecte des données

Cette étude s'intéresse aux personnes qui s'activent dans l'usage médicamenteux des plantes en milieu rural et dans cer-



Fig. 2: Individus de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*/ Individuals of *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* and *Detarium senegalense*/ Individuen von *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* und *Detarium senegalense*.

tains sites de commercialisation en zone urbaine. Il s'agit des guérisseurs traditionnels appelés 'tradipraticiens', des récolteurs et des herboristes.

La méthode d'identification des personnes à enquêter repose sur l'échantillonnage en boule de neige (RUSSEL 2006, MARTÍN-LÓPEZ & al. 2011). Elle consiste à impliquer le (ou les) premiers contacts rencontrés dans l'identification des prochaines personnes à enquêter. Cette méthode est généralement utilisée pour les études de filières et celles portant sur des populations mobiles, dispersées ou difficiles à situer (RUSSEL 2006).

Le choix des villages a été effectué à l'issue d'entretiens avec des personnes ressources. Ces dernières nous ont permis de localiser les villages où nous étions susceptibles de trouver le plus de tradipraticiens et plus spécifiquement le plus de phytothérapeutes. Dans chaque village, le chef de village et une personne ressource s'activant dans la médecine traditionnelle ont été mis à contribution pour identifier les acteurs qui sont impliqués dans cette activité. En fonction de la disponibilité de chacun et de sa disposition à participer à l'enquête, un entretien semi-structuré a été réalisé. Un total de 13 tradipraticiens et 2 récolteurs ont ainsi été interviewés à l'aide d'un guide d'entretien dans neuf localités situées dans un rayon de 5 kilomètres autour de la Forêt Classée de Patako. Des visites dans cette forêt et ses alentours ont permis d'observer des traces d'exploitation sur certains arbres.

A Kaolack, la même procédure a été utilisée, cette fois-ci avec l'aide du président de l'association des herboristes de la ville pour l'identification des premières personnes à interroger. Sur cette base, 12 herboristes et 1 récolteur ont pu être interrogés en différents endroits. A Dakar, 5 herboristes ont participé à l'enquête (Tableau 1).

Tableau 1: Répartition spatiale des acteurs interrogés/ Spatial distribution of the interviewed actors.

Acteurs	Périphérie FC de Patako	Kaolack	Dakar	Total
Tradipraticiens	13	0	0	13
Récolteurs	2	1	0	3
Herboristes	0	12	5	17
Total	15	14	5	33

Les questions évoquées avec les différents acteurs de la filière concernaient: la spécialité, les utilisations médicinales des parties des trois espèces, l'approvisionnement, la commercialisation, les prix d'achat et de vente ainsi que les contraintes.

Un échantillon des différentes parties commercialisées chez trois herboristes a été acheté et pesé à l'aide d'une balance électronique à précision de marque Sartorius 1205 afin d'estimer le poids des bottes et de la poudre vendues.

2.4 Traitement des données

La cartographie fonctionnelle des acteurs de la filière a été réalisée suivant le modèle de GTZ (2007). Les données collectées ont fait l'objet d'un dépouillement. Pour cha-

que informateur, un score de 1 a été affecté à chaque usage ou partie et celui de 0 en cas d'absence d'utilisation. L'importance relative des plantes étudiées a été estimée à partir d'indicateurs tels que la fréquence d'utilisation (F: Formule 1) des parties de chacune des plantes et la valeur consensuelle sur les types de maladies (CTU, inspirée de MONTEIRO 2006; Formule 2) utilisée pour évaluer le degré de consensus pour les parties exploitées et les maladies soignées (HEINRICH & al. 1998, MONTEIRO 2006, SCHUMANN & al. 2012, KABORÉ & al. 2014).

$$\text{Formule 1} \quad F = \left(\frac{S}{N}\right) 100$$

avec S: nombre d'informateurs qui ont répondu positivement à l'usage d'une partie et N: nombre total d'informateurs.

$$\text{Formule 2} \quad CTU = \left(\frac{TU}{Ut}\right) / S$$

avec TU: nombre de citations pour une maladie donnée; Ut: Nombre total de maladies citées par les acteurs et S: nombre de catégories de maladies auxquelles appartiennent les maladies citées.

L'ensemble des maladies citées ont été classées dans 9 groupes inspirés de la classification internationale des maladies (ATIH, 2018). Ces maladies sont liées: 1) au système digestif; 2) à la peau et aux tissus cellulaires; 3) au système génito-urinaire; 4) au système ostéo-articulaire; 5) aux maladies parasitaires et infectieuses; 6) aux signes et symptômes anormaux; 7) à la prévention; 8) aux maladies endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques et 9) aux autres maladies qui enregistrent chacune 1 citation.

3 RÉSULTATS

3.1 Les acteurs de la filière

Les principaux acteurs de la filière de commercialisation des produits à usage médicinale tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* sont constitués par les tradipraticiens et les récolteurs au niveau local, et les herboristes actifs dans la commercialisation en zone urbaine (Fig. 3).

Les tradipraticiens interrogés sont tous des hommes, âgés en moyenne de 57 ans avec un minimum de 40 ans et un maximum de 75 ans. En plus de maîtriser les vertus médicinales des espèces végétales, ils disposent généralement de connaissances sur les autres ressources naturelles pouvant soigner (espèces animales, eau et terre). Il y a souvent une dose de mysticisme et de secret dans leur travail, ce qui explique qu'ils soient parfois réticents à parler de leur métier. Ces tradipraticiens ont habituellement une spécialité pour laquelle ils sont reconnus par la communauté; même s'ils peuvent soigner d'autres maux. Ils se chargent généralement de la récolte des produits qu'ils utilisent dans leur activité et exercent leur métier à domicile avec des déplacements ponctuels dans d'autres localités du Sénégal et de la Gambie sur la demande de clients.

La récolte des produits à usage médicinal implique aussi bien les hommes que les femmes. Les premiers récoltent les racines et les écorces tandis que les femmes sont plutôt spé-

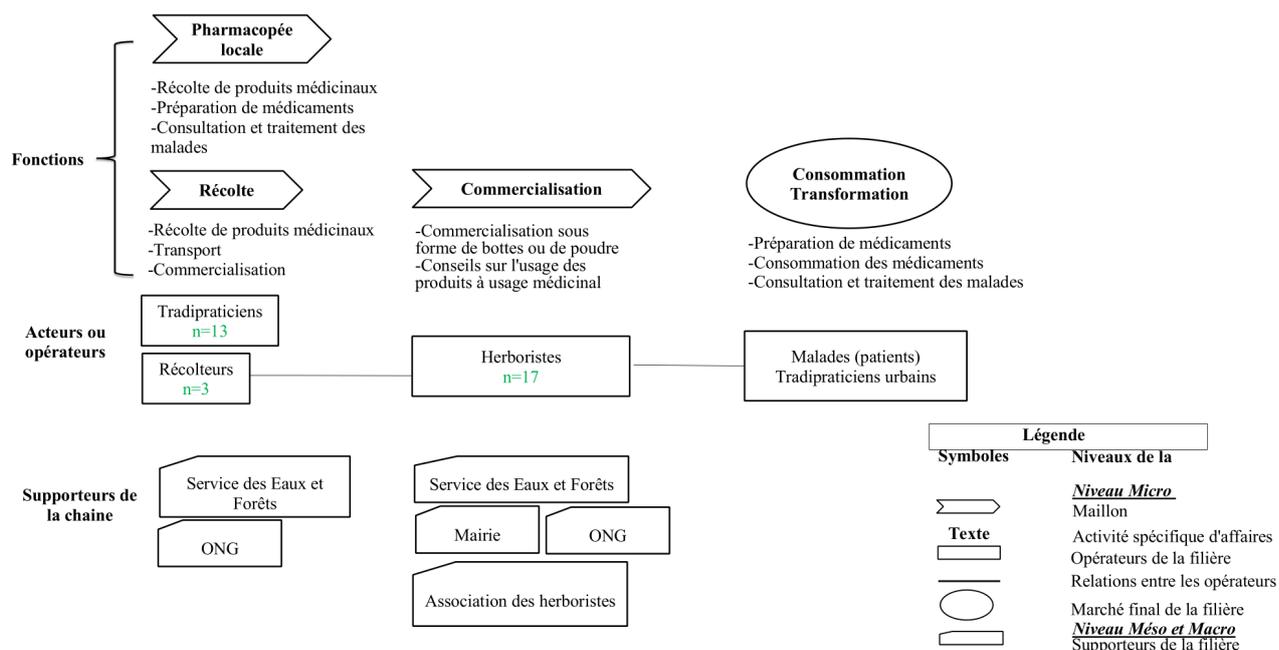


Fig. 3: Carte fonctionnelle des acteurs de la filière des produits médicinaux tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*/ Fonctional map of actors involved in the products for medicinal use value chain from *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* and *Detarium senegalense*/ Funktionsschema der Akteure im Arzneimittelsektor aus *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* und *Detarium senegalense*.

cialisées dans la récolte et la vente des feuilles. Les trois récolteurs interrogés sont des hommes âgés de 40 à 60 ans. Ils se chargent de récolter ces produits sur la demande de tradipraticiens et d'herboristes établis en ville ou pour les commercialiser eux-mêmes. Dans la Forêt Classée de Patako, l'activité est généralement clandestine car contraire au code forestier et les jours de récolte sont souvent influencés par les marchés hebdomadaires où sont échangés ces produits. Ces acteurs sont rémunérés soit en espèces, soit en nature. Dans ce dernier cas, des connaissances sur les vertus des plantes sont livrées aux récolteurs par les commanditaires. A côté des autochtones riverains de la Forêt Classée de Patako, d'autres acteurs habitant la périphérie des grandes villes telles que Kaolack en font une activité lucrative pendant la saison sèche. Ce sont essentiellement eux qui approvisionnent les herboristes en zone urbaine.

Les herboristes interrogés dans les marchés de Kaolack et Dakar sont essentiellement composés d'hommes et leur âge est compris entre 35 et 70 ans. La majorité des acteurs impliqués dans la commercialisation des produits à usage médicinaux des trois espèces sont soit d'ethnie mandingue et dialonké et originaires du Mali, soit ils sont wolof. Les peuls et les sérères sont peu représentés. Seules deux femmes ont été identifiées et interrogées à Kaolack dans ce maillon. Si les hommes se consacrent généralement à temps plein dans la commercialisation des produits végétaux à usage médicinaux, les femmes pour leur part, vendent plusieurs produits [tels que les fleurs de *Hibiscus sabdarifa* (bissap), les fruits de *Adansonia digitata* (baobab), la pâte d'arachide] à la fois; ce qui fait qu'elles ne remplissent pas toutes les conditions pour être considérées à part entière comme des herboristes. Cependant, avec l'accompagnement d'organisations de la société civile telles que Enda Santé, elles tendent à se spécialiser dans la commercialisation des produits végétaux à usage médicinaux et font partie de l'association des herbo-

ristes de Kaolack. Chaque herboriste a des fournisseurs fixes dans différentes localités du pays, chez qui il fait ses commandes. En cas de raréfaction de certains produits, il peut se rabattre sur ses collègues ou sur les récolteurs occasionnels qui sillonnent le marché pour écouler leurs produits.

La gouvernance de la filière des produits à usage médicinaux, de façon générale, laisse apparaître deux niveaux: le niveau interpersonnel et le niveau institutionnel. Le premier niveau concerne les relations entre acteurs dans la récolte et la commercialisation des produits à usage médicinaux, où des rapports de confiance et gagnant-gagnants sont établis. Au plan institutionnel, des organisations de la société civile appuient la filière à travers l'encadrement sur les techniques de récolte, d'entreposage et de conservation ainsi que dans le renforcement des capacités organisationnelles. Il s'y ajoute le rôle des services techniques, notamment celui des Eaux et Forêts qui se charge de veiller à la conformité des prélèvements avec les lois en vigueur, de contrôler et de recouvrer les taxes sur les produits prélevés. Les agents des Eaux et Forêts interviennent aussi bien dans les zones de prélèvement que dans les zones de débarquement des produits.

3.2 Organisation de la filière et importance des parties utilisées

L'analyse porte d'abord sur l'organisation de la filière des produits à usage médicinaux tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* en termes de lieu de collecte, de fréquences et de quantités, ensuite sur l'importance des parties utilisées et enfin sur leur commercialisation.

3.2.1 Organisation de la filière

La récolte des produits à usage médicinal comporte deux périodes: une période intense pendant la saison sèche (novembre à mai) et une période marquée par des approvisionnements sporadiques en saison des pluies (juin à octobre). La période intense coïncide avec la fin des travaux champêtres et l'amenuisement progressif des ressources des paysans qui doivent se tourner vers d'autres activités lucratives pour subvenir aux besoins de la famille et assurer l'éducation des enfants. Pour certaines espèces comme *Cordyla pinnata*, l'approvisionnement se fait généralement en zone de terroir alors que pour *Detarium microcarpum*, il faut souvent aller dans les aires protégées pour s'en procurer. Cependant, certains récolteurs et tradipraticiens parviennent à s'en procurer en zone de terroir. Concernant cette dernière espèce, toutes les catégories d'acteurs interrogées conviennent qu'il est devenu de plus en plus difficile de trouver de grands sujets de *Detarium microcarpum* susceptibles d'être écorcés et que les sites d'approvisionnement sont de plus en plus éloignés. Les prélèvements de produits issus de *Detarium senegalense*, se font aussi bien en zone de terroir que dans les aires protégées (Fig. 4). Cette période intense coïncide également avec la fructification et la maturation des fruits de ces espèces.



Fig. 4: Traces d'écorçage sur un individu de *Detarium senegalense* dans la zone d'étude/Traces from debarking on an individual of *Detarium senegalense* in the study area/ Rindenspuren an einer Individuum aus *Detarium senegalense* im Terroirbereich.

La période de moindre intensité dans la récolte correspond à la saison des pluies. A ce moment, la plupart des récolteurs sont occupés avec les travaux des champs tandis que les prélèvements des écorces et racines de *Cordyla pinnata* sont gênés par la présence des paysans dans leurs champs.

Il s'en suit des situations de pénurie chez les herboristes qui sont souvent obligés d'attendre plusieurs semaines avant de recevoir leurs commandes.

Néanmoins, la commercialisation est effectuée pendant toute l'année tandis que la fréquence d'approvisionnement dépend de l'offre et de la demande. Les herboristes s'approvisionnent en produits issus de *Cordyla pinnata* une à deux fois par mois alors que l'approvisionnement est hebdomadaire dans la plupart des cas pour ceux de *Detarium microcarpum*; ce qui traduit un intérêt plus poussé des populations vers cette dernière espèce. L'approvisionnement en ce qui concerne de *Detarium senegalense* se fait mensuellement car la demande est faible par rapport aux deux autres espèces.

3.2.2 Importance des parties de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*

Les produits issus de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* sont utilisés, à des degrés divers par toutes les catégories d'acteurs. Cependant, les parties tirées de *Detarium microcarpum* et *Cordyla pinnata* sont les plus utilisées aussi bien dans la pharmacopée locale que dans les sites de commercialisation. Les plus fortes fréquences d'utilisation sont notées pour les écorces de ces deux espèces pour lesquelles des valeurs supérieures à 80% et 90% sont observées respectivement chez les tradipraticiens et les herboristes (Fig. 5). Les racines de *Detarium microcarpum* sont également bien représentées dans l'activité des tradipraticiens et celle des herboristes avec des fréquences d'utilisation supérieures à 80%. Les fréquences d'utilisation des feuilles sont plus faibles que celles des écorces et des racines avec des valeurs plus élevées chez les

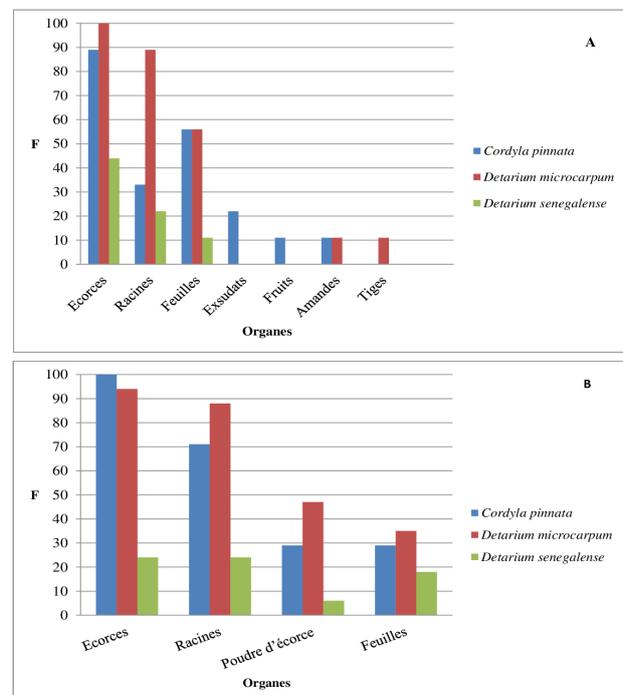


Fig. 5: Fréquences d'utilisation des parties des trois espèces chez les tradipraticiens (A) et chez les herboristes (B)/ Use frequency of parts of the three species by (A) traditional healers and (B) herbalists/ Häufigkeit der Nutzung von Organen der drei Arten durch traditionelle Heiler (A) und Kräuterkundige (B).

tradipraticiens (supérieures à 50%) que chez les herboristes (inférieures à 40%). Contrairement à *Cordyla pinnata* et *Detarium microcarpum*, les produits tirés de *Detarium senegalense* sont peu utilisés par les tradipraticiens et les herboristes. Pour cette dernière espèce, nos investigations montrent que c'est la variété toxique qui est surtout utilisée dans la médecine traditionnelle.

En dehors des écorces, des racines et des feuilles, les tradipraticiens emploient d'autres parties issues de ces trois espèces pour exercer leur activité tandis que les herboristes commercialisent beaucoup la poudre obtenue à partir des écorces (Fig. 5).

Les applications médicales de *Cordyla pinnata* et *Detarium microcarpum* sont plus diversifiées que celles de *Detarium senegalense* (Tableau 2). *Cordyla pinnata* et *Detarium microcarpum* sont plus reconnues pour leur action spéci-

fique contre un type d'affection alors que pour *Detarium senegalense* tel n'est pas le cas. Les degrés de consensus les plus élevés sont observés chez les herboristes pour l'action anti-parasitaire de *Cordyla pinnata* (CTU=0,39), l'action antifongique de *Detarium microcarpum* qui est utilisé contre les dermatoses (CTU=0,64) et pour les problèmes de nerfs (CTU=0,16). La seule utilisation médicinale identifiée par les herboristes pour *Detarium senegalense* concerne son utilisation contre les dermatoses (CTU=0,11). Les tradipraticiens s'accordent davantage sur le rôle de *Detarium microcarpum* dans le traitement des dermatoses (CTU=0,12).

3.2.3 Commercialisation des produits tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*

Les tradipraticiens et les herboristes reçoivent tous les types de clients quel que soit l'âge, l'ethnie, le sexe ou bien

Tableau 2: Principales utilisations médicales de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* identifiées par les acteurs de la filière/ Table 2: Main medicinal uses of *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* and *Detarium senegalense* identified by the actors of the value chain

Maladies/affections	Valeur consensuelle sur les types de maladies (CTU)					
	<i>Cordyla pinnata</i>		<i>Detarium microcarpum</i>		<i>Detarium senegalense</i>	
	Tp	He	Tp	He	Tp	He
Parasitoses intestinales	0,04	0,39	0,01	0,02		
Maux de ventre		0,04				
Difficultés à digérer		0,03				
Dermatoses (<i>kouli</i>)		0,03	0,12	0,64	0,02	0,11
Hémorroïdes	0,02		0,03	0,09		
Perte d'appétit		0,17				
Problèmes de nerfs				0,16		
Douleurs articulaires et Rhumatismes	0,01		0,01	0,11		
Fièvre		0,03				
Brulures			0,02			
Plaies			0,02		0,02	
Difficultés à uriner (homme et la femme)	0,01		0,02			
Enurésie (enfant qui fait pipi au lit)					0,02	
Enflures	0,02	0,04			0,02	
Conjonctivite	0,01					
Cancer					0,02	
Défaillance système immunitaire	0,01					
Prévention des épidémies (enfants)			0,01			
Prévention contre les poisons	0,01					
Carie dentaire et mauvaise haleine			0,02		0,02	
Hoquet	0,01					
Problèmes menstruels					0,02	
Problèmes de virilité chez l'homme			0,01			
Asthme	0,01					
Longues maladies			0,01			
Paralysie			0,01			
Bourdonnements d'oreilles + vertiges et sursauts	0,01					
Vomissements	0,01					
Kystes	0,01					
Diabète		0,04				
Total	0,16	0,76	0,26	1,02	0,17	0,11

Tp: tradipraticiens ; He: herboristes

l'appartenance socio-professionnelle. A ce titre, les herboristes identifient souvent leurs cantines à des « pharmacies » où chaque patient peut trouver ce dont il a besoin pour se soigner. Par contre, les récolteurs vendent essentiellement leurs récoltes aux herboristes et à des tradipraticiens établis dans les centres urbains.

Les tradipraticiens utilisent les plantes pour confectionner des médicaments remis aux patients. En échange, les patients locaux les rémunèrent généralement en argent, avec un maximum de 7,62 Euro. Ils peuvent aussi payer en nature (chèvre, poules ou mil) ou symboliquement par une poignée de sable. Quant aux patients étrangers, le paiement se fait uniquement en argent et la somme à payer dépend du type de maladie et de sa durée. Pour les longues maladies, les prix peuvent atteindre 144,34 Euro.

Dans les marchés de Kaolack et de Dakar, la commercialisation se fait par bottes d'environ 144 grammes pour les écorces de *Cordyla pinnata* et 155 grammes pour les racines. Les bottes d'écorces de *Detarium microcarpum* pèsent environ 156 grammes tandis que les racines font environ 105 grammes. La collecte n'a pas permis de disposer d'échantillons d'écorces et de racines de *Detarium senegalense* chez les herboristes qui n'en disposaient pas au moment de l'enquête.

Les prix moyens d'achat pour 100g montrent de légères différences en fonction des espèces, des parties et de la localité. Les herboristes achètent les produits chez les récolteurs à un prix compris entre 0,052 et 0,079 Euro/100g pour les écorces et entre 0,069 et 0,108 Euro/100g pour les racines (Tableau 3).

A leur tour, les herboristes commercialisent 100g d'écorces à un prix compris entre 0,108 et 0,212 Euro. Les racines sont vendues entre 0,108 et 0,290 Euro/100g. Les prix de la tasse remplie de poudre obtenue à partir des écorces sont plus élevés; soit 1,046 Euro/100g de poudre de *Cordyla pinnata* et 1,524 Euro/100g de poudre de *Detarium microcarpum*. Le client choisit la nature du produit en fonction des prescriptions obtenues ou bien en fonction de sa simple préférence. Dans l'ensemble, les prix de vente sont plus élevés à Dakar qu'à Kaolack.

3.3 Forces, faiblesses, opportunités et menaces de la filière

Les produits à usage médicinal des trois espèces font l'objet d'une forte demande à tous les maillons de la filière (Tableau 4).

La principale force recensée chez les acteurs de cette filière concerne leur étroite collaboration, notamment dans l'écoulement des produits. Cette collaboration se traduit également par la transmission de certaines connaissances sur les vertus médicinales des espèces indigènes et par la solidarité dans la vie sociale. En effet, les membres de l'association des herboristes se prêtent main forte dans les situations heureuses tout comme dans celles qui le sont moins. La possession de plusieurs récolteurs dans différentes régions est également une force dans la mesure où elle permet d'assurer la régularité des approvisionnements en produits médicinaux et de réduire les risques de rupture de stock.

Les opportunités de cette filière sont relatives à l'intérêt que lui portent les organisations de la société civile. En effet, le renforcement des capacités des acteurs par la société civile vise à mieux les professionnaliser par une meilleure organisation de la récolte et de la commercialisation des produits ainsi que par une meilleure prise en compte de l'hygiène et de la qualité des produits vendus. En dotant certains herboristes de kiosques, l'ONG Enda Santé leur permet d'entreposer leurs produits de sorte à réduire les risques de moisissures qui entravent la qualité. En plus de cela, cette ONG a joué un rôle fédérateur en renforçant la collaboration entre acteurs.

Les principales faiblesses identifiées dans cette filière sont liées à l'exploitation anarchique de la ressource, à l'irrégularité des approvisionnements, aux retards dans les livraisons des produits, au non-respect de la réglementation forestière et à la faible représentation des femmes dans la filière. L'exploitation anarchique consiste en l'écorçage et à la recherche abusive de racines qui conduisent parfois à la mort de l'arbre. Elle est facilitée par le caractère discret du prélèvement des produits à usage médicinal. En effet, la récolte de produits à usage médicinal doit généralement obéir à certaines exigences et se faire à l'abri de regards indiscrets au risque de perdre l'efficacité du produit. Chez les récolteurs, le prélèvement de produits à usage médicinal tirés de *Cordyla pinnata* en saison des pluies est rendu difficile par la présence des paysans qui n'apprécient pas que des individus inconnus traversent leurs champs déjà cultivés pour écorcer des arbres ou pour rechercher des racines. La

Tableau 3: Fréquence d'approvisionnement, prix d'achat et de vente des produits médicinaux tirés des trois espèces/ Table 3: Frequency of supply, purchase and sale prices of medicinal products from the three species.

Espèce	Fréquence d'approvisionnement	Nombre de bottes par achat et par herboriste	Prix moyen d'achat en Euro et par 100g				Prix moyen de vente en Euro et par 100g				Prix de vente en EURO par 100g
			Écorce		Racine		Écorce		Racine		
			Kaolack	Dakar	Kaolack	Dakar	Kaolack	Dakar	Kaolack	Dakar	
<i>Cordyla pinnata</i>	Hebdomadaire à mensuel	10 à 100	0,073	0,079	0,069	0,073	0,116	0,212	0,108	0,197	1,046
<i>Detarium microcarpum</i>	Hebdomadaire	15 à 200	0,052	0,073	0,098	0,108	0,108	0,195	0,162	0,290	1,524

Tableau 4: Analyse des atouts et des contraintes de la filière des produits médicinaux tirés des trois espèces/Analysis of the strengths and constraints of the medicinal products value chain derived from the three species.

		Herboristes	Récolteurs	Tradipraticiens
Atouts	Forces	Commercialisation de plusieurs médicaments à la fois	Collaboration avec les tradipraticiens	Collaboration avec les autorités médicales locales
		Activité saisonnière couplée à l'agriculture	Partage de connaissances avec les tradipraticiens	
		Possession de plusieurs récolteurs dans différentes régions		
		Collaboration entre acteurs		
	Opportunités	Forte demande	Formation sur les techniques de collecte	Forte demande en produits médicinaux traditionnels
		Assistance de Enda Santé pour l'organisation et l'équipement des acteurs		Formation des tradipraticiens par le district sanitaire de Sokone
		Formation aux techniques d'entreposage et de séchage des médicaments		
		Transformation des écorces en poudre		
Contraintes	Faiblesses	Faible représentativité des femmes dans l'activité et faiblesse de l'expérience des femmes	Exploitation anarchique de la ressource	Exploitation abusive (écorçage et recherche de racine)
		Retard dans la livraison des produits	Saisies des produits par les Eaux et Forêts	Obligation de cuisiner certains médicaments
		Non-respect des commandes par les récolteurs		
		Difficulté pour harmoniser les prix de vente		
		Manque de place pour les cantines des femmes dans les marchés		
		Etalage des produits à même le sol pour certains herboristes		
	Menaces	Difficulté à trouver la matière première	Eloignement des sites d'approvisionnement	Impact négatif des feux de brousse sur <i>Detarium microcarpum</i>
		Lenteurs dans l'écoulement des produits	Difficultés d'approvisionnement en saison des pluies	Baisse de l'utilisation de <i>Cordyla pinnata</i> dans la médecine traditionnelle
		Eloignement des sites d'approvisionnement pour <i>Detarium microcarpum</i>		Eloignement des sites d'approvisionnement
		Difficulté d'approvisionnement en produits de <i>Cordyla pinnata</i> en saison des pluies		
	Attaque des racines par des insectes			

conséquence immédiate est qu'ils sont obligés de se rabattre sur les massifs forestiers protégés, dont la plupart sont éloignés des sites visités. Cela se répercute sur les délais de livraisons des produits aux herboristes situés en villes. Ces retards de livraisons s'expliquent également par la saisie de la marchandise par les services forestiers pour non-paiement des taxes et par la profession des récolteurs dont la plupart sont des agriculteurs et ne s'activent dans la récolte de produits à usage médicinale que durant la saison sèche. En plus de leur sous-représentation, il est ressorti de l'étude que les femmes ont une expérience faible en matière de commercialisation de produits à usage médicinal. Elles bénéficient par contre du soutien de leurs collègues hommes, membres de l'association des herboristes avec qui elles collaborent.

L'éloignement des sites d'approvisionnement surtout pour *Detarium microcarpum*, l'inaccessibilité des arbres de *Cordyla pinnata* durant la saison des pluies, et la raréfaction de ces espèces liée surtout aux feux de brousse et aux activités

anthropiques constituent des menaces qui entravent la vitalité de cette filière. Selon plusieurs herboristes interrogés à Kaolack et à Dakar, les produits issus de *Cordyla pinnata* et *Detarium microcarpum* proviennent de la zone frontalière avec la Gambie et au-delà.

4 DISCUSSION

Cette étude a montré que les acteurs impliqués dans la filière des produits tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* sont surtout des hommes adultes (35-70 ans) et que les femmes sont peu représentées. Des tranches d'âge proches (30-70 ans) caractérisent également les tradipraticiens de la Mbanza-Ngungu en République Démocratique du Congo (BAKWAYE & al. 2013). La faible représentation des femmes pourrait s'expliquer par le mode de transmission des connaissances locales qui se fait souvent de père en fils (ATAKPAMA & al. 2012) et par cer-

taines exigences mystiques pour la collecte de certains produits à usage médicinal.

L'organisation de la filière des produits étudiés tourne autour de deux périodes et les prélèvements se font principalement dans les écosystèmes naturels et les agrosystèmes. L'approvisionnement en produits à usage médicinal dans les écosystèmes naturels est répandu au Sénégal (FAYE & al. 1996) et au Bénin (ADOMOU & al. 2012) où peu d'espèces médicinales sont domestiquées. Il se fait à une période où plusieurs espèces ligneuses sauvages bouclent le cycle de production fruitière avec la maturation de leurs fruits (GUEYE & al. 2014). Les acteurs des différents maillons entretiennent des relations de coopération; qui leur permettent d'une part, d'acquérir de nouvelles connaissances et, d'autre part d'assurer la régularité de l'approvisionnement tel que décrit par ALBUQUERQUE & al. (2007).

L'importance des parties des espèces ligneuses diffère en fonction des réalités socio-culturelles et de l'espèce. Les résultats obtenus dans la présente étude montrent par exemple que pour *Detarium microcarpum*, les écorces et les racines sont les plus utilisées alors qu'au Mali, les feuilles de la même espèce sont plus employées dans la médecine traditionnelle (KOUYATÉ & al. 2009). Dans les pharmacopées Malawite (BUNDSCHUH & al. 2011) et Namibienne (CHEIKHYOUSSEF & al. 2011) et dans les étals du Bénin (ADOMOU & al. 2012), les racines et les feuilles sont plus utilisées de façon générale.

L'action antiparasitaire est plus connue pour *Cordyla pinnata* alors que *Detarium microcarpum* est plutôt connue pour le traitement des problèmes dermatologiques appelés localement *kouli*. Diverses espèces indigènes sont aussi utilisées, à l'image de *Cordyla pinnata*, dans le traitement des parasitoses intestinales. Au Burkina Faso, les racines de *Sarcocephalus latifolius* sont utilisées à cet effet mais avec un niveau de consensus inférieur (CTU=0,029) à celui trouvé dans la présente étude pour *Cordyla pinnata* (KABORÉ & al. 2014). Par contre, chez *Cordyla pinnata* ce sont aussi bien les racines que les écorces qui sont utilisées pour traiter ces parasitoses. Les feuilles de *Adansonia digitata* sont aussi utilisées contre les parasites au Burkina Faso (SCHUMANN & al. 2012).

Le terme générique *kouli* renferme un ensemble d'affections multiples dont la plupart se manifestent par des problèmes dermatologiques. Ces problèmes dermatologiques touchent le plus souvent la peau, les muqueuses et les phanères (ATIHI 2018). Les résultats de LOUBAKI & al. (1999) ont en effet démontré que *Detarium microcarpum* a une grande importance médicinale avec une activité bactéricide contre plusieurs souches dont les staphylocoques. Cette importance peut être liée à l'acide kolavénique contenue dans ses feuilles et ses écorces et dont la forte inhibition de bactéries Gram-positif, telles que *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus* a été évoquée par CAVIN (2007). L'utilisation des parties de *Detarium microcarpum* contre les dermatoses avait déjà été signalée au Mali, chez les minianka (KOUYATÉ & al. 2009). Au Sénégal, au Bénin et au Maroc, des espèces comme *Carapa procera* (GUEYE & al. 2010), *Opuntia ficus-indica* (EL HILAH & al. 2016) et *Bombax costatum* (ASSOGBA & al. 2017) sont bien connues pour le traitement de dif-

férents types de dermatoses. Les vertus de *Detarium senegalense* semblent mal connues et l'espèce est peu représentée dans les étals des herboristes interrogés. Les écorces de *Detarium senegalense* sont, entre autres, connues au Nigéria pour leur action antispasmodique, antibactérienne, anti-oxydante, astringente et sont utilisées pour traiter notamment les hémorroïdes, les blessures, les brûlures, les inflammations, la diarrhée, les maux de ventre, les rhumatismes, les maux de tête, les douleurs menstruelles et le choléra (SOWEMIMO & al. 2011, UCHEGBU & OKWU 2012). Les extraits de xyloglucane contenus dans les amandes de cette espèce auraient des propriétés prometteuses pour le traitement de maladies de santé publique comme le diabète et le cancer (WANG & al. 1997 citant ELLIS 1994); ce qui pourrait justifier l'avis de ce tradipraticien qui accorde à *Detarium senegalense* des vertus contre le cancer. Cependant, vu que certaines plantes ont des composés toxiques (FALL et al. 2017), il convient de renforcer l'encadrement de cette filière.

Dans le domaine de la commercialisation, les résultats montrent, de façon générale, une harmonisation des prix pour les produits tirés des trois espèces et une différence dans les prix de vente pratiqués dans la capitale sénégalaise et les villes secondaires. Cette différence s'explique notamment par l'existence de réglementations propres aux acteurs de chaque marché et par les efforts de structures d'encadrement de la société civile pour harmoniser les prix de vente des produits médicinaux. Les montants plus élevés notés dans la capitale pourraient s'expliquer par les prix de transports liés à l'éloignement des sites de récolte ainsi que par la plus forte demande (DRAMÉ 2003).

En dépit de la forte demande dont ces produits font l'objet, de l'encadrement des acteurs de la filière et de la collaboration qu'ils entretiennent, il a été noté plusieurs menaces et faiblesses dans la filière des produits à usages médicinaux tirés de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense*. Parmi les menaces identifiées, la raréfaction de certaines espèces et l'éloignement des sites d'approvisionnement ont été évoquées. Cette raréfaction, également signalée par BUNDSCHUH & al. (2011), est en relation avec la perte de biodiversité notée en Afrique (IPBES, 2018) et dont les impacts se manifestent dans plusieurs aspects de la vie des communautés. En effet, en plus du fait que la plupart des prélèvements en plantes médicinales se font dans les formations végétales naturelles, l'effet de la commercialisation qui s'en suit induit souvent une surexploitation (CUNNINGHAM & MBENKUM 1993, FAO année indéterminée); ce qui constitue un risque pour la pérennité et la disponibilité de certaines espèces (OMS 2003). Dans la zone concernée par cette étude, cette exploitation anarchique est surtout observée sur les populations de *Detarium microcarpum* car les écorces et les racines sont très sollicitées dans la médecine traditionnelle. Cette forte demande avait déjà été soulignée par SAMB (2002). L'exploitation anarchique pourrait également contribuer à la raréfaction de l'espèce dans la plupart des formations végétales qui sont proches des grandes villes du pays et à l'obligation pour les récolteurs d'aller dans les forêts jouxtant les pays limitrophes pour s'approvisionner. Ainsi, les récolteurs d'écorces et de racines sont souvent indexés par certains tradipraticiens dans les villages pour expliquer l'exploitation abusive

de *Detarium microcarpum* à l'intérieur de la Forêt Classée de Patako et la modification de la structure de sa population qui était pourtant stable moins de vingt ans plus tôt (SAMBOU 2004).

L'importance des parties exploitées peut entraver la durabilité de la ressource. Dans cette étude, ce sont les écorces et les racines qui sont les plus utilisées. Or, il a été prouvé que le type de parties et les quantités prélevés ainsi que les méthodes d'extraction ont un impact sur la dynamique et la durabilité des peuplements naturels (PETERS 1997, GUEDJE CHAUNGUEU 2000). Ainsi, l'exploitation des feuilles demeure moins nocive pour les plantes que celle des racines et des écorces, lorsqu'elle est bien pratiquée (KOUYATÉ & al. 2009). Il est aussi admis que la capacité de cicatrisation des arbres après écorçage dépend de l'espèce, de la superficie écorcée et du diamètre du tronc de l'arbre (GUEDJE CHAUNGUEU 2000). Chez *Cedrelopsis grevei*, à Madagascar, une cicatrisation complète a été notée dans 84% des cas, alors qu'elle a été partielle lorsque le cambium a été touché (ANDRIANOELISOA 2013). Un écorçage sur toute la circonférence de l'arbre entraîne une destruction du système vasculaire et provoque sa mort (GUEDJE CHAUNGUEU 2000). Cependant, lorsque le tronc est totalement coupé à la hauteur du pied, à peu près comme cela a été observé dans la Forêt Classée de Patako avec *Detarium microcarpum* (DIENG & al. 2016), le développement de rejets peut être noté tel que décrit par GUEDJE CHAUNGUEU (2000). Or, puisque cette espèce régénère bien par rejets de souches (KOUYATÉ 2005), l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion participatif de la Forêt Classée de Patako devrait envisager une rotation dans son exploitation afin de lui permettre de se régénérer. L'application et la vulgarisation de techniques de récolte moins nocives pour l'arbre peuvent aussi être envisagées comme cela est recommandé pour *Cedrelopsis grevei* pour laquelle un écorçage en bandes proportionnelles au diamètre du tronc de l'arbre est préconisé (ANDRIANOELISOA 2013).

5 CONCLUSION

Le fonctionnement de la filière étudiée est lié au calendrier agricole du Sénégal. La récolte des produits à usage médicinal est généralement une activité d'appoint, qui permet aux acteurs impliqués d'avoir des sources de revenus complémentaires à l'agriculture; ce qui a des répercussions sur toute la filière. La récolte et la commercialisation des différentes parties de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* est essentiellement assurée par les hommes. Cependant, les interventions d'une ONG ont permis de renforcer les capacités des femmes en vue de leur meilleure implication dans cette filière. Les utilisations médicinales de *Cordyla pinnata*, *Detarium microcarpum* et *Detarium senegalense* sont diversifiées et concernent principalement les écorces, les racines et les feuilles qui sont, dans l'ensemble prélevés dans les écosystèmes naturels et dans les agrosystèmes. A la lumière de la dégradation des écosystèmes naturels, surtout forestiers notée ces dernières années au Sénégal et ailleurs en Afrique, cette étude permet de s'interroger sur la durabilité de cette filière et sur les impacts potentiels de la dégradation des écosystèmes naturels sur la santé des populations. En effet, l'exploitation à gran-

de échelle des parties vitales des plantes ainsi que les mauvaises pratiques compromettent la survie des arbres et constituent une menace pour le bon fonctionnement de la filière. Afin de mieux tirer profit de ces ressources médicinales, il convient d'appuyer les actions de certaines ONG ainsi que la recherche scientifique pour une meilleure domestication de certaines espèces de plantes utilisées dans la médecine traditionnelle. Des recherches devraient également être menées afin d'identifier des seuils d'exploitation durables pour les principales parties des espèces végétales utilisées dans la médecine traditionnelle.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet UNDESERT « *Understanding and Combating Desertification to Mitigate its Impact on Ecosystem Services* » (EU FP7 243906).

REFERENCES

- ADOMOU AC, YEDOMONHAN H, DJOSSA B, LEGBA SI, OUMOROU M & AKOEGNINOU A (2012): Etude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. *Int J Biol Chem Sci* 6: 745-772.
- ALBUQUERQUE UP, MONTEIRO JM, RAMOS MA & DE AMORIM ELC (2007): Medicinal and magic plants from a public market in northeastern Brazil. *J Ethnopharmacol* 110: 76-91.
- ANDRIANOELISOA H (2013): La valorisation et l'exploitation non destructive des écorces de *Cedrelopsis grevei*. Rôle et place des transferts de gestion des ressources naturelles renouvelables dans les politiques forestières actuelles à Madagascar. CIRAD-00933941: 8 p.
- ANSD (2015): Situation économique et sociale régionale 2013. SRSD de Dakar, 129 p.
- ARBONNIER M (2019): Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Quae, Versailles, 776 p.
- ASSOGBA GA, FANDOHAN AB, SALAKO VK, ASSOGBADJO AE (2017): Usages de *Bombax costatum* (Malvaceae) dans les terroirs riverains de la réserve de biosphère de la Pendjari, République du Bénin. *Bois For Trop* 333 (3): 17-29.
- ASSOGBADJO AE, KAKAÏ RG, ADJALLALA FH, AZIHOU F, VODOUHÉ GF, KYNDT T, THIMOTHÉE J & CODJIA C (2010): Ethnic differences in use value and use patterns of the threatened multipurpose scrambling shrub (*Caesalpinia bonduc* L.) in Benin. *J Med Plant Res* 5: 1549-1557.
- ATAKPAMA W, BATAWILA K, DOURMA M, PEREKI H, WALA K, DIMOBE K, AKPAGANA K & GBEASSOR M (2012): Ethnobotanical knowledge of *Sterculia setigera* Del. in the sudanian zone of Togo (West Africa). *ISRN Botany* 2012: 8p.
- ATIH (2018): Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes, Volume 1, Table analytique Édition 2018, 927p.
- BAKWAYE FN, TERMOTE C, KIBUNGU K & VAN DAMME O (2013): Identification et importance locale des plantes médicinales utilisées dans la région de Mbanza-Ngungu, République Démocratique du Congo. *Bois For Trop* 316(2): 63-77.
- BOOKER A, JOHNSTON D & HEINRICH M (2012): Value chains of herbal medicines-Research needs and key challenges in the context of ethnopharmacology. *J Ethnopharmacol* 140(2012): 624-633.

- BUNDSCHUH TV, HAHN K & WITTIG R (2011): The Medicinal Plants of the Woodlands in northern Malawi (Karonga District). *Flora Veg Sudano-Sambesica* 14: 3-8.
- CAVIN AL (2007): Contribution à la connaissance taxonomique et chimique de fruits africains du genre "*Detarium*" (Fabaceae - Caesalpinioideae): "*D. microcarpum*" Guill. et Perr. et des formes comestibles et toxiques de "*D. senegalense*" J.F. Gmel. Thèse de doctorat: Université de Genève, 2007, no. Sc. 3838.
- CHEIKHYOUSSEF A, SHAPI M, MATENGU K & ASHEKELE HM (2011): Ethnobotanical study of indigenous knowledge on medicinal plant use by traditional healers in Oshikoto region, Namibia. *J Ethnobiol Ethnomed* 7: 10 p.
- CHRISTENSEN SN (2010): Socio-economic and ecological determinants of local scale tree distribution, diversity and dynamics in agro ecosystems in West-central Senegal. Master thesis, Aarhus University, 19 p.
- COPPEN JJW (1995): Gums, resins and latexes of plant origin and latexes. Non-wood forest products 6. FAO, Rome, 152 p.
- CUNNINGHAM AB & MBENKUM FT (1993): Sustainability of harvesting *Prunus africana* bark in Cameroon. A medicinal plant in international trade. UNESCO, Paris, 28 p.
- DE WET H, VAN WYK BE (2008): An ethnobotanical survey of southern African Menispermaceae. *S Afr J Bot* 74: 2-9.
- DIBONG SD, MVOGO OTTOU PB, VANDI D, NDJIB RC, MONKAM TCHAMAHA F, MPONDO MPONDO E (2015): Ethnobotanique des plantes médicinales anti-hémorroïdaires des marchés et villages du Centre et du Littoral Cameroun. *J Appl Biosci* 96: 9072-9093.
- DIENG SD (2017): Evaluation des services écosystémiques de *Cordyla pinnata* (Lepr. Ex A.Rich.) Milne-Redh., *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. et *Detarium senegalense* (J.F. Gmel.) de la Forêt Classée de Patako et de ses environs (Centre-Ouest du Sénégal). Thèse de doctorat en Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 184 p+ Annexes.
- DIENG SD, DIOP M, GOUDIABY A, NIANG-DIOP F, FAYE LC, GUIRO I, SAMBOU S, LYKKE AM, SAMBOU B (2016): Caractérisation des services écosystémiques fournis par *Cordyla pinnata* dans la périphérie de la Forêt classée de Patako au Sénégal. *VertigO*, 16(2).
- DIENG SD, DIOP M, FAYE LC, GOUDIABY A, NIANG-DIOP F, GUIRO I, SAMBOU S, LYKKE AM, SAMBOU B (2016): Characterization of Ecosystem Services Provided by *Detarium microcarpum* around the Protected Forest of Patako (Senegal). *J Appl Environ Biol Sci* 6(12): 41-49.
- DIOP M, SAMBOU B & LY B (2012): Représentations de la forêt et répercussions sur la gestion des ressources forestières au Sénégal. *VertigO*, 12(2).
- DIOP N (2013): Caractérisation du ditax (*Detarium senegalense* J.F.Gmel) et étude de sa transformation en nectar. Thèse de doctorat, spécialité Systèmes Energétiques et Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 148p.
- DIATTA CD, GUEYE M & AKPO LE (20123): Les plantes médicinales utilisées contre les dermatoses dans la pharmacopée Baïnouk de Djibonker, région de Ziguinchor (Sénégal). *J Appl Biosci* 70: 5599-5607
- DRAMÉ YY (2003): Contribution à la valorisation et à la conservation « ex situ » de deux plantes de la pharmacopée sénégalaise: *Cordyla pinnata* (Lepr.) Miln.Red. (Caesalpiniaaceae)-*Sterculia setigera* Del. (Sterculiaceae). Enquêtes socio-économiques, essais botaniques et pharmacognosiques de qualité. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté de médecine, de pharmacie et d'odontologie, 76 p + annexes.
- ELLIS PR (1994): Polysaccharide gums: their modulation of carbohydrate and lipid metabolism and role in the treatment of diabetes mellitus. *In Gums and Stabilisers for the Food Industry* 7, ed. G.O. Phillips, P.A. Williams and D.J. Wedlock, pp. 207-216. Oxford University Press, Oxford.
- EL HILAH F, BEN AKKA F, BENGUEDDOUR R, ROCHDI A & ZIDANE L (2016): Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des affections dermatologiques dans le plateau central marocain. *J Appl Biosci* 98: 9252-9260.
- FALL AD, BAGLA VP, BASSENE E & ELOFF JN (2017): Phytochemical screening, antimicrobial and cytotoxicity studies of ethanol leaf extract of *Aphania senegalensis* (Sapindaceae). *Afr J Tradit Complement Altern Med* 14(4): 135-139.
- FAO (année indéterminée): Trade in medicinal plants. Raw materials, Tropical and Horticultural service Commodities and Trade Division, Economic and Social Department, Rome, 62 p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/af285e/af285e00.pdf>. Consulté en ligne le 11 octobre 2015.
- FAYE B, BASSÈNE E, DIOUF M (1996): Phase expérimentale de production de phytomédicaments. *In REJDALI M, BIROU K (1996): Diversité biologique et valorisation des plantes médicinales. Eds CTES. Proceedings. Rencontre francophone de coopération et de partenariat, 4-8 septembre 1995, Rabat, Maroc, 135-138.*
- GTZ (2007): Manuel de ValueLinks. La méthodologie de la promotion de la chaîne de valeur ajoutée. Première édition, 255 p.
- GUEYE M, CHAUNGUEU NM (2000): Exploitation et gestion des produits forestiers non-ligneux (PFNL): l'exemple de *Garcinia lucida* Vesque. Communication pour le Workshop de CARPE du 18 au 20 juillet 2000, Limbé, 10 p.
- GUEYE M, AYEYSSOU NC, KOMA S, DIOP S, AKPO LE & SAMBI PI (2014): Wild fruits traditionally gathered by the Malinke ethnic group in the edge of Niokolo Koba Park (Senegal). *Am J Plant Sci* 5: 1306-1317.
- GUEYE M, CISSÉ A, DIATTA CD, DIOP S & KOMA S (2012): Etude ethnobotanique des plantes utilisées contre la constipation chez les Malinké de la communauté rurale de Tomborokoto, Kédougou (Sénégal). *Int J Biol Chem Sci* 6: 773-781.
- GUEYE M, KENFACK D & FORGET PM (2010): Importance socio-culturelle, potentialités économiques et thérapeutiques du Carapa (Meliaceae) au Sénégal. *In: van der BURGT X., van der Maesen J & Onana JM (eds), Systématique et Conservation des Plantes Africaines, 359-367. Royal Botanic Gardens, Kew.*
- HEINRICH M, ANKLI A, FREI B, WEIMANN C & STICHER O (1998): Medicinal plants in Mexico: healers' consensus and cultural importance. *Soc Sci & Med* 47: 1859-1871.
- IPBES (2019): Communiqué de presse: le dangereux déclin de la nature: un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère. Paris, France.
- KABORÉ SA, HIEN M, OUEÐRAOGO D, DIALLO TRE, HAHN K & NACRO HB (2014): Use of ecosystem services of *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) E.A.Bruce and induced effect of human pressure on the species in the southwestern region of Burkina Faso. *Ethnobot Res Appl* 12: 561-570.

- KERHARO J & ADAM JG (1974): La pharmacopée traditionnelle: plantes médicinales et toxiques. Vigot Frères, Paris, 1011 p.
- KOUYATÉ AM, MEYER A, VAN DAMME P & DIAWARA H (2009): Usages magico-médicinaux et vétérinaires de *Detarium microcarpum* (Fabaceae) au sud du Mali. In: van der Burgt X, van der Maesen J & Onana JM (eds), Systematics and Conservation of African Plants. Royal Botanic Gardens, Kew, 367-374.
- KOUYATÉ IR. AM (2005): Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali. Thèse de PhD en Biosciences Ingénieurs, Section Agronomie, Université de Gent, Belgique, 190 p.
- LOUBAKI BC, OUATTARA AS, OUATTARA CAT, OUÉDRAOGO-TRAORÉ R & TRAORÉ AS (1999): Activités antimicrobiennes des extraits aqueux totaux de *Detarium microcarpum* [Cesalpiniaceae (Guill et Perr)] sur huit espèces bactériennes impliquées dans certaines maladies infectieuses au Burkina Faso. Rev CAMES 01: 66-73.
- LYKKE AM, KRISTENSEN MK & GANABA S (2004): Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. Biodivers Conserv 13: 1961-1990.
- MARTÍN-LÓPEZ B, GARCÍA-LLORENTE M, PALOMO I & MONTES C (2011): The conservation against development paradigm in protected areas : Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain). Ecol Econ 70: 1481-1491.
- MONTEIRO JM, ALBUQUERQUE UP, LINS-NETO EMF, ARAÚJO EL & AMORIM ELC (2006): Use patterns and knowledge of medicinal species among two rural communities in Brazil's semi-arid northeastern region. J Ethnopharmacol 105(1-2): 173-186.
- OMS (2003): Médecine traditionnelle. Aide-mémoire n°134, [http://www.who.int/mediacentre/factsheets/2003/fs134/fr/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs134/fr/). Consulté le 7 octobre 2015.
- PETERS CM (1997): Exploitation soutenue de produits forestiers autres que le bois en forêt tropicale humide: manuel d'initiation écologique. Série générale d'appui à la biodiversité 2. WWF-NC-WRI/ USAID, Washington, 49 p.
- ROUSSEL J (1995): Pépinières et plantations forestières en Afrique tropicale sèche: manuel à l'usage des ingénieurs et techniciens du reboisement. Dakar, Sénégal, ISRA/CIRAD, 435 p.
- RUSSEL BH (2006): Research methods in anthropology. Qualitative quantitative approches. Fourth edition, Alta Mira Press, Oxford, 824 p.
- SAMB AH (2002): Contribution à la conservation « ex situ » et à la valorisation de deux espèces de la pharmacopée sénégalaise: *Detarium microcarpum* Gill et Perr. (Cesalpiniaceae); *Tinospora bakis* (A. Rich.) Miers (Menispermaceae). Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté de médecine, de pharmacie et d'odontologie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 104 p. + annexes.
- SAMBOU B (2004): Evaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 210 p.
- SCHUMANN K, WITTIG R, THIOMBIANO A, BECKER U & HAHN K (2012): Uses, management, and population status of the baobab in eastern Burkina Faso. Agrofor 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.
- SOWEMIMO AA, PENDOTA C, OKOH B, OMOTOSHO T, IDIKA N & ADEKUNLE AA (2011): Chemical composition, antimicrobial activity, proximate analysis and mineral content of the seed of *Detarium senegalense* JF Gmelin. Afr J Biotech 10: 9875-9879.
- UCHEGBU RI & OKWU DE (2012): An evaluation of the phytochemical and nutrient composition of the seeds and stem bark of *Detarium senegalense* Gmelin. J Nat Sci Res 2: 107-112.
- VODOUHÉ FG, COULIBALY O, ASSOGBADJO AE & SINSIN B (2008): Medicinal plant commercialization in Benin: an analysis of profit distribution equity across supply chain actors and its effect on the sustainable use of harvested species. J Med Plant Res 2(11): 331-340.
- WANG Q, ELLIS PR, ROSS-MURPHY SB, BURCHARD W (1997): Solution characteristics of the xyloglucan extracted from *Detarium senegalense* Gmelin. Carbohydr Polym 33: 115-124.
- WITTIG R, DINGERMANN T, SIEGLSTETTER R, XIE Y, THIOMBIANO A, & HAHN K (2013): World-wide every fifth vascular plant species is or was used as medicinal or aromatic plant. Flora Veg Sudano-Sambesica 16: 3-9.

Intraspecific habitat adaptation: How the germinability of herbaceous plant seeds change due to environmental conditions in West African savannas

Received: 2019-12-10; revised: 2019-12-14; accepted: 2019-12-18

Susanna E. Schmidt-Groh^{1*}, Markus Bernhardt-Römermann², Adjima Thiombiano³, Karen Hahn¹

¹ Institute of Ecology, Evolution & Diversity, J.W. Goethe University, Frankfurt a.M. / Germany

² Institute of Ecology and Evolution, F. Schiller University, Jena / Germany

³ Department of Plant Biology and Physiology, University of Ouagadougou, Ouagadougou / Burkina Faso

* Corresponding author. E-Mail: susanna.schmidt-groh@live.de

Summary: Knowledge about the herbaceous layer in relation to environmental factors in West African savannas is still scarce. Early life-cycle events like germination of the herbaceous species are of special interest, as these stages can play critical roles in establishing of the plants and determine population and community dynamics. We aim to assess intraspecific differences in the germinability of herbaceous savanna species with respect to environmental conditions to reveal adaptations in this early life cycle stage. The study was conducted in the Sudanian savanna of Burkina Faso in West Africa. We collected seeds of two annual herbs (*Chamaecrista mimosoides*, *Spermacoce stachydea*) along a climatic gradient from different habitats and land use types and conducted germination experiments under equal conditions in climate chambers. For both species several environmental factors showed a significant impact on the germination rates. While higher precipitation caused an increase in the germination rate only for *S. stachydea*, habitat conditions had a significant influence for both species. Intermediate habitats with balanced soil moisture caused an enhancement of the germination success. Moreover shrub cover had a positive effect on the germinability of *C. mimosoides*, whereas the germinability of *S. stachydea* decreased due to an increasing herbaceous cover. The study showed that certain environmental factors are able to modify the intraspecific variability of the germinability trait, which might affect the establishment of the species populations.

Keywords: savanna, West Africa, herbaceous layer, Climatic gradient, annual species, germinability, intraspecific trait variability.

ADAPTATION INTRASPÉCIFIQUE À L'HABITAT: COMMENT LA CAPACITÉ DE GERMINATION DES GRAINES DES PLANTES HERBACÉES CHANGE-T-ELLE EN FONCTION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DANS LES SAVANES OUEST AFRICAINES

Résumé: Les connaissances sur la strate herbacée en relation avec les facteurs environnementaux dans les savanes Ouest africaines sont encore rares. Les événements précoces du cycle biologique, comme la germination des espèces herbacées, présentent un intérêt particulier, car ces stades peuvent jouer un rôle crucial dans l'établissement des plantes et être déterminant dans la dynamique des populations et des communautés. Notre objectif est d'évaluer les différences intraspécifiques dans la capacité de germination des espèces herbacées de savane selon les conditions environnementales afin de révéler les adaptations à ce stade précoce du cycle biologique. L'étude a été menée dans la savane soudanienne du Burkina Faso en Afrique de l'Ouest. Nous avons collecté des graines de deux espèces herbacées annuelles (*Chamaecrista mimosoides*, *Spermacoce stachydea*) le long d'un gradient climatique en fonction de différents types d'habitats et d'utilisation des terres. Nous avons ensuite mené des expériences de germination dans des conditions identiques à celles des savanes en utilisant des chambres climatiques. Pour les deux espèces, plusieurs facteurs environnementaux ont eu un impact significatif sur les taux de germination. Alors que les fortes précipitations n'ont provoqué une augmentation du taux de germination que pour *S. stachydea*, les conditions d'habitat quant à eux, ont eu une influence significative sur les deux espèces. Les habitats intermédiaires avec une humidité du sol équilibrée ont permis d'améliorer le succès de la germination. De plus, le taux de recouvrement des arbustes a eu un effet positif sur la germination de *C. mimosoides*, tandis que la capacité de germination de *S. stachydea* diminue avec l'augmentation du taux de recouvrement des herbacées. L'étude a montré que certains facteurs environnementaux sont capables de modifier la variabilité intraspécifique du trait de germination, ce qui pourrait affecter l'établissement de la population des espèces.

Mots-clés: savane, Afrique de l'Ouest, strate herbacée, gradient climatique, espèces annuelles, capacité de germination, variabilité intraspécifiques des traits.

INTRASPEZIFISCHE HABITATANPASSUNG: WIE SICH DIE KEIMFÄHIGKEIT VON SAMEN KRAUTIGER PFLANZEN DURCH UMWELTBEDINGUNGEN IN DER WESTAFRIKANISCHEN SAVANNE VERÄNDERT

Zusammenfassung: Der Wissensstand zur Krautschicht westafrikanischer Savannen im Zusammenhang mit verschiedenen Umweltfaktoren ist relativ lückenhaft. Von besonderem Interesse sind frühe Lebenszyklusevents, wie die Keimung der

krautigen Arten, da diese Phasen eine entscheidende Rolle bei der Etablierung der Pflanzen spielen und die Dynamik von Population und Gemeinschaft bestimmen können. Ziel unserer Studie ist es intraspezifische Unterschiede in der Keimfähigkeit von krautigen Savannenarten in Bezug auf die Umweltbedingungen zu untersuchen, um ökologische Anpassungen in diesem frühen Lebenszyklusstadium zu erkennen. Die Studie wurde in der Sudanzone von Burkina Faso in Westafrika durchgeführt. Wir sammelten Samen von zwei einjährigen krautigen Arten (*Chamaecrista mimosoides*, *Spermacoce stachydea*) entlang eines Klimagradienten in verschiedenen Habitaten und Landnutzungstypen und führten damit Keimungsversuche unter gleichen Bedingungen in Klimakammern durch. Für beide Arten zeigten sich signifikante Einflüsse mehrerer Umweltfaktoren auf die Keimungsraten. Während höhere Niederschläge nur bei *S. stachydea* zu einer Erhöhung der Keimungsrate führte, hatten die Habitatbedingungen einen signifikanten Einfluss auf den Keimungserfolg bei beiden Arten. Intermediäre Habitat mit einer ausgewogenen Bodenfeuchte führten zu einem höheren Keimungserfolg. Darüber hinaus wirkte sich eine höhere Strauchbedeckung positiv auf die Keimungsfähigkeit von *C. mimosoides* aus, während die Keimungsfähigkeit von *S. stachydea* durch eine zunehmende krautige Bedeckung abnahm. Die Studie zeigte, dass bestimmte Umweltfaktoren in der Lage sind, die intraspezifische Merkmalsvariabilität der Keimungsfähigkeit von Arten zu verändern, was die Etablierung in Populationen beeinflussen kann.

Schlagerworte: Savanne, Westafrika, krautige Schicht, Klimagradient, annuelle Arten, Keimfähigkeit, intraspezifische Merkmalsvariabilität

1 INTRODUCTION

Tropical savannas cover one eighth of the global land surface and half the area of Africa (SCHOLES & ARCHER 1997, SCHOLES & HALL 1996). In this widespread ecosystem three-fourths of the biomass is composed of herbaceous plants. Despite this fact, the ecological knowledge about herbaceous savanna species in relation to environmental conditions is still scarce. Particularly studies on early life-cycle events are of interest, as these stages can play critical roles in determining population and community dynamics of plants (DONOHUE & al. & al. 2010, HUANG & al. 2016). For example, the ecology of seeds and their germination patterns are important factors in the early life cycle, that decide on the establishment of the plant (ELBERSE & BREMAN 1989, BASKIN & BASKIN 1998) and can determine adaptation to environmental variation, species diversity, and community responses to climate change (KIMBALL & al. 2010). Understanding the adaptive consequences of such functional traits as seed germination will allow us to explain and predict ecological dynamics (HUANG & al. 2016).

In general, plant functional trait approaches enable an improved understanding of the performance of individuals and how they phenotypically adapt to their habitats and react to environmental changes (MCINTYRE & al. 1995, DÍAZ & al. 2004). Thus, plant functional traits describe the adaptations of plant individuals to their habitats. Flexibility in the shaping of the traits allows the plant to adapt to the prevailing environmental conditions. This can lead to large intraspecific differences in development of traits. Recent studies focus on intraspecific trait variation (ITV), for example, in leaf or seed traits (e.g. number of seeds or seed weight). This demonstrates the growing awareness of the importance to study intraspecific trait variation (e.g. ALBERT & al. 2010, BOLNICK & al. 2011, HELSEN & al. 2017). However, the intraspecific variation of other traits, such as the germination of seeds, are hardly considered (FUNK & al. 2017).

In this study we aim to assess intraspecific differences in the germinability of herbaceous savanna species with respect to environmental conditions to reveal adaptations in this early life cycle stage due to environmental parameters. We collected seeds of two typical West African herbaceous savanna species in different habitats, inside and outside protected areas, along a precipitation gradient in Burkina Faso to conduct germination experiments under standardized conditions. Such germination studies with climate chambers

under controlled conditions (JENSCH & POSCHLOD 2008, KOS & POSCHLOD 2007, 2010, SY & al. 2001, WEPPLER & STÖCKLIN 2006) allow investigating whether germination rates show differences that can be related to the environmental conditions to which the populations were exposed. By this, environmental factors, which play an important role in determining the germinability of the plants, can be identified. This will allow insights into the resilience of plant species to environmental changes, such as climate change.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study species and study area

We collected seeds of two herbaceous species *Chamaecrista mimosoides* (Fabaceae), and *Spermacoce stachydea* (Rubiaceae) (Fig. 1). They are typical representatives of life forms and life-history types of the savanna herbaceous cover, namely annual herbs, and are widespread over the entire climatic range of the study region. Thus, this gives them particular value as model organisms for this study. An essential difference of the two species is due to the palatability (DEVINEAU & FOURNIER 2005). *C. mimosoides* is considered as highly palatable by cattle, whereas the palatability of *S. stachydea* is low.

The seeds for the germination study were collected in Burkina Faso, a West African country located between sub-arid and sub-humid zones with a clear precipitation gradient from the drier North to the more humid South. The year is divided in a longer dry season and a shorter rainy season, from about June to October (THIOMBIANO & KAMPMANN 2010). We considered four study areas situated along a precipitation gradient from the North to the South Sudanian zone in Burkina Faso (see Fig. 2 and Table 1). In each study area we selected plots in a protected area in which anthropogenic influences are prohibited or reduced to a minimum, and in surrounding land use areas. Furthermore, plots have been established on three different habitat types in the protected area and in the land use area. The habitats were differentiated according to soil moisture into dry, intermediate and wet habitats. Each plot had a size of 10 x 10 meters with a minimum distance of 500 m to each other. We collected all seeds of 6 individuals from each species per plot, if present. The seeds were stored in silica gel at room temperature, transported to Germany and stored over the next few weeks



Fig. 1: Flowering individual of *C. mimosoides* (left) and *S. stachydea* (right) / Individu en fleur de *C. mimosoides* (à gauche) et *S. stachydea* (à droite).

at room temperature until the germination experiments in the laboratory started.

In addition to the above mentioned factors of climate (represented by the annual precipitation rate of the study areas), land use (protected zone and fallow) and habitat (dry,

intermediate and wet), further environmental factors were measured and included in the analysis: 1. The vegetation structure at the selected plots: amount of bare soil, tree cover, shrub cover, herb cover (in %) and average tree height, shrub height and herb height (in m); 2. Soil samples were

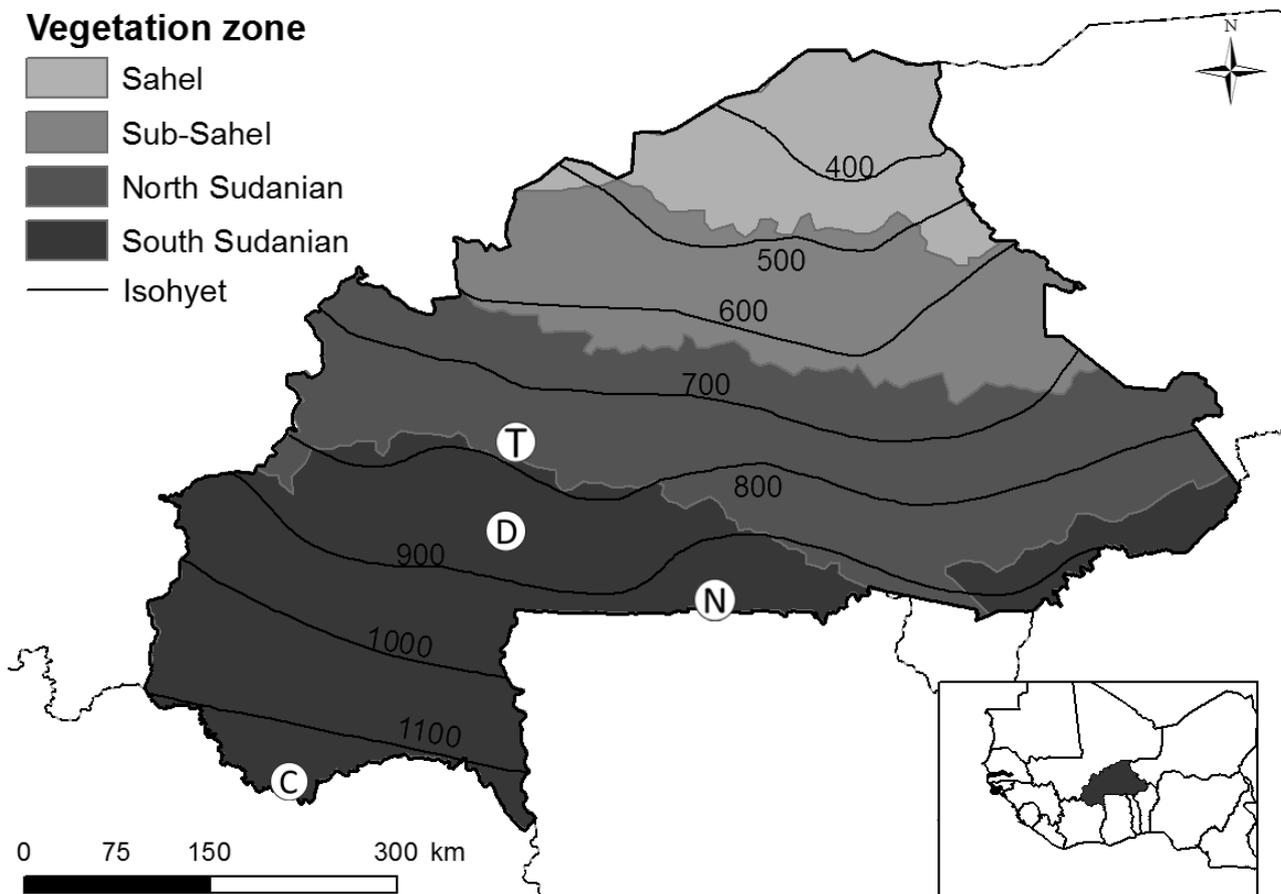


Fig. 2: Study sites in Burkina Faso differing in precipitation rate, indicated by letters refer to Table 1 / Les sites d'étude au Burkina Faso diffèrent par leur précipitations, indiquées par des lettres se référant au Table 1.

Table 1: Characterization of study sites by annual precipitation / Caractérisation des sites d'étude par précipitations annuelles (Precip.).

Study site	Vegetation zone	Precip.[mm]	Year of survey
(T) Tiogo	North Sudanian	758	2012
(D) Deux Balés	South Sudanian	888	2013
(N) Nazinga	South Sudanian	943	2012
(C) Comoé-Léraba	South Sudanian	1125	2013

used to determine the composition of the soils. For this purpose, five soil samples were taken from each plot to a depth of 20 cm, and merged into one composite sample for soil analysis (for details see: JAKUBKA & al. 2017). Data of the following soil factors were included in this study: the amount of stone, silt and sand, pH value, carbon-to-nitrogen ratio (C/N ratio), phosphorus content and Cation-exchange capacity (CEC).

2.2 Germination experiments

In a first step we tested for both species with small samples (about 10 seeds per dish and 10 dishes per species) different temperature regimes and pretreatments to break the seed dormancy (e.g. scarification of seeds) to identify optimal germination conditions. The seeds of both species germinated best in the climate chambers at a temperature regime of 30°C and 25°C for 12 hours alternately, according to a 12 hours' diurnal light regime. The germination of *C. mimosoides* is highly enhanced by scarification, since the hard seed coat hinders the absorption of water (CISSÉ 1986). Based on our tests, we treated the seeds with scarification by grinding the seed coats. Seeds of *S. stachydea* germinate reliable after light scarification by grinding of the coat and soaking in water for one week (ELBERSE & BREMAN 1989). This was confirmed in our pre-tests. For the full germination experiment for each species 30 seeds per plot were pretreated in this way and placed in Petri dishes. For some plots seed numbers were lower, but a minimum of 5 seeds was available in all cases. *C. mimosoides* seeds were deposited on a filter paper soaked with deionized water. The seeds of *S. stachydea* were allowed to float in a small amount of deionized water. All Petri dishes were closed by Parafilm to reduce the evaporation of water from the dishes. The occurrence of the radicle was considered as germination success, for which the seeds were given a maximum of eight weeks (SCOTT & al. 2010). Usually the germination occurred within the first two weeks. All germinated seeds were recorded.

2.3 Data analysis

The total number of germinated seeds and ungerminated seeds was taken to calculate the germination rate. We used a general linear model (glm) with binomial distributed error structure to investigate the influence of the recorded environmental factors (explanatory variable) on germinability. All continuous environmental variables were standardized to zero mean, unit variance. The models were simplified via backward selection. The statistical analyses were performed in R.3.4.2 (R CORE TEAM 2017).

3 RESULTS

The germination rates of the two species showed considerable differences. *C. mimosoides* seeds germinated with an average rate of over 80%, while the average germination rate for *S. stachydea* was about 45%. Both species showed a similar range of variation ($\pm 20\%$) in their germination rates.

In regard to the impact of environmental factors several parameters had significant effects on the germination rate of both species. Table 2 shows the results of the glm. Precipitation had a significant effect only on the germination rates of *S. stachydea*, while the germinability of the seeds of *C. mimosoides* remained unaffected by this factor. The germination rate of *S. stachydea* increased with higher precipitation (Fig. 3). In regions with less precipitation, the germinability of this species was reduced. However, the factor habitat showed a significant influence on both species. Seeds collected from individuals of *C. mimosoides* (Fig. 4) and *S. stachydea* (Fig. 5) on intermediate habitats, had significantly higher germination rates compared to seeds collected on dry and wet habitats. Hence intermediate habitats had a positive effect on the germinability of the seeds. In regard to vegetation structure, the germinability of the seeds of *C. mimosoides* was influenced significantly by shrub cover. An increasing shrub cover had a positive effect on the germination rate (Fig. 6). Contrary, the germinability of the *S. stachydea* seeds was influenced by the herbaceous cover. The germination rates decreased significantly with increasing herb cover on the plots (Fig. 7). Thus, a denser herb layer had a negative effect on the germinability of *S. stachydea* seeds.

All other environmental factors (land use, soil parameters, tree cover, height of vegetation layers) had no effect on the germination rates.

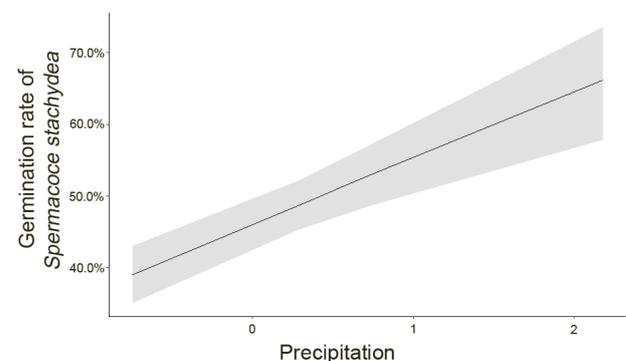


Fig. 3: Model output of GLM 2, Germination rate of *S. stachydea* depending on precipitation, environmental data were standardized / Débit de GLM 2, taux de germination de *S. stachydea* selon les précipitations, les valeurs environnementales sont standardisées.

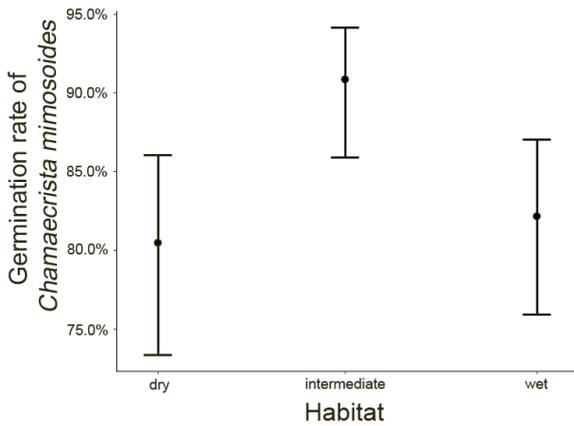


Fig. 4: Model output of GLM 1, Germination rate of *C. mimosoides* depending on habitat / Débit de GLM 1, taux de germination de *C. mimosoides* selon l'habitat.

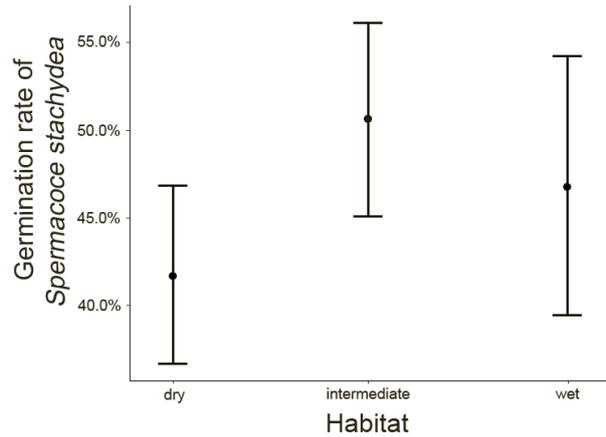


Fig. 5: Model output of GLM 2, Germination rate of *S. stachydea* depending on habitat / Débit de GLM 2, taux de germination de *S. stachydea* selon l'habitat.

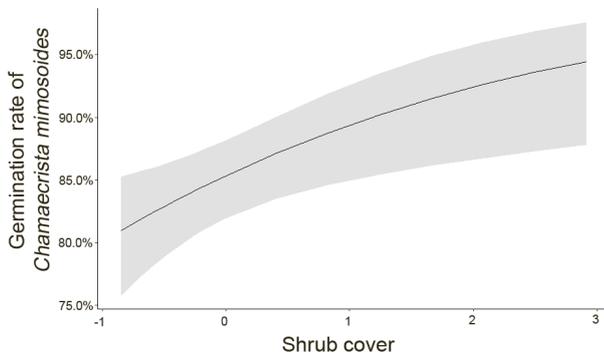


Fig. 6: Model output of GLM 1, Germination rate of *C. mimosoides* depending on shrub cover, environmental data were standardized / Débit de GLM 1, taux de germination de *C. mimosoides* selon la couverture arbustive, les valeurs environnementales sont standardisées.

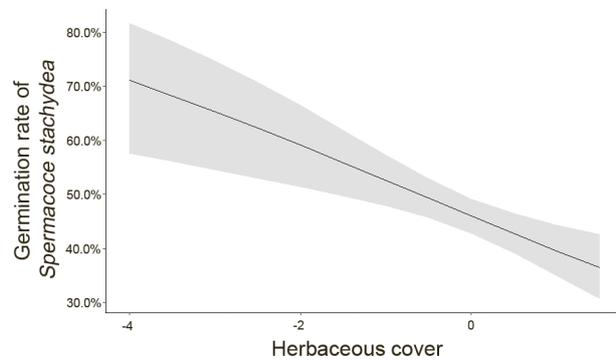


Fig. 7: Model output of GLM 2, Germination rate of *S. stachydea* depending on herbaceous cover, environmental data were standardized / Débit de GLM 2, taux de germination de *S. stachydea* selon la couverture herbacée, les valeurs environnementales sont standardisées.

4 DISCUSSION

In regard to the intraspecific trait variability of seed germination, the environmental factor of 'habitat' showed the most prominent effect. The seeds from individuals of both species with a provenance from intermediate habitats showed an enhanced germination success. We assume that the more balanced soil moisture on the intermediate habitats

is favorable for both species and thus lead to better performance with higher germination rates. This is in concordance with LE BOURGEOIS & MERLIER (1995), who describe that both species can be found on soils that are well ventilated. In case of strong waterlogging these species might have problems to establish well. In regard to drier habitats no information was found.

Table 2: Results of the general linear models. / Résultats des modèles linéaires généraux.

GLM 1					
<i>Chamaecrista mimosoides</i>	Estimate	SE	t value	Pr	
(Intercept)	1,4155	0,2033	-6,962	1,87E-10	***
Intermediate Habitat	0,8777	0,3191	-2,751	0,0069	**
Wet Habitat	0,1103	0,2807	-0,393	0,6949	
Shrub Cover	0,3689	0,1362	-2,709	0,0077	**
GLM 2					
<i>Spermacoce stachydea</i>	Estimate	SE	t value	Pr	
(Intercept)	-0,3371	0,1064	3,168	0,0017	**
Precipitation	0,3829	0,0755	-5,068	7,91E-07	***
Intermediate Habitat	0,3603	0,1595	-2,259	0,0248	*
Wet Habitat	0,2061	0,1889	-1,091	0,2762	
Herbaceous Cover	-0,2648	0,0744	3,561	0,0004	***

Moreover, the germinability of *S. stachydea* reacted positively to the increase in precipitation which indicates that the optimum for this species is most probably in areas with higher precipitation rates in the South-Sudanian zone. According to LE BOURGEOIS & MERLIER (1995) the species has a wide distribution in the drier Sahelo-Sudanian region, but can also occur further south in areas with higher precipitation. Our findings on the germination rates point to more favorable growing conditions in the more humid areas.

Vegetation structure showed also significant impact on the germinability of both species. The germination success of *C. mimosoides* seeds was positively influenced by a provenance from plots with a higher shrub cover. This might be due to the fact, that the performance of herbaceous plants can be improved by increased nutrient uptake from the uppermost soil layer due to shrub litter enriched soils (MORDELET AND MENAUT 1995). Other studies point to the improvement of conditions for herbaceous plants through isolated shrubs or a moderate increase in shrub cover, for example through reduced water stress (GEISLER & al. 2019, SOLIVERES AND ELDRIDGE 2014). Moreover, increased shading due to higher shrub cover can have negative effects on savanna grasses (DOHN & al. 2013) and thus, diminish the competition for less shade sensitive herbaceous species.

The seeds of *S. stachydea* germinated more frequently when the plots, on which the original plants grew, had a sparser herbaceous layer. We assume that a less dense herbaceous cover has advantages for the performance of *S. stachydea* as it might lead to less competition among herbaceous species, belowground in the soil for nutrients and water as well as above ground for light availability. This might result in a better performance with higher photosynthesis activity and thus increased metabolic accumulation.

Overall, our results indicate that the germination success is only related to very few of the investigated environmental conditions to which the plant individuals of our two studied species were exposed. An unanticipated finding was that the measured soil parameters had no effect on the germination success of the seeds. This is in contrast to our expectations, as other studies have found, that especially the nutrient availability of the soil can have an impact on plant performance (for example WRIGHT & al. 2004), which should also be reflected in the performance of the germinability.

5 CONCLUSION

To the best of our knowledge, this is the first study to investigate intraspecific variation of germination success of seeds from sites with different environmental parameters. It showed that the intraspecific variation of the germinability related to environmental influences is quite low, when compared to other investigated traits, such as leaf traits (e.g. SLA), which are more affected by site conditions (HELSEN & al. 2017). However, habitat conditions and vegetation structure, as well as the precipitation rate for *S. stachydea*, affected significantly the germinability of our species. Changes in these environmental factors therefore may lead to changes in this first life cycle stage of the species populations.

Acknowledgments

We acknowledge the funding by the DFG project (BE 4143/2-1, HA 6789/1-1) "Responses of Herbaceous Savanna Vegetation to Land Use and Habitat Conditions: Investigations along a Climatic Gradient in West Africa". Furthermore we thank the Ministry of Scientific Research and Innovation of Burkina Faso for research permit and all field assistants for their tireless efforts. And we thank Dr. Issouf Zerbo for helping with the translation into French.

REFERENCES

- ALBERT CH, THUILLER W, YOCOZ NG, SOUDANT A, BOUCHER F, SACCONI P & LAVOREL S (2010): Intraspecific Functional Variability: Extent, Structure and Sources of Variation. *Journal of Ecology* 98: 604–13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01651.x>.
- BASKIN CC & BASKIN JM (1998): *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (1st ed.). San Diego: Academic Press.
- BOLNICK DI, AMARASEKARE P, ARAÚJO MS, BÜRGER R, LEVINE JM, NOVAK M, RUDOLF VHW, SCHREIBER SJ, URBAN MC & VASSEUR D (2011): Why intraspecific trait variation matters in community ecology. *Trends Ecol Evol* 26: 183–192. doi: 10.1016/j.tree.2011.01.009.
- CISSÉ AM (1986): *Dynamique de La Strate Herbacée Des Pâturages de La Zone Sud-Sahélienne*. Landbouwniversiteit Wageningen. <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/242102>.
- DEVINEAU JL & FOURNIER A (2005): To What Extent Can Simple Plant Biological Traits Account for the Response of the Herbaceous Layer to Environmental Changes in Fallow-Savanna Vegetation (West Burkina Faso, West Africa)? *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 200: 361–75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.01.005>.
- DÍAZ S, HODGSON JG, THOMPSON K, CABIDO M, CORNELISSEN JHC, JALILI A, MONTSERRAT-MARTÍ G, GRIME GRIME JP, ZARRINKAMAR F, ASRI Y, BAND SR, BASCONCELO S, CASTRO-DÍEZ P, FUNES G, HAMZEHEE B, KHOSHNEVI M, PÉREZ-HARGUINDEGUY N, PÉREZ-RONTOMÉ MC, SHIRVANY FA, VENDRAMINI F, YAZDANI S, ABBAS-AZIMI R, BOGAARD A, BOUSTANI S, CHARLES M, DEGHAN M, DE TORRES-ESPUNY L, FALCZUK V, GUERRERO-CAMPO J, HYND A, JONES G, KOWSARY E, KAZEMI-SAEED F, MAESTRO-MARTÍNEZ M, ROMO-DÍEZ A, SHAW S, STAVASH B, VILLAR-SALVADOR P & ZAK MR (2004): The Plant Traits That Drive Ecosystems: Evidence from Three Continents. *Journal of Vegetation Science* 15: 295–304. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02266.x>.
- DOHN J, DEMBÉLÉ F, KAREMBÉ M, MOUSTAKAS A, AMÉVOR KA & HANAN NP (2013): Tree effects on grass growth in savannas: competition, facilitation and the stress-gradient hypothesis. *Journal of Ecology* 101: 202–209. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12010>.
- DONOHUE K, DE CASAS RR, BURGHARDT L, KOVACH K & WILLIS CG (2010): Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41: 293 – 319. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144715>.
- ELBERSE WT & BREMAN H (1989): Germination and Establishment of Sahelian Rangeland Species. *Oecologia* 80: 477–84. <http://www.springerlink.com/index/R11T32TJ40375102.pdf>.
- FUNK JL, LARSON JE, AMES GM, BUTTERFIELD BJ, CAVENDER-BARES J, FIRN J, LAUGHLIN DC, SUTTON-GRIER AE, WILLIAMS L & WRIGHT J (2017): Revisiting the Holy

- Grail: Using Plant Functional Traits to Understand Ecological Processes. *Biological Reviews* 92: 1156–73. <https://doi.org/10.1111/brv.12275>.
- GEISSLER K, HAHN C, JOUBERT D & BLAUM N (2019): Functional Responses of the Herbaceous Plant Community Explain Ecohydrological Impacts of Savanna Shrub Encroachment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 39: 125458. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2019.125458>.
- HELSEN K, ACHARYA KP, BRUNET J, COUSINS SAO, DECOCQ G, HERMY M, KOLB A, LEMKE IH, LENOIR J, PLUE J, VERHEYEN K, DE FRENNE P & GRAAE BJ (2017): Biotic and Abiotic Drivers of Intraspecific Trait Variation within Plant Populations of Three Herbaceous Plant Species along a Latitudinal Gradient. *BMC Ecology* 17: 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12898-017-0151-y>.
- HUANG Z, LIU S, BRADFORD KJ, HUXMAN TE & VENABLE DL (2016): The contribution of germination functional traits to population dynamics of a desert plant community. *Ecology*, 97: 250–261. <https://doi.org/10.1890/15-0744.1>.
- JAKUBKA D, LESSMEISTER A, HAHN K, TRAORÉ S, SCHUMANN K, THIOMBIANO A & BERNHARDT-RÖRMERMANN M (2017): Effects of Climate, Habitat and Land Use on the Cover and Diversity of the Savanna Herbaceous Layer in Burkina Faso, West Africa. *Folia Geobotanica* 52: 129–42. <https://doi.org/10.1007/s12224-017-9289-9>.
- JENSCH D & POSCHLOD P (2008): Germination Ecology of Two Closely Related Taxa in the Genus *Oenante*: Fine Tuning for the Habitat? *Aquatic Botany* 89: 345–51. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.03.013>.
- KIMBALL S, ANGERT AL, HUXMAN TE & VENABLE DL (2010): Contemporary climate change in the Sonoran Desert favors cold-adapted species. *Global Change Biology* 16: 1555–1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02106.x>.
- KOS M & POSCHLOD P (2007): Seeds Use Temperature Cues to Ensure Germination under Nurse-Plant Shade in Xeric Kalahari Savannah. *Annals of Botany* 99: 667–75. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl293>.
- KOS M & POSCHLOD P (2010): Why Wait? Trait and Habitat Correlates of Variation in Germination Speed among Kalahari Annuals. *Oecologia* 162: 549–59. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1472-0>.
- LE BOURGEOIS T & MERLIER H (1995): *Adventrop – Les adventices d’Afrique soudano-sahélienne*. CIRAD-CA, Montpellier.
- MENGES ES (1991): Seed Germination Percentage Increases with Population Size in a Fragmented Prairie Species. *Conservation Biology* 5: 158–164. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00120.x>.
- MCINTYRE S, LAVOREL S & TREMONT RM (1995): Plant life-history attributes - their relationship to disturbance responses in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology* 83: 31–44. doi:10.2307/2261148. www.jstor.org/stable/2261148.
- MORDELET P & MENAUT JC (1995): Influence of Trees on Above-Ground Production Dynamics of Grasses in a Humid Savanna. *Journal of Vegetation Science* 6: 223–28. <https://doi.org/10.2307/3236217>.
- R CORE TEAM (2017): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- SCHOLES RJ & HALL DO (1996): The carbon budget of tropical savannas, woodlands, and grasslands. In *Modelling Terrestrial Ecosystems*, ed. A Breyer, D Hall, J Melillo, G Agren: 69–100. Chichester: Wiley.
- SCHOLES RJ & ARCHER SR (1997): Tree-Grass Interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 517–44. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2952503>.
- SCOTT KA, SETTERFIELD SA, DOUGLAS MM & ANDERSEN AN (2010): Environmental Factors Influencing the Establishment, Height and Fecundity of the Annual Grass *Sorghum Intrans* in an Australian Tropical Savanna. *Journal of Tropical Ecology* 26: 313–22. <https://doi.org/10.1017/S0266467409990629>.
- SOLIVERES S & ELDRIDGE DJ (2014): Do Changes in Grazing Pressure and the Degree of Shrub Encroachment Alter the Effects of Individual Shrubs on Understorey Plant Communities and Soil Function? *Functional Ecology* 28: 530–537. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12196>.
- SY A, GROUZIS M & DANTHU P (2001): Seed Germination of Seven Sahelian Legume Species. *Journal of Arid Environments* 49: 875–82. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0818>.
- THIOMBIANO A & KAMPMANN D (eds) (2010): *Biodiversity Atlas of West Africa, Volume II: Burkina Faso*. Ouagadougou & Frankfurt/Main. <https://www.uni-frankfurt.de/47671312/>
- WEPPLER T & STÖCKLIN J (2006): Does Pre-Dispersal Seed Predation Limit Reproduction and Population Growth in the Alpine Clonal Plant *Geum reptans*? *Plant Ecology* 187: 277–87. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9141-4>.
- WRIGHT I, REICH P, WESTOBY M, ACKERLY DD, BARUCH Z, BONGERS F, CAVENDER-BARES J, CHAPIN T, CORNELISSEN JHC, DIEMER M, FLEXAS J, GARNIER E, GROOM PK, GULIAS J, HIKOSAKA K, LAMONT BB, LEE T, LEE W, LUSK C, MIDGLEY JJ, NAVAS ML, NIINEMETS Ü, OLEKSYN J, OSADA N, POORTER H, POOT P, PRIOR L, PYANKOV VI, ROUMET C, THOMAS SC, TJOELKER MG, VENEKLAAS EJ & VILLAR R (2004): The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821–827. doi:10.1038/nature02403.

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
Max-von-Laue-Str. 13 B
60438 Frankfurt am Main, 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
Max-von-Laue-Str. 13 B
60438 Frankfurt am Main, Allemagne
eMail: r.wittig@bio.uni-frankfurt.de