



Section : Environmental and Water Sciences
Publication type : Full paper

Characterization of degraded dune vegetation in south-eastern Niger

Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger

Received 31 Oct. 2018
Accepted 16 Nov. 2018
On line 31 Dec. 2018

MAIGARI MALAM ASSANE¹, KARIMOU JEAN-MARIE AMBOUTA¹, CHARLES LOUIS BIELDERS² & ADAMOU DIDIER TIDJANI¹

(1) Department of Soils Sciences
Faculty of Agronomy / University Abdou Moumouni
Niamey, Niger

Email : dounamamadou@yahoo.fr

(2) Earth and Life Institute,
Faculty of Agronomy / Université catholique de Louvain
Louvain-la-Neuve, Belgique

Email : charles.biielders@uclouvain.be

KEY WORDS

Dune, Degradation,
Inventory, Herbaceous,
Niger.

Abstract The degradation of vegetation in the dune environment of the south-east of Niger, a source of proliferation of degraded dunes, is one of the main constraints that place the area in unfavorable conditions of production. Characterization of vegetation of degraded dunes aims to inventory the different forms of dune degradation in order to adopt a specific and simplified restoration plan during dune fixation operations. The study identified four main dune types, including isolated dunes partially fixed, isolated mobile dunes, partially dune fields and mobile dune fields. A total of 27 herbaceous species divided into 13 families were listed in this disturbed environment. The first dominant family is Poaceae representing 43.4% of species and the second families are Cyperaceae and Papilionaceae representing 11.32% of species. Individually, it is the species *Bulbostylis barbata* and *Cenchrus biflorus* that have dominant frequencies. The average frequencies of all the species combined and the grass cover of the slip face topographical position are respectively 4.58 and 4.63 times greater than the deflation face topographical position and the top face topographical position. Therefore a result, the bare soil rate is 100% on the deflation face topographical position, 99.9% on the top face topographical position and 99.6% on the slip face topographical position.

MOTS CLES

Dune, Dégradation,
Inventaire, Herbacée, Niger.

Résumé La dégradation de la végétation en milieu dunaire du sud-est du Niger, source de prolifération de dunes dégradées, constitue l'une des principales contraintes qui place la zone dans des conditions défavorables de production. Ce travail de caractérisation de la végétation des édifices dégradés a pour objectif d'inventorier les différentes formes de dégradation des dunes afin d'adopter un plan spécifique et simplifié de restauration lors des opérations de fixation des dunes. L'étude a décelé quatre principaux types de dunes dont les dunes isolées partiellement fixées, les dunes isolées vives, les champs de dunes partiellement fixées et les champs de dunes vives. Au total, 27 espèces herbacées réparties en 13 familles avaient été recensées sur tous les types de dunes confondus de ce milieu perturbé.



La famille dominante étant celle des Poacées représentant 43,4% des espèces contre 11,32% des espèces pour la seconde famille (Cyperaceae et Papilionaceae) en termes d'abondance. Prises individuellement, ce sont les espèces *Bulbostylis barbata* et *Cenchrus biflorus* qui ont des fréquences dominantes. Les fréquences moyennes de toutes les espèces confondues et le recouvrement herbacé de la position topographique « Front » sont respectivement 4,58 et 4,63 fois plus importants que ceux de la position topographique « Crête », le « Bas » étant nu. Par conséquent, le taux de sol nu du Bas est de 100% contre 99,9% pour la Crête et 99,6% pour le Front.

1. Introduction

Au Sahel, le couvert herbacé constitue une ressource naturelle renouvelable très importante [1]. L'existence et le maintien de celui-ci nécessite des adaptations physiologiques et morphologiques des plantes, aux conditions du milieu [2]. C'est ainsi que celui-ci est dominé par des plantes annuelles [3], [4] et connaît cependant des perturbations parfois profondes, au point où son renouvellement devient problématique [5], suite à l'accroissement du cheptel, des activités anthropiques associées et des sécheresses récurrentes, liées aux conditions incertaines du climat observées depuis le début des années soixante [6], [7], [8], [9], [10]. Par exemple, le surpâturage induit par l'accroissement du cheptel cause la dégradation du substrat sur lequel se développe la végétation [11]. Ces perturbations sont à la base de la remobilisation des dunes jadis fixées et/ou à la formation des nouveaux édifices dunaires [9], [12], [13], [14]. Les sols de ces dunes sont à texture grossière et peu couverts par la végétation [12], [15], [16]. Cette faiblesse du couvert végétal s'accroît au fil du temps car il lui est parfois difficile de se renouveler surtout dans les zones de forte dégradation [17], ou encore parce que les sols des dunes ont en général des niveaux très bas en nutriments disponibles pour l'établissement et la croissance des plantes [18].

Au Niger, l'un des pays sahéliers qui subit de plein fouet ces perturbations, l'on distingue aisément, les dunes naturellement fixées (non dégradées) couvertes par une végétation herbacée relativement dense des dunes vives (dégradées) nues à couvert herbacé quasi absent. Les nombreuses études sur ces formations dunaires (par exemple [19]) se sont plutôt intéressées qu'à la végétation des formations non dégradées. Pourtant ce sont les dunes dégradées qui constituent les réelles menaces pour les terres agropastorales sur lesquelles repose l'économie de la zone. Caractériser la végétation de ces formations dégradées permettra d'inventorier les différentes espèces végétales adaptées aux différents types de dunes afin de les restaurer efficacement lors des opérations de fixation des dunes.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

L'étude est conduite au Niger, dans le département de Gouré situé entre 13°8' et 17°30' de latitude Nord et entre 9°20' et 12°00' de longitude Est, dans la région de Zinder (Sud-Est du Niger), et appartenant à la zone sahélienne du pays avec une pluviométrie moyenne qui tourne autour de 300 mm. Le paysage dunaire de cette zone est composé de dunes fixes naturellement couvertes par la végétation et de dunes vives (dégradées) quasiment dépourvues de couvert herbacé. Ce travail est conduit sur la dernière catégorie des dunes. Ainsi 32 sites dunaires ont été identifiés pour une caractérisation de leur végétation. Il s'agit de 16 dunes isolées localisées dans des zones peu ou non dégradées et de 16 'champs de dunes'. Dans chacune de ces deux catégories, on trouve 8 dunes vives (« dunes mobiles ») et 8 dunes unitaires sur lesquelles poussent encore quelques espèces végétales mais dont la présence n'empêche pas complètement le mouvement de sable (« dunes partiellement fixées »). Ces dunes sont localisées (Figure 1) dans la partie la plus menacée de la zone d'étude et n'ont jamais fait l'objet de restauration (fixation). Au niveau de chaque dune faisant l'objet d'un suivi, trois positions topographiques ont été définies pour le monitoring : le côté au vent où la déflation a lieu (le Bas), le côté sous le vent où les éléments transportés par le vent sont déposés (le Front) et le sommet de la dune (la Crête). Pour chaque position, la végétation (densité, diversité) a été caractérisée en fin de saison des pluies en 2013, 2014 et 2015.

2.2. Typologie des dunes dégradées du sud-est du Niger

Pour catégoriser les types des dunes ainsi rencontrés dans la zone d'étude, certains critères (comme l'absence quasi-totale ou la présence de quelques pieds d'herbacés, l'immensité des dunes, la capacité de mobilisation de sable dunaire...) et l'utilisation de la cartographie de la situation de l'ensablement dans la zone d'étude [21], [22], [23], des références aux travaux antérieurs sur les différents types d'édifices sableux rencontrés dans la zone

[24], [25], [26], ainsi que des images Google Earth ont servi dans un premier temps. Ensuite, les données collectées en fonction des niveaux de variation (type de dune et niveau de dégradation), ont été croisées afin de ressortir les différentes catégories des dunes aisément distinguables.

2.3. Caractérisation de la végétation des dunes dégradées

Sur chaque dune et au niveau de toutes les positions topographiques, 4 lignes de 100 m de longueur ont été matérialisées. La fréquence des espèces herbacées a été enregistrée tous les 100 centimètres (1 m) (adaptée aux dunes dégradées du fait que la végétation est quasi inexistante) le long de chaque ligne selon la méthode des points quadrats alignés [27]. A l'issue de cette étude, les paramètres de diversités ont été calculés par les équations 1, 2, 3 et 4. Les espèces végétales sont nommées en référence au lexique des plantes du Niger [28]. Ensuite, les données de relevés floristiques avaient été soigneusement vérifiées à l'aide du logiciel Excel. Les traitements statistiques ont été réalisés avec SPSS version 20. La normalité de la distribution des paramètres (taux de sol nu, fréquences spécifiques des espèces et recouvrement herbacé sur les dunes dégradées) a été vérifiée par le test de Kolmogorov Smirnov, qui a montré que toutes les distributions sont normales. La distribution des valeurs de « taux de sol nu » a une moyenne de 99,86% et un écart type de 0,64% ; celle des valeurs des « fréquences Spécifiques des espèces » a une moyenne de 0,60% et un écart type de 2,63% et enfin celle des valeurs du « recouvrement herbacé » a une moyenne de 0,14% et un écart type de 0,84%. Après vérification de la normalité, des analyses descriptives et une ANOVA en fonction de type de dune (TD), du niveau de dégradation des dunes (ND), de la position topographique sur les dunes (PT) et de l'année de collecte des données (AN) ont été réalisées. La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Turkey.

- Le recouvrement herbacé (r).

$$r (\%) = 100 - T^\circ \text{ Sol nu } (\%) \quad (\text{Eq.1})$$

Avec T° Sol nu : taux de sol nu

- La diversité alpha ou indice de Shannon-Weaver (H')

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i \quad (\text{Eq.2})$$

Avec $P_i = n_i/N$, fréquence relative des espèces ($\sum P_i = 1$) ; n_i = fréquence de l'espèce i dans l'unité d'échantillonnage ; N = somme des fréquences relatives spécifiques

- l'indice d'équitabilité de Piélou (E)

$$E = H' / \log_2 S \quad (\text{Eq.3})$$

Avec S = la richesse spécifique.

- L'indice de Simpson (indice de dominance (D))

$$D = \sum P_i^2 \quad (\text{Eq.4})$$

3. Résultats et discussions

3.1. Caractéristiques de la végétation herbacée des sols dunaires dégradés du Sud-est nigérien

Au total, 27 espèces réparties en 13 familles ont été recensées sur les 32 dunes pendant la durée de l'étude (2013-2015) (Cf. Table 1).

Tab. 1: Répartition des espèces herbacées recensées sur les dunes dégradées du sud-est du Niger dans les différentes familles botaniques

N°	Families	Nbre d'espèces	% Nbre d'espèces
1	Poaceae	23	43,40
2	Cyperaceae	6	11,32
3	Papilionaceae/Fabaceae	6	11,32
4	Rubiaceae	5	9,43
5	Asclepiadaceae	3	5,66
6	Commelinaceae	3	5,66
7	Caesalpiniaceae	1	1,89
8	Cucurbitaceae	1	1,89
9	Euphorbiaceae	1	1,89
10	Malvaceae	1	1,89
11	Pedaliaceae	1	1,89
12	Scrophulariaceae	1	1,89
13	Zygophyllaceae	1	1,89
	Total	-	100

Source : Données personnelles recueillies

Annuellement, 20 espèces réparties en 12 familles ont été recensées en 2013, 17 espèces réparties en 7 familles en 2014 et 17 espèces réparties en 7 familles en 2015. Les Poaceae, avec 43,40% des espèces (tableau 6) sont les plus abondantes. Elles sont de loin suivies par les Cyperaceae et les Papilionaceae avec chacun 11,32% des espèces. Après viennent les Rubiaceae, les Asclepiadaceae et les Commelinaceae, avec respectivement 9,43% ; 5,66% et 5,66% des espèces. Toutes les autres familles ne sont représentées que par une seule espèce chacune soit 1,89% des espèces.

Suivant le type des dunes, 16, 12 et 8 espèces herbacées ont été recensées respectivement en 2013, 2014 et 2015 sur les champs des dunes partiellement fixées (Cf. Tables 2, 3 et 4).



Tab. 2: Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes partiellement Fixées du Sud-Est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2013

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	1,13
<i>Aristida funiculata</i>	0	0,25	0,25
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0,13	0,38
<i>Bulbostylis barbata</i>	0	0,5	0,13
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	5,88	21,63
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0	7,13
<i>Cucumis prophetarum</i>	0	0	0,13
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0	0,5
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	0	0,13
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	0,25
<i>Euphorbia aegyptiaca</i>	0	0	0,13
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0	2,63
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,38
<i>Striga hermontica</i>	0	0	0,38
<i>Tephrosia linearis</i>	0	0	0,13
<i>Tragus racemosus</i>	0	0	0,13

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 3: Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes Partiellement Fixées du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2014

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	0,63
<i>Aristida mutabilis</i>	0	0,88	3,88
<i>Borreria stachydae</i>	0	0,88	0,13
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	0,75
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	6,13	17,75
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0	0,13
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0	0,25
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0	2
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0,25	0,63
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,25
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0,13	0,25
<i>Tephrosia linearis</i>	0	0,13	0,25

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 4: Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes Partiellement Fixées du Sud-Est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2015

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0,5	0,88
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	0,25
<i>Aristida mutabilis</i>	0	2,13	7,38
<i>Borreria stachydae</i>	0	0,75	1
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	0,5
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	7,88	21
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0	0,63
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,63

Source : Données personnelles recueillies

Sur les Champs des Dunes Vives (CDV), il a été rencontré respectivement 10, 9 et 10 espèces herbacées en 2013, 2014 et 2015 (Cf. Tables 5, 6 et 7).

Tab. 5 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes Vives du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2013

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	0,25
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	0,25
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	0,5
<i>Aristida stipoides</i>	0	0	0,38
<i>Bulbostylis barbata</i>	0	0,5	1,25
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	0	0,38
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0	0,63
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	0	0,13
<i>Euphorbia aegyptiaca</i>	0	0,38	0
<i>Striga hermontica</i>	0	0	0,13

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 6 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes Vives du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2014

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Aristida mutabilis</i>	0	0	2,25
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	0	8,38
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	0	0,75
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0	2,5
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	1,75



Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,13
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0	0,13
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,5
<i>Tephrosia linearis</i>	0	0	0,25

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 4 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Champs des Dunes Vives du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2015

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	0,38
<i>Aristida mutabilis</i>	0	0	4,13
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	0,63
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	0	17,13
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	0	0,13
<i>Datura innoxia</i>	0	0	0,13
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0	2,5
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	0,88
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,38
<i>Tephrosia linearis</i>	0	0	0,38

Source : Données personnelles recueillies

Sur les Dunes Isolées Partiellement Fixées (DIPF), il a été rencontré respectivement 10, 11 et 15 espèces en 2013, 2014 et 2015 (Cf. Tables 8, 9 et 10).

Tab. 8 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Partiellement Fixées (DIPF) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2013

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	2,25
<i>Aristida funiculata</i>	0	0,13	1,75
<i>Aristida stipoides</i>	0	0,38	0,13
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	0,75
<i>Bulbostylis barbata</i>	0	0	0,13
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	6,5	18,25
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0	1,88
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0	0,25
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0	0,5
<i>Tragus racemosus</i>	0	0	1,38

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 9 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Partiellement Fixées (DIPF) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2014

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	1,5
<i>Andropogon gayanus</i>	0	0,38	0
<i>Aristida funiculata</i>	0	0,5	0,63
<i>Aristida mutabilis</i>	0	1,75	3,63
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	6,75	18,88
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0,13	0
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0,25	2,25
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0,38	0,38
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	0,63
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,38
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0,13	1,13

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 10 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Partiellement Fixées (DIPF) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2015

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0,38	1,25
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	2,38
<i>Aristida mutabilis</i>	0	2,75	3,88
<i>Borreria stachydae</i>	0	0	1,25
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	0,38
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	4,75	22,25
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0,13	0
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0,13	0,5
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	0,13	0
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	1,5	1,88
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	0,25
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,13
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0,13	0
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,13
<i>Tephrosia linearis</i>	0	0	0,13

Source : Données personnelles recueillies



Sur les Dunes Isolées Vives (DIV), il a été rencontré respectivement 16, 12 et 13 espèces en 2013, 2014 et 2015 (Cf. Tables 11, 12 et 13).

Tab. 11 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Vives (DIV) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2013

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	3,13
<i>Aristida funiculata</i>	0	0,13	1,13
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0,63	0,13
<i>Bulbostylis barbata</i>	0	0,25	0,13
<i>Cassia italica</i>	0	0,25	0
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	1,88	9,75
<i>Commelina forskalaei</i>	0	0	4,38
<i>Cucumis prophetarum</i>	0	0,38	0
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0,25	3,75
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	1,5
<i>Euphorbia aegyptiaca</i>	0	0	0,13
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0	0,25
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,5
<i>Sesamun alatum</i>	0	0	0,25
<i>Tragus racemosus</i>	0	0,13	1,25
<i>Tribulus terrestris</i>	0	0	0,38

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 12 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Vives (DIV) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2014

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	0,75
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	1,63
<i>Aristida mutabilis</i>	0	0,125	3,38
<i>Borreria stachydae</i>	0	0	0,25
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	0	1
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	0,63	11,63
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0,38	2,5
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0	1
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,13
<i>Hibiscus asper</i>	0	0	0,13
<i>Pergularia tomentosa</i>	0	0	0,13
<i>Tephrosia linaris</i>	0	0	0,38

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 13 : Fréquence spécifique moyenne (N = 8 dunes) des espèces herbacées rencontrées sur les Dunes Isolées Vives (DIV) du sud-est du Niger, en fonction de la position topographique en fin de saison hivernale 2015

Espèces	Bas	Crête	Front
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	1,38	1,13
<i>Andropogon gayanus</i>	0	0	0,38
<i>Aristida funiculata</i>	0	0	1,38
<i>Aristida mutabilis</i>	0	2,25	6
<i>Borreria stachydae</i>	0	0,5	0,88
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0	1,75	4,63
<i>Cenchrus biflorus</i>	0	7,63	24,75
<i>Commelina forskalaei</i>	0	1,5	0,13
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0,25	3,88
<i>Eragrotis tremula</i>	0	0,38	1,25
<i>Fimbristylis hispidula</i>	0	0	0,13
<i>Mitacarpus villosus</i>	0	0	0,5
<i>Tephrosia linaris</i>	0	0	1,25

Source : Données personnelles recueillies

L'analyse de ces tableaux (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, et 13) montre qu'aucune espèce n'a été recensée au niveau de la position topographique « Bas », quel que soit le type de dune et l'année de collecte. Les fréquences des espèces rencontrées sont dans l'ensemble faibles et les plus fortes sont recensées au niveau de la position topographique « Front ». Le plus grand nombre d'espèces rencontrées a également toujours été recensé sur le Front. Les fréquences spécifiques des espèces sur ces dunes dégradées sont dans l'ensemble très faibles et sont nettement inférieures à celles obtenues sur les dunes fixées. Par exemple :

- Dans le bassin versant de la mare d'Oursi au Burkina Fasso, [30] ont décrit dans les systèmes dunaires une végétation à recouvrement continu de *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis* et *Schoenefeldia gracilis* sur sols brun rouge subarides peu différenciés, sur sables éoliens de l'Erg récent. [31] trouvèrent sur sables éoliens, des fréquences spécifiques de 36,7% pour *Alysicarpus ovalifolius* ; 23,9% pour *Cenchrus biflorus* ; 17% pour *Schoenefeldia gracilis* et 15,4% pour *Aristida mutabilis* et 15 autres espèces diverses ;
- À Worro, l'un des sites de la zone d'étude, 58,33% de *Cenchrus biflorus*; 18% de *Aristida longiflora* et 23,67% de sol nu ont été recensés sur des dunes fixées par [32] ;
- Sur plusieurs sites de la région de Zinder couvrant la zone d'étude, [33] ont relevé 252 espèces végétales sur les dunes fixes dont 49 espèces de Poaceae avec 19,44 % ; 23 espèces de Leguminosae-Papilionoideae avec 9,13 % ; 16 espèces de Convolvulaceae avec 6,35 % ; 14 espèces



de Cyperaceae avec 5,56 % et 11 espèces de Leguminosae-Mimosoideae avec 4,37 % ;

- Dans la commune de Mainé Soroa à caractéristiques pédoclimatiques voisines de la zone d'étude, [19]; ont recensé 5 groupements des végétaux comportant 28 espèces herbacées et 10 ligneux, avec des recouvrements moyens variant entre 0,10% (le plus faible) et 26,20% (le plus élevé).

De toutes les espèces rencontrées, *Cenchrus biflorus* est l'espèce dominante quel que soit le type de dune et l'année de collecte des informations. Ces résultats corroborent ceux de [29] qui considèrent *Cenchrus biflorus* comme espèce dominante des zones perturbées et ceux de [8], qui ont constaté une forte augmentation de la densité de *Cenchrus biflorus* dans le Sahel, après la sécheresse de 1984 à 1992.

La faiblesse de la couverture végétale sur les dunes dégradées est due non seulement à la mobilité du système mais aussi à l'absence ou la mauvaise production de semences l'année précédente. L'absence de végétation au niveau du Bas est liée à l'érosion du sol meuble transportant le stock de semences par déflation. L'hétérogénéité de couverture observée entre la Crête et le Front (avec une tendance d'une meilleure couverture sur le Front) peut être due à l'enfouissement en profondeur du stock de graines par l'accumulation des dépôts de sable au niveau de la Crête. Le phénomène de faiblesse de couverture en végétation a été d'ailleurs, parfois observé même dans le système fixé non perturbé (parcours de pâturage) [8]. Pour cet auteur et ses collaborateurs, cette situation résulte des mêmes conditions d'appauvrissement du stock de semences (déflation et enfouissement en profondeur du stock de graines du sol), précédemment décrites. Pour Elberse et Breman (1990) in [8], une faible densité végétale pourrait également résulter de l'épuisement du stock de semences par une succession d'événements de germination et de développement des semis interrompus par des ruptures successives de pluies au début de la saison des pluies.

Les tableaux 14, 15 et 16 donnent respectivement la fréquence spécifique des espèces recensées ; le taux de sol nu et le recouvrement herbacé des dunes dégradées en 2013, 2014 et 2015, toutes les espèces confondues. Le recouvrement herbacé varie en fonction du type de dune, de la position topographique et de l'année de collecte des données. Il est nul sur le Bas quel que soit le type de dunes et l'année considérée. Il varie en moyenne de 3,51% ; 0,40% ; 2,85% ; 2,54% en 2013 ; de 2,94% ; 1,39% ; 3,30% et 2%, en 2014 et 3,63% ; 2,22% ; 3,69% ; 5,16% en 2015 respectivement, pour le champ de dunes partiellement fixées, le champ de dunes vives, la dune isolée partiellement fixée et la dune isolée vive. Celui-ci varie en moyenne de 1,16% ; 1,23% et 2,30%, sur la Crête

respectivement, en 2013, 2014 et 2015. Sur le Front, suivant le même ordre (2013, 2014 et 2015), il prend des valeurs de 5,82% ; 5,98% et 8,72%.

Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur les valeurs de la fréquence spécifique toutes espèces confondues sur les dunes dégradées (tab 17) ont montré que celle-ci est très significativement ($p < 0,001$) influencée par la position topographique sur les dunes. Le type de dunes, le niveau de dégradation, l'année de collecte et les interactions entre facteurs n'ont pas eu d'effets statistiquement significatifs sur la fréquence spécifique toutes espèces confondues des sols des dunes dégradées.

Tab. 14 : Fréquence spécifique, toutes les espèces herbacées confondues sur les dunes dégradées en 2013, 2014 et 2015

TD/ND		PT	FS	TD/ND
	Année	2013	2014	2015
CDPF	Bas	0	0	0
	Crête	6,76	8,4	11,26
	Front	35,44	26,9	32,27
CDV	Bas	0	0	0
	Crête	0,88	0	0
	Front	3,90	16,64	26,67
DIPF	Bas	0	0	0
	Crête	7,01	10,27	9,9
	Front	27,27	29,41	34,41
DIV	Bas	0	0	0
	Crête	3,90	1,135	15,64
	Front	26,66	22,91	46,29

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 15 : Taux de sol nu sur les dunes dégradées en 2013, 2014 et 2015

TD/ND		PT	FS	TD/ND
	Année	2013	2014	2015
CDPF	Bas	100	100	100
	Crête	98,31	97,90	97,19
	Front	91,14	93,28	91,93
CDV	Bas	100	100	100
	Crête	99,78	100	100
	Front	99,03	95,84	93,33
DIPF	Bas	100	100	100
	Crête	98,25	97,43	97,53



	TD/ND	PT	FS	TD/ND
DIV	Front	93,18	92,65	91,40
	Bas	100	100	100
	Crête	99,03	99,72	96,09
	Front	93,34	94,27	88,43

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 16 : Recouvrement herbacé sur les dunes dégradées en 2013, 2014 et 2015

	TD/ND	PT	FS	TD/ND
	Année	2013	2014	2015
CDPF	Bas	0	0	0
	Crête	1,69	2,1	2,82
	Front	8,86	6,72	8,07
CDV	Bas	0	0	0
	Crête	0,22	0	0
	Front	0,97	4,16	6,67
DIPF	Bas	0	0	0
	Crête	1,75	2,57	2,47
	Front	6,82	7,35	8,60
DIV	Bas	0	0	0
	Crête	0,97	0,28	3,91
	Front	6,66	5,73	11,57

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 16 : Résultats d'analyse de variance sur le taux de sol nu en fonction de type de dune et de la position topographique, toutes les années de collecte des données confondues

SV	Ddl	CM	TF	P
TD	1	7,471	3,704	0,066 ^{NS}
ND	1	9,631	4,775	0,039 [*]
PT	2	154,19	76,451	<0,001 ^{***}
TD * ND	1	8,781	4,354	0,048 [*]
TD * PT	2	2,653	1,315	0,287 ^{NS}
ND * PT	2	2,553	1,266	0,300 ^{NS}
TD * ND * PT	2	3,624	1,797	0,187 ^{NS}
Erreur	24	2,017		
Total	36			

SV = Source de Variation ; Ddl = Degré de liberté ; CM = Carré Moyen ; TF = Test F ; P = Probabilité ; TD = Type des Dunes ; ND = Niveau de Dégradation ; PT = Position Topographique.

Source : Données personnelles recueillies

Les résultats de comparaison des moyennes du paramètre "fréquence spécifique toutes espèces confondues" (figure 1 A), montre que celle-ci est meilleure sur le Front que sur la Crête, elle est nulle sur le Bas. Toutefois, même si par ailleurs le test statistique n'a pas mis en évidence un effet significatif pour le niveau de dégradation des dunes et l'interaction entre type de dune et niveau de dégradation, on constate que :

- Le système partiellement fixé est légèrement mieux couvert que le système vif (Cf. Fig. 1 B) ;
- Pour les champs de dune, les dunes partiellement fixées sont mieux végétalisées que les dunes vives. Pour les dunes isolées, aucune différence n'est observable (Cf. Fig. 1 C). Cette situation est due du fait que dans un champ de dunes, les dunes sont relativement isolées des espaces non dunaires qui les entourent (sauf pour les dunes situées en bordure). Ainsi, on peut comprendre que les champs de dunes vives présentent peu de plants car les semences doivent 'venir de loin'. Pour les dunes isolées, l'entourage immédiat de la dune aura un gros impact. Même si une dune isolée est vive, il y a plein de végétation tout autour. Donc une dune isolée, qu'elle soit vive ou partiellement fixée, présentera probablement un stock de graine substantiel. En gros, les caractéristiques floristiques des champs des dunes partiellement fixées, des dunes isolées partiellement fixées et des dunes isolées vives sont assez proches. Seuls les champs des dunes vives se distinguent nettement des trois autres, et cela s'explique par leur isolement relatif.

En comparant les années, le recouvrement de 2015 est légèrement meilleur à celui de 2014, lui-même meilleur à celui de 2013 quelles que soient les deux positions topographiques (Crête et Front) où la végétation s'est installée (Cf. Fig. 1 D). Cette tendance peut être expliquée par les paramètres pluviométriques (tableau 17) relevés au niveau d'une station placée sur un des sites le plus au centre des dunes étudiées.

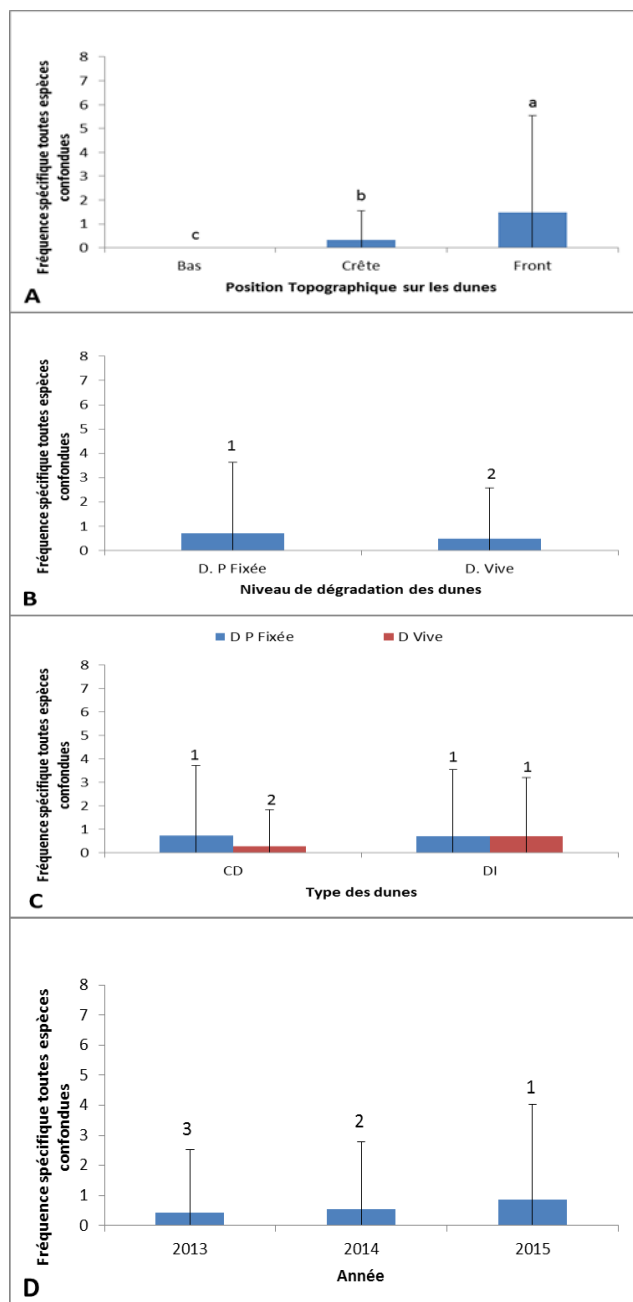


Fig. 1: Résultats de la comparaison des moyennes de la fréquence spécifique toutes espèces confondues sur les sols des dunes dégradées, A) en fonction de la position topographique sur les dunes (test statistiquement significatif), B) comparaison en fonction de du niveau de dégradation sur les dunes, C) comparaison en fonction de l'interaction type des dunes – niveau de dégradation et D) comparaison en fonction des années de collectes des données

Source : Données personnelles recueillies

Tab. 17: Paramètres pluviométriques relevés au niveau de la station du site expérimental de N'Guel Magagi. Site situé approximativement au centre des dunes étudiées

Paramètre	Années			
	2013	2014	2015	2016
EP (jr)	18	13	14	13
CP (mm)	272	247	357	359
LEP/Jr (mm)	15,1±10,3	19±3,7	25,5±19	27,61±19,3
IT (jr)	6,4±6,1	8,6±7,7	6,6±4,1	5,5±4,2

E P = Nombre d'évènements pluvieux ; C P = Cumul de pluie ; L E P = lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie ; I T = Intervalle de temps moyen entre deux pluies.

Source : Données personnelles recueillies

En effet, même si les quantités totales annuelles de pluies tombées ne suivent pas la même tendance avec le recouvrement herbacé, la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie l'est, car elle est de 25,5 mm ; 19 mm et 15,11 mm, respectivement en 2015, 2014 et 2013. Bien que selon [1], l'incidence exacte de la pluviométrie sur le matériel vivant soit mal connue en conditions naturelles, plusieurs études antérieures [34], [35], [36], [37], [38] ont montré que plus une lame d'eau est importante, plus elle provoque des levées importantes des herbacées résistantes au stress hydrique dont la majorité accomplit son cycle et donne un meilleur recouvrement du sol.

Aussi, [39] ont montré que la couverture et l'abondance des espèces herbacées étaient étroitement liées aux précipitations. Cependant, même dans le cas d'un meilleur recouvrement, les dunes dégradées du sud-est du Niger sont peu couvertes par la végétation. En effet, celui-ci varie de 0 à 11,6% seulement (toutes dunes, toutes positions et toutes années de collecte confondues). Par conséquent, les indices de diversité et d'abondance calculés sont faibles (tableau 18).

Ces résultats corroborent ceux de [4] qui ont montré que la flore de cette partie du pays est dominée par des espèces annuelles dont l'établissement et la distribution sont très sensibles à la pluviométrie et à la topographie, bien que ces auteurs avaient travaillé sur les jachères, mieux couvertes que les dunes dégradées. De même, dans un essai de réhabilitation en zone aride en Tunisie, [40] ont constaté que malgré des conditions favorables (année pluvieuse), le couvert végétal total du témoin (non traité) n'a atteint que 3 % de la surface du sol.

Tab. 18 : Variation des indices de la végétation herbacée des dunes dégradées du Sud-est nigérien

Année	Indices	CDPF			CDV		
		B	C	F	B	C	F
2013	H'	0	0,74	1,91	0,99	2,81	
	S	0	4	16	2	9	
	E	0	0,37	0,48	0,99	0,89	
	D	0	0,76	0,42	0,51	0,18	
2014	H'	0	1,67	1,85	0	2,10	
	S	0	7	13	0	10	
	E	0	0,60	0,50	0	0,63	
	D	0	0,39	0,31	0	0,33	
2015	H'	0	1,27	1,55	0	1,77	
	S	0	4	8	0	10	
	E	0	0,64	0,52	0	0,53	
	D	0	0,53	0,48	0	0,45	
Année	Indices	DIPF			DIV		
		B	C	F	B	C	F
2013	H'	0	0,43	1,80	2,34	2,78	
	S	0	3	10	8	14	
	E	0	0,27	0,54	0,78	0,73	
	D	0	0,87	0,47	0,28	0,20	
2014	H'	0	1,84	1,93	1,68	2,19	
	S	0	9	9	4	13	
	E	0	0,58	0,61	0,84	0,59	
	D	0	0,37	0,36	0,36	0,33	
2015	H'	0	1,93	1,90	2,28	2,34	
	S	0	8	12	8	13	
	E	0	0,64	0,53	0,76	0,63	
	D	0	0,33	0,44	0,29	0,32	

H' = indice de diversité alpha ; S = la richesse spécifique; E = indice d'équitabilité; D = indice de dominance.

Source : Données personnelles calculées

L'examen du tableau 18 montre que, en 2013, la diversité (2,81) est plus élevée sur le front des champs de dunes vives, avec une richesse spécifique de 9 espèces et un indice d'équitabilité de 0,89, ce qui signifie que ces espèces ont plus ou moins la même abondance (E = 1 quand toutes les espèces ont la même abondance). La plus grande richesse spécifique (16 espèces) a été obtenue sur le front des champs des dunes partiellement

fixées. Ces espèces ne sont pas équitablement réparties car l'indice d'équitabilité vaut 0,48.

En 2014, c'est le front des dunes vives qui présente la plus grande diversité (2,19), avec la richesse spécifique la plus élevée (13 espèces) qu'elle partage avec le Front des champs des dunes partiellement fixées. La diversité spécifique est similaire sur toutes les positions végétalisées car les valeurs de l'indice de dominance calculées sont très proches (varient de 0,31 à 0,39).

En 2015, c'est encore, le front des dunes vives qui présente la plus grande diversité (2,34), avec une richesse spécifique de 13 espèces, la plus élevée. La répartition des individus au sein des espèces semble montrer la dominance de certaines espèces sur d'autres car l'indice d'équitabilité diffère de 1 (varie de 0,52 à 0,76) sur toutes les positions végétalisées.

Ces résultats sont semblables à ceux de [33] qui relevèrent, dans la commune de Gouré, 12 espèces avec une diversité de 2,94 et 10 espèces avec une diversité de 2,04, respectivement dans un champ et sur un parcours de pâturage. [41] avaient également recensé en moyenne 14,42 espèces dans un « Groupement à *Alysicarpus ovalifolius* et *Cenchrus biflorus* » sur une dune dans la région de Maradi au centre du pays. Seules quelques espèces déterminent le recouvrement et les valeurs calculées de l'équitabilité de Pielou sont faibles ($0,5 < R < 1$), comme observé par [42]. Cependant, contrairement à cette étude, [33] ont relevé seulement un taux de sol nu de 17,5% et 7%, respectivement, sur un champ et un parcours de pâturage. La diversité en espèces des dunes dégradées, tout au moins au niveau des positions topographiques Front et Crête, est conservée, malgré l'instabilité qui caractérise ce milieu. Ladite diversité est identique à celle des dunes non dégradées (parcours de pâturage), mais qui est de loin la mieux couverte par la végétation (plus grande abondance).

4. Conclusion

En somme, la diversité herbacée sur les dunes dégradées est pratiquement la même que celle des dunes naturellement fixées. Mais ces dernières sont de loin les mieux couvertes en termes d'abondance. La majorité des espèces herbacées de ces dunes germent au niveau de la position topographique Front. Le taux de sol nu sur ces dunes dégradées est toujours supérieur à 90%. Les quelques rares espèces des dunes dégradées, se développent dans des conditions précaires de nutrition minérale associées à des caprices pluviométriques.

Ce travail de caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger pourrait servir d'un excellent outil de planification pour récupérer ces sols dégradés, car il peut être utilisé pour choisir les espèces à épandre lors des opérations de fixation des dunes et de



privilégier les types de dunes et/ou les entités des dunes à ensemercer. Cette étude peut être complétée en étudiant le comportement des espèces herbacées des dunes dégradées de la levée à la maturité.

Remerciement

Les auteurs remercient l'ARES, la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et Earth and Life Institute, de l'Université catholique de Louvain pour le soutien financier et matériel.

Références bibliographiques

- [1] P. Ndjaye, "Le potentiel de reconstitution de la végétation herbacée au Sahel : réflexions sur le rôle des graines". *Revue de géographie de Lyon*, 70, 3-4, 1995, 261-266.
- [2] L. Shou-Li, Y. Fei-Hai, J. A. Marinus Werger, D. Ming, A. Pieter Zuidema, "Habitat-specific demography across dune fixation stages in a semi-arid sandland: understanding the expansion, stabilization and decline of a dominant shrub". *Journal of Ecology*, 99, 2011, 610-620.
- [3] P. Hiernaux, H. N. Le Houérou., "Les parcours du Sahel", *Sécheresse*, 17, 1-2, 2006, 51-71.
- [4] A. Mahamane, A. Ichaou, K. J-M. Ambouta, S. Mahamane., B. Morou, I. Amani, H. Mahamadou, J.M d'Herbès, P. Gineste, I. Wata, A. Issaka, "Indicateurs écologiques de la période optimale de remise en culture de jachères au Niger", *Sécheresse*, 18, 4, 2007, 289-295.
- [5] L.R. Oldeman, R. T. A. Hakkeling, W. G. Sombroek, "World map of the status of human-induced soil degradation". A explanatory note. Second revised edition. *ISRIC and UNEP*, 1991, 34.
- [6] M. Grouzis, J. Albergel, "Du risque climatique à la contrainte écologique: incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso". In « Le risque en agriculture », Eldin M., Milleville P. Edition, Collection à travers Champs, ORSTOM, Paris, 1989, 243-254.
- [7] P. Ozer, "Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification". *Revue internationale d'écologie et de géographie tropicale*, 24, 2001, 13-17.
- [8] P. Hiernaux, E. Mougin, L. Diarra, N. Soumaguel, F. Lavenue, Y. Tracol, M. Diawara, "Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali". *Journal of Hydrology*, 375, 2009, 114-127.
- [9] C. Biëlders, E. Tielkes, H. Sagebiel, P. Payet, O. N. Adamou, "Fixation des dunes de sable (Niger)". *WOCAT SLM DABASE*, 2011, 6.
- [10] A.D. Tidjani, A. Abdourhamane Toure, J. L. Rajot, B. Marticorena B, C. L. Biëlders, C. Bouet, "Flux éolien et dynamique des fronts dunaires dans le manga, sud-est du Niger". *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 28, 2016, 323-332.
- [11] O. Ndiaye, A. T. Diop, L. E. Akpo, M. Diène, "Dynamique de la teneur en carbone et en azote des sols dans les systèmes d'exploitation du Ferlo : cas du CRZ de Dahra". *Journal of Applied Biosciences*, 83, 2014, 7554-7569.
- [12] Biëlders C. L., Alvey S. & Cronyn N., 2001. Wind erosion: the perspective of grass-roots communities in the Sahel. *Land Degradation Development*, 12: 57-70.
- [13] P. Ozer, 2004. Bois de feu et déboisement au Sahel : mise au point. *Sécheresse*, 15, 3: 243-251.
- [14] M. O. Laminou, M. Zaman Allah, P. Ozer, R. Paul & A. Mahamane, 2013. La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales. *Tropicultura*, 31, 4: 260-271.
- [15] J. K. Leenders., J. H. van Boxel & G. Sterk, 2007. The Effect of Single Vegetation Elements on Wind Speed and Sediment Transport in the Sahelian Zone of Burkina Faso. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 : 1454-1474. DOI: 10.1002/esp.1452.
- [16] S. Ibrahim, I. Ousseini, K. J-M. Ambouta, "Analyse comparée et interprétation des caractéristiques granulométriques des systèmes dunaires sahéliens et sahariens de l'est du Niger". *Geo-Eco-Trop*, 33, 2009, 31-38.
- [17] L.R. Oldeman, R. T. A. Hakkeling & W.G. Sombroek., 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. A explanatory note. Second revised edition. *ISRIC and UNEP*: 34.
- [18] S. A. Metwally, H. F. Abouzienna, M. H. Bedour M. M. Farahat Abou-Leila & E. El. Habba, 2016. Biological method in stabilization of sand dunes using the ornamental plants and woody trees: *Journal of Innovations in Pharmaceuticals and Biological Sciences*, 3, 1: 36-53.
- [19] K. K. A. Kaou, M. O. Laminou, I. Dan Guimbo, S. Karim, R. Habou, R. Paul, "Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Mainé soroa." *Journal of Applied Biosciences*, 120, 2017, 12053-12066.
- [20] M. Malam Assane, A. D. Tidjani, K. J-M. Ambouta, C. L. Biëlders, "Caractérisation physicochimique des sols des dunes dégradées du sud-est du Niger" (soumis pour publication), 2018, 17.
- [21] PLECO, "Cartographie de la situation de l'ensablement, rapport provisoire Division des Statistiques et de la Cartographie Forestières". 2006, 66.
- [22] L. Kanembou, Processus d'ensablement des cuvettes dans la région de Gouré, et suivi de la dynamique par télédétection. Mémoire de maîtrise de géographie; Faculté des lettres et Sciences Humaines; *Université Abdou Moumouni de Niamey/Niger*, 2006, 132.



- [23] M. Karimou Barke, B. Tychon, I. Ousseini, K. J-M. Ambouta, M. O. Laminou, "Analyse de l'évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-est du Niger", *Geo-Eco-Trop*, 42, 2018, 251-265.
- [24] Z. Toudjani, M. Guéro, B. Amadou 2004. "Étude sur la Dynamique de l'Ensablement dans le Département de Maïné-Soroa". Projet d'Appui à la Gestion des Ressources Naturelles-PAGRN, Rapport, 2004, 40.
- [25] K. J-M. Ambouta, Z. Toudjani, G. Maman, A. Bachir, "Étude sur l'inventaire et la caractérisation pédologique et hydraulique des cuvettes oasiennes dans le Département de Maïné-Soroa, typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation". PAGRN, 2005, 24.
- [26] P. Daget, J. Poissonet, "Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies". *Ann. Agron.*, 22, 1, 1971, 5-41.
- [27] B. P. De Fabregues, "Lexique des plantes du Niger". Niamey: INRAN, 1979, 156.
- [28] M. Malam Assane, K. J-M. Ambouta, C. Biolders, A. D. Tidjani, A. L. Jacquemart, O. Laminou Manzo, "Evaluation du potentiel en semences viables des sols dunaires dégradés de Gouré (Sud-est du Niger)". *Geo-Eco-Trop*, 42 - 2, 2018, 301-314.
- [29] A. M. Peerzada, M. Naeem, H. H. Ali, A. Tanveer, M. M. Javaid, B. S. Chauhan, "Cenchrus biflorus Roxb. (Indian sandbur), a blessing or curse in arid ecosystems: a review". *Grass and Forage Science*, 72, 2016, 179-192.
- [30] P. Levang, M. Grouzis, 1980. "Méthode d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la marre d'Oursi, Haute-Volta". *Acta Oecologica/Oecologia. Plantarum*, 1, 16; 3, 1980, 231-244.
- [31] M. Grouzis, M. Méthy, "Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien : perspectives et limites". *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum*, 4, 18 ; 3, 1983, 241-257.
- [32] PLECO, "Situation de référence des sites de suivi des paramètres de l'ensablement et de la dégradation des terres (Végétation herbacées et états de surface) et mise en place du dispositif de suivi de Leptadenia pyrotechnica". Rapport provisoire, 2011, 49.
- [33] I. Soumana, A. Mahamane, Z. Gandou, M. Sani, I. Wata Sama, K. J-M. Ambouta, S. Mahamane, "Expériences des peuls Uda'en du Niger dans la gestion des parcours : quelle implication pour les politiques environnementales ?". *Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches*, 68, 2012, 129 -146.
- [34] A. Cornet, "Mesure de biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal". *Acta Oecologica/Oecologia. Plantarum.*, 2,16 ; 3, 1981, 251-266.
- [35] F.W.T. Penning De Vries, M.A. Djiteye M.A., "La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle". *Centre For Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen*, 1982, 525.
- [36] A. M. Cissé, "Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne". Thèse Doctorat. *Université Wageningen/Pys Bas*, 1986, 211.
- [37] M. Carrière, "Les communautés végétales sahéliennes en Mauritanie (région de Kaedi) ; analyse de la reconstitution annuelle du couvert herbacé". Thèse *Université de Paris sud centre d'Orsay/France*, 1989, 238.
- [38] M. Grouzis, "Germination et établissement des plantes annuelles sahéliennes". *IRD/ORSTOM, Paris*, 1992, 267-282.
- [39] XR. Li, ZS. Zhang, HJ. Tan, YH. Gao, LC. Liu, XP. Wang, "Ecological restoration and recovery in the wind-blown sand hazard areas of northern China: relationship between soil water and carrying capacity for vegetation in the Tengger Desert". *Sci China Life Sci*, 57, 2014, 539-548.
- [40] E. Le Floch, M. Neffat, M. Chaieb, R. Pontanier, "Un essai de réhabilitation en zone aride. Le cas de Menzel Habib (Tunisie)". *Colloque et congrès : Science et Changement planétaire/ Secheresse ; L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?*, 1995, 139-160.
- [41] A. Ali, S. Idrissa, K. Saley, C. Issa, A. Mahamane, S. Mahamane, "Flore et végétation des parcours naturels de la région de Maradi, Niger". *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34,1, 2017, 5354-5375.
- [42] A Mahamane, K. Saley, M. Saadou, S. Jauffret, I. Wata, B. Yacoubou, B. Morou, A. Diouf, I. Mamane Maarouhi, M. A. Issaka Zaman-Allah, A. Ichaou, I. Aboubacar, A. Tanimoune, "Variabilité climatique au Niger : Impacts potentiels sur la distribution de la végétation". *14 ème Colloque international en évaluation environnementale*; 26-29 mai 2009 Niamey (Niger), 2009, 1-28.