



Evaluation du potentiel en semences viables des sols dunaires dégradés de Gouré (sud-est du Niger)

Evaluation of the viable seed potential of degraded dune soils in Gouré (south-eastern Niger)

Maigari MALAM ASSANE ^{1,2*}, Karimou Jean-Marie AMBOUTA ¹, Charles L.BIELDERS ²,
Adamou Didier TIDJANI ¹, Anne-Laure JACQUEMART ² & Ousmane LAMINOU MANZO ³

Abstract: The revegetation of degraded dunes may depend on its seed potential, so that a better understanding of this may help find solutions for the problem of the discontinuity of the herbaceous cover of fixed sites. Control germination tests using soil horizon (0-5 cm) from 32 degraded dune buildings in the Department of Gouré (Niger) proved that they contained viable seeds. Their quantity depends on the type of dunes, and the topographic position on the dune. Thus, the best germinations are obtained on "isolated dunes" (DI) with 79% germination, and on the slip face topographical position with 98% of germinated plants, respectively for the type of dunes, the level of degradation and the topographic position on the dune. The biological spectrum consists of 9 herbaceous species distributed mainly in four families dominated by the Poaceae with six species. Of these nine species, *Cenchrus biflorus* alone accounts for 80% of all sprouting seeds.

Keywords: germination test, revegetation, degraded dune soils, herbaceous seeds, Gouré, Niger.

Résumé : La revégétalisation des dunes dégradées est dépendante de son potentiel en semences, si bien que sa connaissance pourrait contribuer à identifier des solutions pour le problème de discontinuité de la couverture herbacée des sites fixés. Des tests de germination en condition contrôlée à l'aide d'échantillons de sols d'horizon de surface (0-5 cm) de 32 édifices dunaires dégradés du Département de Gouré (Niger) ont prouvé que ceux-ci contiennent des semences viables. Leur quantité est cependant fonction du type de dunes et de la position topographique sur la dune. Ainsi, les meilleures germinations sont obtenues sur des « dunes isolées » (DI) avec 79 % de germinations et sur la position topographique « front dunaire » avec 98 % de plants germés, respectivement pour le type de dunes, le niveau de dégradation et la position topographique sur la dune. Le spectre biologique est constitué de neuf espèces d'herbacées réparties essentiellement en quatre familles dominées par les Poacées avec six espèces. De ces neuf espèces, *Cenchrus biflorus* représente à elle seule 80 % de l'ensemble des semences germées.

Mots clés : test de germination, revégétalisation, sols dunaires dégradés, semences d'herbacées, Gouré, Niger.

INTRODUCTION

Les effets combinés de la pression anthropique et des changements climatiques contribuent à accélérer la dégradation des sols à travers la planète et plus particulièrement au Niger (HOUNTONDJI *et al.*, 2005 ; LAMINOU MANZO *et al.*, 2013 ; OZER *et al.*, 2005, 2009, 2017 ; TIDJANI, 2008 ; TOURE, 2010 ; TYCHON & AMBOUTA, 2009). Les activités anthropiques, le surpâturage, la déforestation et les pratiques agricoles inappropriées jouent un rôle primordial dans ce processus (ARIORI & OZER, 2005 ; BIELDERS *et al.*, 2004 ; OZER, 2004, 2010 ; TIDJANI *et al.*, 2009b) et ont de lourdes conséquences sociales, économiques, écologiques et sanitaires (ABDOU & ADJI, 2009 ; CONEDERA *et al.*, 2010 ; DE LONGUEVILLE *et al.*, 2009, 2013 ; GEMENNE *et al.*, 2017 ; OZER, 2005).

¹ Département Sciences du sol, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger. *Auteur correspondant : dounamamadou@yahoo.fr

² Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.

³ Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo, Maradi, Niger.

Les zones arides à sols dégradés sont sujettes à des activités éoliennes intenses à cause de leur faible densité en végétation (DE LONGUEVILLE *et al.*, 2010). Les vents favorisent alors d'importantes pertes en sédiments (BIELDERS *et al.*, 2002 ; OZER, 2000, 2002 ; RAJOT, 2001 ; TIDJANI *et al.*, 2009a) qui, au fil du temps, s'accumulent, formant des dunes de sable qui migrent selon la direction des vents dominants (BODART & OZER, 2009 ; TYCHON & AMBOUTA, 2009). Dans leur mouvement, ces dunes ensevelissent progressivement tout ce qui se trouve sur leur trajectoire (AMBOUTA & TIDJANI, 2006; KARIMOU BARKE *et al.*, 2018 ; PLECO, 2010 ; TIDJANI, 2008). La reconstitution de la couverture végétale est l'un des principaux facteurs qui aidera à récupérer les écosystèmes dégradés afin d'assurer à l'homme les conditions de sa survie matérielle (CONEDERA *et al.*, 2010 ; RIBOLZI, 2006 ; TYCHON *et al.*, 2009). Cependant, cette reconstitution est fortement dépendante de la banque de semences des sols à restaurer (GARCIA-FAYOS *et al.*, 2010 ; LI *et al.*, 2012, 2014). C'est ainsi que les banques de semences en différentes conditions de sols ont été explorées (GARCIA-FAYOS *et al.*, 2010 ; LI *et al.*, 2012, 2014 ; PORTZ *et al.*, 2014 ; TEKETAY & ANDERS, 1995). Malgré cet intérêt affiché pour l'étude des banques de semences, celle du milieu dunaire n'a bénéficié que de rares explorations approfondies (QIAN *et al.*, 2016).

Dans le sud-est du Niger, les superficies des sols dunaires fortement dégradés sont passées de moins de 70 ha en 1975 à plus de 300 000 ha en 2005 (TOUDJANI, 1996). Restaurer ces sols constitue un enjeu majeur de l'Etat nigérien et cette reconstitution fait recours généralement à la fixation de dunes. Cependant, l'efficacité des techniques utilisées reste mitigée car, souvent, obtenir une couverture herbacée uniforme au niveau des sites de récupération (fixation des dunes) est loin d'être réalisable. C'est ainsi qu'il a été constaté empiriquement, dans cette partie du pays, que la revégétalisation spontanée par des herbacées suite à la fixation mécanique de dunes est variable au niveau des sites de fixation des dunes. Elle s'observe généralement dès la première saison des pluies après la fixation mécanique de la dune vive au niveau des zones d'accumulation et est médiocre à nulle au niveau des zones de déflation (HANAROU, 2012 ; BOUKARI, 2013). Pour une meilleure valorisation de l'investissement, une couverture herbacée uniforme serait l'idéal pour toute action de fixation de dune. Une meilleure connaissance des facteurs qui gouvernent la revégétalisation spontanée pourrait permettre de mieux cibler les mesures correctives et donc d'améliorer l'efficacité de la fixation. Investiguer donc les raisons de cette insuffisance de la réussite de la fixation des dunes amène à évaluer le potentiel en semences d'herbacées selon le type de dune, le niveau de dégradation des dunes et la position topographique au sein d'un même édifice dunaire. La présente étude, qui a pour objectif de quantifier les semences viables des sols dunaires, constituera un point de départ en vue de produire des outils d'aide à la décision permettant d'orienter les programmes d'ensemencement des sites de fixation de dune, pour une meilleure réussite des actions de restauration.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

L'étude est conduite 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 (OZER & ERPICUM, 1995). Le paysage dunaire est composé de dunes fixes naturellement couvertes par la végétation et de dunes vives dépourvues de couvert herbacé. Ce travail est centré sur ces dernières. Ces édifices dunaires se caractérisent par trois sources de variation :

- Le type de dune (TD), composé de « dune isolée » (DI) et de « champ de dunes » (CD);
- Le niveau de la dégradation des dunes (ND), comportant la « dune partiellement fixée » (PF) et la « dune vive » (V);
- La position topographique (PT) sur la dune : le Bas, la Crête, et le Front.

Pour cette étude, trente-deux sites dunaires ont été identifiés et retenus. Ces édifices dunaires sont localisés (Fig. 1) dans le secteur présentant tous les types de dunes précités et n'ayant jamais fait l'objet d'interventions (actions de fixation). Selon PLECO (2006), l'importance des dunes vives (champs de dunes (CD) et dunes isolées (DI) confondus) dans cette zone est passée de 10 053 ha en 1986 à 30 029 ha en 2005.

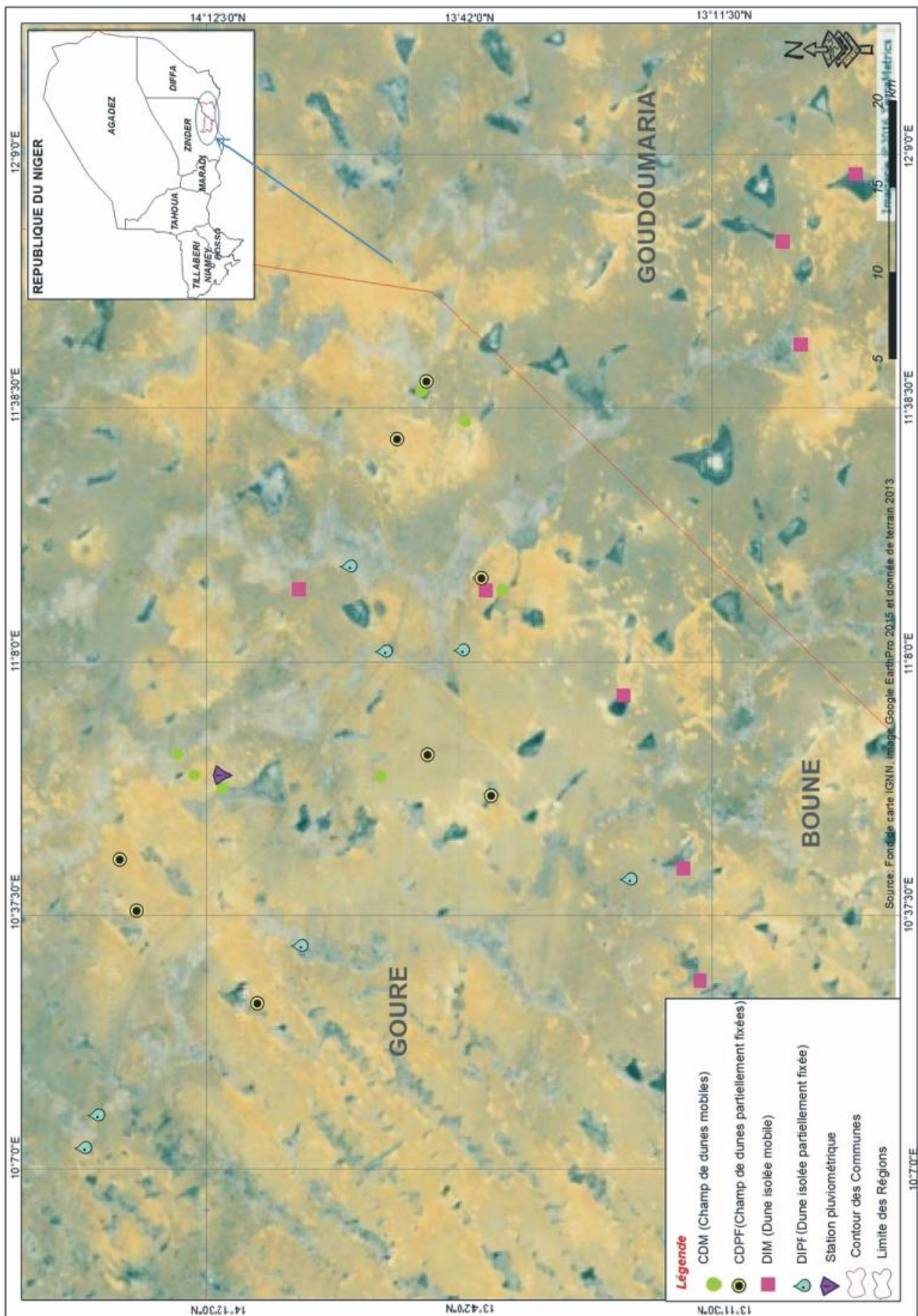


Figure 1: Localisation des dunes échantillonnées dans la zone d'étude.

Prélèvement des échantillons de sols

Au niveau de chaque édifice dunaire faisant l'objet d'un suivi, trois positions topographiques (Fig. 2) 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 l'édifice dunaire (la Crête). Pour chaque position, des échantillons de sol ont été prélevés en vue de faire des tests de germination.

Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'échantillonneurs métalliques de 20 cm x 20 cm de surface pour 5 cm de hauteur. Cette hauteur correspondant à la profondeur d'enfoncement de l'échantillonneur dans le sol est considérée comme étant la couche de sol renfermant le maximum de semences herbacées dans les édifices dunaires (CARRIERE, 1989 ; CISSE, 1986 ; HIERNAUX & LE HOUEROU, 2006 ; QIAN *et al.*, 2016). Pour chaque position topographique (unité morphologique), l'échantillonneur est enfoncé dans le sol sur 10 emplacements au hasard et le contenu déversé dans un sac pour constituer un échantillon composite (environ 25 kg de sol). Sur cette base, au total, 96 échantillons de sol sableux ont été constitués pour les 32 dunes identifiées. Les échantillons sont conservés dans des sacs en polyéthylène, à l'état sec, à l'abri de toute pollution atmosphérique. Le prélèvement des échantillons des sols a été effectué du 25 avril au 2 mai 2013 car, dans la zone d'étude, le mois de mai marque la fin de la saison sèche et qu'à partir de ce mois, il est fort probable que toute la dynamique semencière annuelle soit terminée. Au-delà de cette date, il faut noter qu'il y aurait risque d'enregistrer les premières pluies qui feront germer une partie des semences.

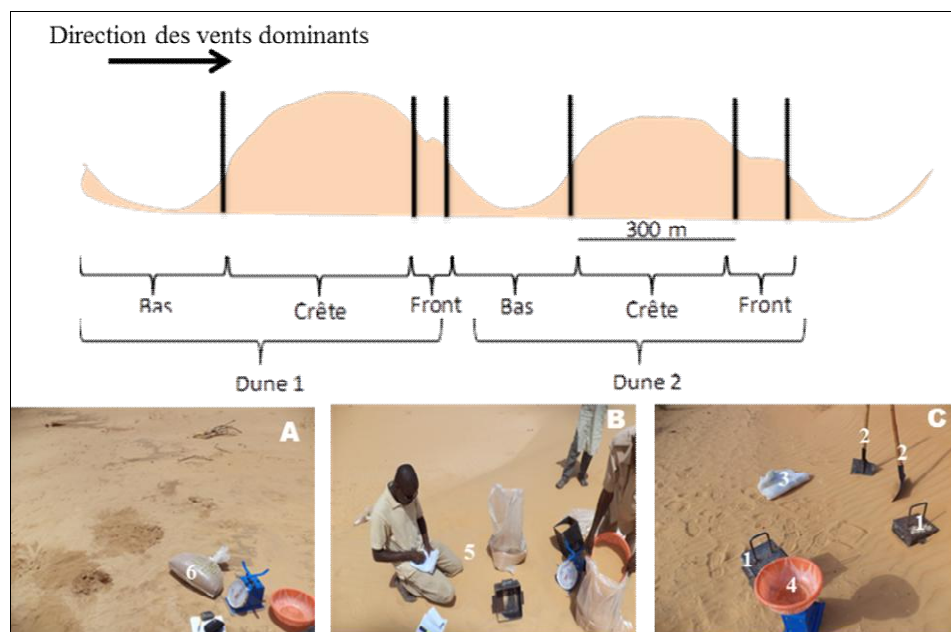


Figure 2: Illustration des trois positions topographiques (A = Bas ; B = Crête ; C = Front) d'un édifice dunaire où ont lieu les prélèvements des échantillons de sol. 1 = échantillonneurs; 2 = pèles pour soulever les échantillonneurs; 3-5-6 = sacs en polyéthylène; 4 = balance

Test de germination

Le test de germination est conduit sous un hangar (Fig. 3) dans des bacs de germination de 30 x 20 cm de section pour 5 cm de hauteur. Les conditions hydriques dans chaque bac sont maintenues proches de la capacité au champ. Pour chaque échantillon composite, six répétitions sont faites. Pendant la durée de l'expérimentation un tissu à maille très fine et transparent couvre les bacs de germination afin d'éviter tout risque de contamination extérieure. Le substrat dans le bac est remué au 15^{ème} jour après le début du test afin de permettre aux graines viables non germées d'être en position idéale de germination.



Figure 3: Bacs de germination disposés sur des tables en bois sous le hangar expérimental

Avant l'introduction des échantillons de sol dans le bac, le fond de chaque bac est perforé avec une pointe de 2 mm. Par la suite, une couche de mousse industrielle de 2 cm est placée au fond du bac sur laquelle une couche de 2 cm de l'échantillon de sol est déposée (environ 2 kg de sol). Ce dispositif permet d'une part d'éviter l'asphyxie des plantules dans les bacs en drainant l'excès d'eau à travers les perforations de la base inférieure, et d'autre part de maintenir l'humidité le plus longtemps possible au sein des bacs par l'intermédiaire de la mousse industrielle. L'alimentation en eau est faite par un système de mouillage journalier à l'aide d'un pulvérisateur afin de minimiser l'impact des gouttes d'eau sur la surface du sol dans les bacs. La germination est suivie pendant 33 jours et le comptage des graines germées est fait toutes les 72 heures. Trois jours après leur apparition, les espèces sont identifiées sur la base des savoirs paysans, puis les plantules sont arrachées et présentées à une personne ressource pour confirmation.

Traitement des données

Les données quantitatives ont été soigneusement vérifiées à l'aide du logiciel Excel. Les traitements statistiques ont été réalisés avec SPSS version 20. L'ANOVA multivariée a été utilisée pour voir l'effet de type de dunes, du niveau de dégradation et de la position topographique sur la germination des semences. Si l'ANOVA a relevé des effets significatifs, un test post hoc de Tukey ($p < 0,05$) a été réalisé pour comparer les moyennes.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Durée de test

Le test de germination a duré 33 jours (Fig. 4). Les plants d'herbacées issus de la germination ont été dénombrés et identifiés toutes les 72 heures. L'analyse de la figure 4 montre que toutes les germinations ont eu lieu avant le 24^{ème} jour du test. Passé cette période, aucune nouvelle germination n'est enregistrée. Plus de 95% des graines avait germé en 12 jours. Le remuage du sol au 15^{ème} jour après le début du test a permis à quelques graines supplémentaires de germer, mais cette seconde vague de germination représente moins de 3 % du total des germinations. Les nouvelles germinations apparues après le 15^{ème} jour s'expliquent vraisemblablement par le fait que le remuage du sol avait permis à des graines mal positionnées de se retrouver dans une situation favorable à leur germination.

Diversité des espèces observées

Le tableau 1 donne la composition du spectre biologique suite au test de germination. Au total le test a permis d'enregistrer 9 espèces d'herbacées réparties essentiellement en quatre familles : la famille des Poacées (graminées) la plus dominante avec 6 espèces (*Alysicarpus ovalifolius*, *Aristida*

funiculata, *Brachiaria xantholeuca*, *Cenchrus biflorus*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Eragrotis tremula*), la famille des Asclepiadaceae avec une espèce (*Pergularia tomentosa*), la famille des Commelinaceae avec une espèce (*Commelina forskalaei*) et la famille des Cyperaceae avec également une espèce (*Cyperus amabilis*). Leurs fréquences d'apparition sur la durée du test sont présentées à la figure 5.

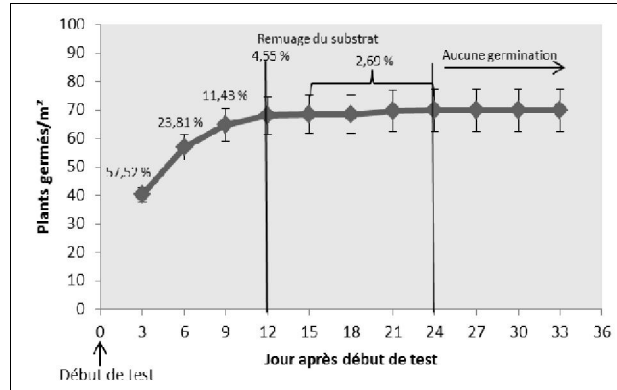


Figure 4: Evolution du nombre moyen cumulé de semences germées au cours des tests de germination. La barre d'erreur correspond à l'écart type.

Tableau 1: Fréquence d'apparition des plants, exprimée en pourcentage du nombre total de semences germées.

Espèces	Nombre de jours après le début du test											
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	Total
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	1,90	0,95	0,79	0,87	0,04	0,00	0,25	0,04	0,00	0,00	0,00	4,84
<i>Aristida funiculata</i>	1,61	0,62	0,95	0,29	0,21	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	3,93
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0,04	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
<i>Cenchrus biflorus</i>	49,44	20,12	7,83	1,90	0,21	0,04	0,62	0,17	0,00	0,00	0,00	80,33
<i>Commelina forskalaei</i>	1,20	0,46	0,87	0,21	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	2,82
<i>Cyperus amabilis</i>	1,41	0,95	0,41	0,12	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0,04	0,12	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
<i>Eragrotis tremula</i>	1,78	0,37	0,50	0,37	0,00	0,00	0,25	0,08	0,00	0,00	0,00	3,35
<i>Pergularia tomentosa</i>	0,08	0,21	0,08	0,54	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
Total	57,52	23,81	11,43	4,55	0,54	0,08	1,74	0,33	0,00	0,00	0,00	100

Effets de l'origine des échantillons de sol sur la germination

L'analyse de variance (Tab. 2) montre que le nombre total de semences germées est significativement influencé par les facteurs type de dune et position topographique des échantillons de sols utilisés. Le niveau de dégradation des dunes n'influence pas le nombre total de plants germés. Quand les espèces sont prises individuellement, la position topographique influence significativement la germination de toutes les espèces, excepté *Pergularia tomentosa*. Le niveau de dégradation des dunes influence la germination de 4 espèces (*Alysicarpus ovalifolius*, *Brachiaria xantholeuca*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Eragrotis tremula*) les 5 autres (*Aristida funiculata*, *Cenchrus biflorus*, *Commelina forskalaei*, *Cyperus amabilis* et *Pergularia tomentosa*) ne sont pas influencées. Quant au

type de dune, il influence significativement la germination des semences de toutes les espèces sauf *Commelina forskalaei*, *Cyperus amabilis* et *Pergularia tomentosa*.

Concernant les interactions : la germination de l'espèce *Pergularia tomentosa* n'est influencée que par l'interaction entre type de dune et niveau de dégradation (TD x ND). La germination d'*Aristida funiculata* est influencée par l'interaction entre type de dune et position sur la dune (TD x PT). Les germinations des espèces *Commelina forskalaei* et *Cyperus amabilis* ne sont pas influencées par l'interaction entre type de dune et position sur la dune (TD x PT) et l'interaction entre niveau de dégradation et position topographique (ND x PT).

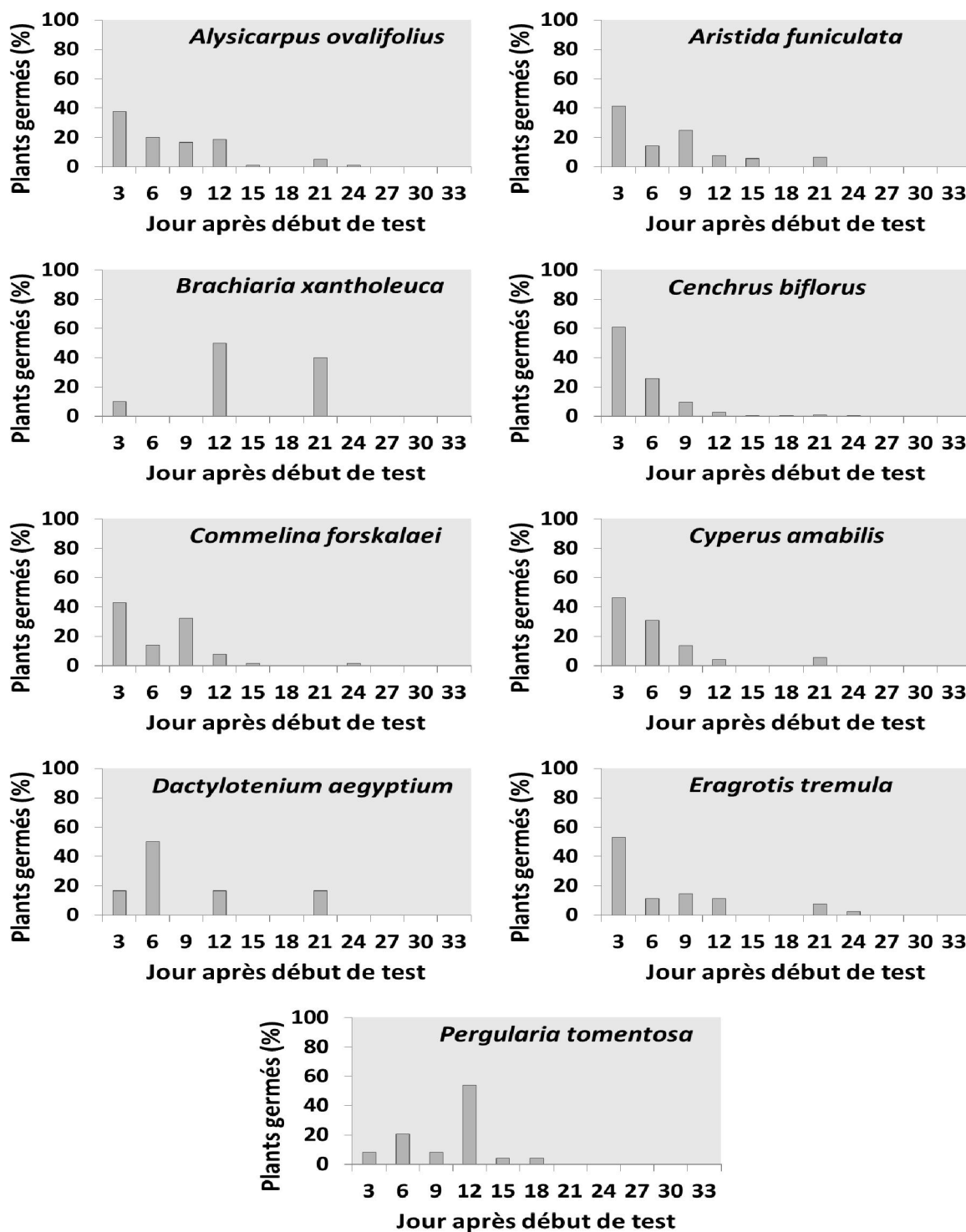


Figure 5 : Fréquence d'apparition des espèces en fonction du temps sur le front de la dune, tous types de dunes et de niveaux de dégradation confondus, exprimée en pourcentage du nombre total de semences germées.

Tableau 2: Résultats d'analyse de variance du nombre total de plants germés

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Test F	Probabilité
TD	1	327,727	56,525	<0,001 ^{***}
ND	1	18,568	3,203	0,074 ^{NS}
PT	2	867,793	149,674	<0,001 ^{***}
TD*ND	1	123,615	21,321	<0,001 ^{***}
TD*PT	2	304,427	52,506	<0,001 ^{***}
ND*PT	2	27,247	4,700	0,009 ^{**}
TD*ND*PT	2	138,861	23,950	<0,001 ^{***}
N R	31	55,288	9,148	<0,001 ^{***}
Résiduelle	6324	5,798	-	-
Total	6336	-	-	-

TD = Type de Dune; ND = Niveau de Dégradation; PT = Position Topographique. NR = Nombre de Répétition (nombre des dunes) *** = hautement significatif; ** = très significatif; * = significatif; NS = non significatif.

Les figures 6, 7 et 8 présentent respectivement le nombre de semences germées en fonction de type de dunes, le nombre de semences germées en fonction du niveau de dégradation des édifices dunaires et le nombre de semences germées en fonction de la position topographique sur la dune. L'analyse de ces figures montre que :

- le type de dunes influence la germination des semences et que le système isolé est plus riche en semences viables ;
- le niveau de dégradation des dunes n'influence pas la germination des semences ; le nombre de plants germés sur dans le sol du système vif est statistiquement le même que celui du système partiellement fixé ;
- le nombre moyen de graines germées est significativement plus élevé sur le front dunaire et ensuite sur la crête que sur le bas de la dune.

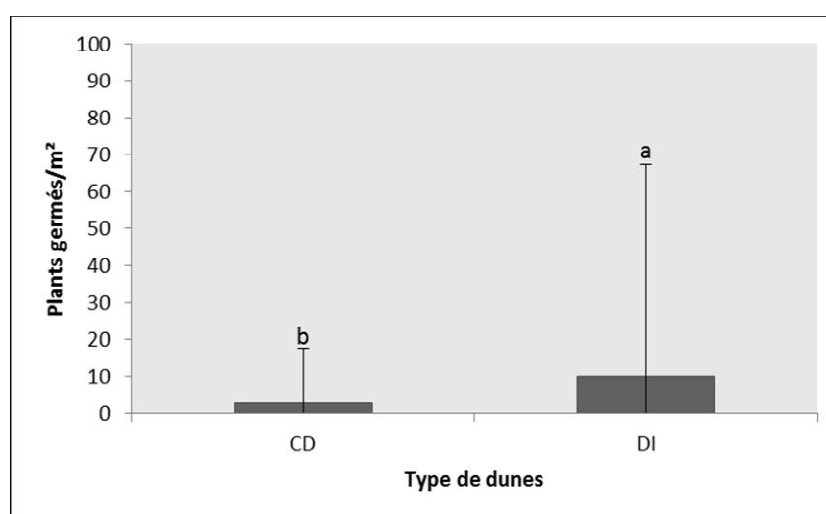


Figure 6 : Nombre moyen de semences germées en fonction du type de dune. Les barres d'erreurs représentent les écarts types. Les moyennes affectées de lettres différentes sont statistiquement différentes.

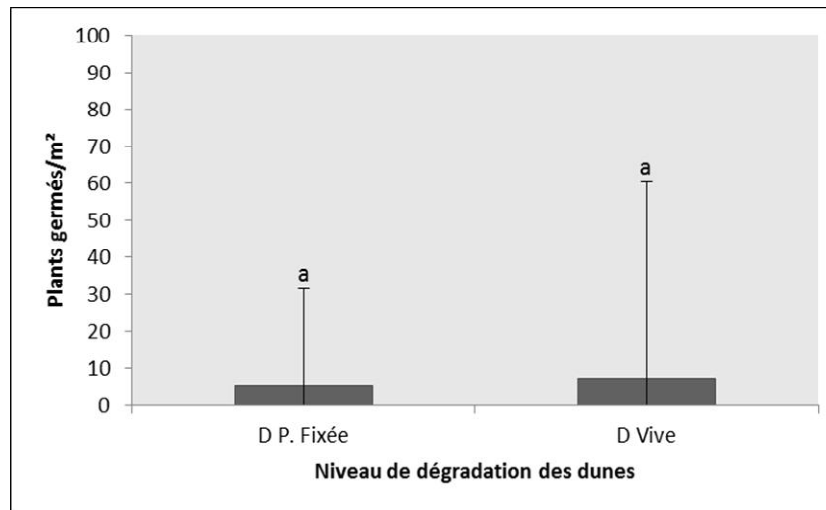


Figure 7 : Nombre de semences germées selon le niveau de dégradation des édifices dunaires. Les barres d'erreurs représentent les écarts types. Les moyennes affectées d'une même lettre identiques ne sont pas statistiquement différentes.

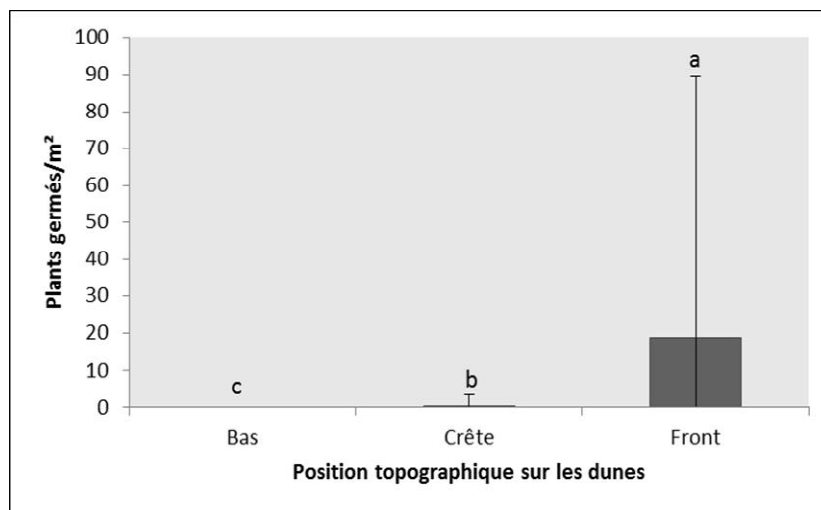


Figure 8 : Nombre moyen de semences germées selon le niveau topographique sur l'édifice dunaire. La barre d'erreur correspond à l'écart type. Les moyennes affectées de lettres différentes sont statistiquement différentes.

La performance des espèces à germer varie également en fonction du type de dunes (Tab. 3), du niveau de dégradation des édifices dunaires (Tab. 4) et de la position topographique sur la dune (Tab. 5).

Tableau 3: Aptitude (%) des espèces à germer selon le type d'édifices dunaires.

<i>Espèces</i>	<i>CD</i>	<i>DI</i>	<i>Total</i>
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0,66	4,18	4,84
<i>Aristida funiculata</i>	0,50	3,44	3,93
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0,04	0,37	0,41
<i>Cenchrus biflorus</i>	15,45	64,89	80,33
<i>Commelina forskalaei</i>	1,08	1,74	2,82
<i>Cyperus amabilis</i>	1,33	1,74	3,06
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0,25	0,00	0,25
<i>Eragrotis tremula</i>	0,17	3,19	3,35
<i>Pergularia tomentosa</i>	0,70	0,29	0,99
Total	20,17	79,83	100

Tableau 4 : Aptitude (%) des espèces à germer en fonction du niveau de dégradation des édifices dunaires.

<i>Espèces</i>	<i>D P. Fixée</i>	<i>D Vive</i>	<i>Total</i>
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	1,41	3,44	4,84
<i>Aristida funiculata</i>	2,07	1,86	3,93
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0,04	0,37	0,41
<i>Cenchrus biflorus</i>	35,16	45,18	80,33
<i>Commelina forskalaei</i>	1,24	1,57	2,82
<i>Cyperus amabilis</i>	1,49	1,57	3,06
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0,25	0,00	0,25
<i>Eragrotis tremula</i>	0,54	2,82	3,35
<i>Pergularia tomentosa</i>	0,70	0,29	0,99
Total	42,90	57,10	100

Tableau 5: Aptitude (%) des espèces à germer selon la position topographique sur l'édifice dunaire.

<i>Espèces</i>	<i>Bas</i>	<i>Crête</i>	<i>Front</i>	<i>Total</i>
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0,00	0,12	4,72	4,84
<i>Aristida funiculata</i>	0,00	0,12	3,81	3,93
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	0,00	0,00	0,41	0,41
<i>Cenchrus biflorus</i>	0,00	1,57	78,76	80,33
<i>Commelina forskalaei</i>	0,00	0,12	2,69	2,82
<i>Cyperus amabilis</i>	0,00	0,00	3,06	3,06
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0,00	0,00	0,25	0,25
<i>Eragrotis tremula</i>	0,00	0,00	3,35	3,35
<i>Pergularia tomentosa</i>	0,00	0,00	0,99	0,99
Total	0,00	1,95	98,05	100

Il ressort de l'analyse du tableau 3 que les espèces sont plus nombreuses à germer sur le type de « dune isolée », avec un taux de 79,83 % contre seulement 20,17 % pour le type de dune « champ de dune ». Le tableau 4 montre que le nombre de plants germés est plus important pour le niveau de dégradation « dune vive » avec un taux de 57,1 % que celui de « dune partiellement fixée », avec un taux de 42,9 %. Quant au tableau 5, il indique que les plants germent principalement sur la position topographique Front (98,05 %). La position topographique Bas n'enregistre aucune germination.

DISCUSSION

Les 33 jours de test de germination ont suffi à faire germer toute semence susceptible de donner une plantule, en témoignent les faibles germinations enregistrées du 12^e jour au 33^e jour (fin du test). Cette durée inclut les 2 à 4 jours observés par TOUPET (1984), CISSE (1986) et GROUZIS (1992) et est comprise dans les 15 jours rapportés par POILECOT (1999). En effet, ces auteurs qui ont travaillé sur des parcours de pâturage (milieu naturel), ont montré que la germination de semences d'herbacées en conditions sahéniennes s'effectue dans un délai de 2 et 4 jours selon la faculté germinative des semences et que les levées des herbacées sont terminées et les plantules définitivement installées endéans 15 jours. En outre, HIERNAUX et LE HOUEROU (2006) ont rapporté que les semences de la majorité des herbacées sahéniennes, même celles qui ont une dormance de quelques mois, ont une forte capacité germinative et germent dès que les pluies et l'humidité du sol le permettent.

La germination des graines est fortement conditionnée par la température de l'air et l'humidité du sol (LONCHAMP, 1984). Cette dernière étant plus ou moins contrôlée (mouillage journalier), les

différences qui pourraient advenir seraient liées à la température de l'air. Or, celle-ci est restée autour de $33^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durant l'expérimentation et la même pour tous les traitements. Ce niveau de température se trouve dans la gamme des températures qui ont permis le maximum de germination pour plusieurs espèces sahéliennes selon LE GRAND (1979). Ce dernier conclut que les températures optimales de germination tournent entre 30°C et 35°C . Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par BILLE et POUPON (1974).

La quantification des semences par la méthode des plantules émergentes est peu efficace comparée à d'autres méthodes lorsqu'il s'agit de déterminer le stock de semences total. Par exemple, elle a permis de recenser seulement 40 % des espèces contre 70-80 % des espèces par la méthode de tri (PUTZ & APPANAH, 1987). Mais dans le cadre de cette étude, c'est la fraction de semences viables qui est privilégiée du fait que seule celle-ci participe à la reconstitution du couvert végétal en conditions favorables. En outre, la méthode des plantules émergentes est la plus couramment utilisée du fait de sa facilité de mise en œuvre et de sa rapidité d'exécution. Par ailleurs, GILLET (1967) a observé que la plupart des graines sont fines et toujours plus ou moins mêlées aux grains de sable et sont bien difficiles, en raison de leur réel mimétisme, à distinguer et à plus forte raison à extraire.

L'évolution temporelle des germinations varie fortement selon les espèces. Toutes les espèces présentent un maximum de germinations au bout de 3 jours sauf *Brachiaria xantholeuca*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Pergularia tomentosa* qui présentent un pic de germination observé au-delà de 3 jours. Cet état de fait ne peut être associé qu'aux propriétés intrinsèques des semences. En effet, toutes les semences ne possèdent pas les mêmes qualités et les propriétés germinatives diffèrent d'une espèce à l'autre. Par exemple l'espèce *Cenchrus biflorus* représente à elle seule près de 80 % de l'ensemble des semences germées. Ces résultats corroborent ceux rapportés par d'autres travaux dans la région (POILECOT, 1999 ; TIDJANI, 2008 ; LAMINO MANZO *et al.*, 2013) qui ont montré que la zone d'étude est par excellence celle de l'espèce *Cenchrus biflorus*. De plus, l'espèce est reconnue pour sa rusticité, si bien qu'elle est semée en Inde pour lutter contre la désertification (BRINK & BELAY, 2006). Le fort taux de germination de *Pergularia tomentosa* peut se justifier par le fait que cette espèce est un bon indicateur de sol épuisé (ORWA *et al.*, 2009). Ces auteurs avaient conclu que cette espèce (ainsi d'ailleurs que le ligneux *Calotropis procera* qui l'y accompagne) a des préférences pour les sols sableux perturbés, ce qui est le cas des sols des champs dunaires.

La relative pauvreté en semences viables des champs de dunes s'expliquerait par le fait que pour un champ de dunes donné, le mouvement permanent des sables d'une dune à une autre ne permet pas aux semences de se trouver dans les conditions favorables pour germer. Si bien qu'avec le temps, elles perdraient progressivement leur capacité germinative. En effet, dans ce milieu en perpétuelle évolution, ne poussent que certaines espèces qui par leur physiologie et leur écologie peuvent s'adapter : les espèces herbacées les plus remarquables à ce niveau sont *Cenchrus biflorus* et *Pergularia tomentosa*. Il est important de noter que ces espèces sont accompagnées d'arbustes de type *Calotropis procera* et *Leptadenia pyrotechnica*. Quant aux dunes isolées, elles se situent généralement dans un milieu non ou peu dégradé, donc source potentielle et régulière de semences viables. Ceci pourrait donc expliquer le nombre plus élevé de graines germées sur les échantillons de dunes isolées par comparaison aux champs de dunes.

En ce qui concerne la typologie des dunes, on peut s'attendre à plus de semences dans le système semi-fixé. Cependant, l'absence de tendance observée peut s'expliquer par le fait que les dunes vives se trouvent dans leur majorité en pleine aire de pâturage ; leurs fronts communiquent donc directement avec une zone non dégradée qui les approvisionne en semences via l'activité éolienne et la divagation des animaux. Quant aux dunes partiellement fixées, elles se situent généralement autour des cuvettes où la pression pastorale et la circulation des populations est maximale durant toute l'année, ce qui favorise par le piétinement le mouvement permanent du sable de ces dunes avec les semences (TIDJANI, 2008 ; IBRAHIM & OUSSEINI, 2009). De plus, une pression accélérée sur les quelques herbacées qui poussent réduirait aussi leurs possibilités de grenaison (BOUDET, 1972), ce qui impacterait fortement le renouvellement du stock semencier au niveau de ces édifices dunaires.

La performance du sol sur front dunaire à contenir le plus grand nombre de semences viables s'explique par le fait que cette position topographique se situe sous le vent et reçoit de ce fait les semences qui sont considérées comme étant parmi les éléments les plus facilement mobilisables par le vent. Ces résultats corroborent ceux de QIAN *et al.* (2016). Ces semences sont donc régulièrement déplacées, surtout en saison sèche par les vents d'Harmattan (GROUZIS, 1992 ; QIAN *et al.*, 2016).

Pour CARRIERE (1989), le déplacement des semences peut atteindre 90 % au niveau des inter-dunes (assimilées ici aux zones de déflation ou « Bas de dune »). Le bas de dune est la position topographique où les grains de sables superficiels, riches en semences viables, sont constamment décapés et transportés par le vent. Cette situation explique l'absence de germination au niveau de cette position topographique, quel que soit le type de dunes et le niveau de dégradation des dunes. Ce résultat est conforté par les travaux de LE HOUEROU (1979) qui constatât que des parcelles totalement protégées pendant des dizaines d'années n'ont vu aucune amélioration de leur couvert végétal lorsque le sol de l'horizon superficiel meuble a été emporté par la déflation. Quant à la position topographique « Crête », la faiblesse du taux de germination observé pourrait être liée à l'accumulation des sables pauvres en semences provenant du Bas de la dune mais aussi à un probable ensevelissement en profondeur des sédiments contenant des semences par ceux plus pauvres provenant de la déflation du bas de dune.

CONCLUSION

En définitive, les dunes dégradées du sud-est du Niger contiennent des semences viables mais probablement en nombre insuffisant comparé aux dunes non dégradées. La quantité de ces semences varie en fonction du type des dunes et de la position topographique sur la dune. Les dunes isolées sont celles qui contiennent le plus grand nombre de semences viables comparées au champ dunaire et le maximum de semences viables est contenu dans le sol provenant de la position topographique « Front dunaire ». *Cenchrus biflorus* domine les espèces rencontrées sur ces dunes dégradées. Cependant, même si les dunes isolées vives renferment le plus important stock semencier viable, la quantité de semences rencontrée semble ne pas être capable de reconstituer uniformément le couvert végétal, même dans les conditions favorables (en saison des pluies après une fixation mécanique) du fait de sa faible et inégale répartition entre unités topographiques. La reconstitution végétale au niveau des dunes dégradées après fixation n'est donc assurée qu'en partie par les semences viables que contiennent leurs sols. Il est alors impératif de penser à ensemençer les dunes surtout au niveau des positions topographiques « Crête » et « Bas » lors des opérations de fixation de dunes afin d'obtenir de bonnes couvertures d'herbacées.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDOU Y. & ADJI A.K.M., 2009. Opportunité et viabilité économiques des opérations de traitement des dunes de sable dans le département de Gouré au Niger: cas des villages de Balla, Sissia et Lafia. *Geo-Eco-Trop*, 33:133-140.
- ABDOURHAMANE TOURE A., 2010. Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France, 224 p.
- AMBOUTA K.J.M. & TIDJANI A.D., 2006. Typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation. Division des statistiques et de la cartographie forestière, Ministère de l'environnement et de la lutte contre la désertification, PNUD - PLECO, 35 p.
- ARIORI S.L. & OZER P., 2005. Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29: 61-68.
- BIELDERS C.L., RAIOT J.L. & MICHELS K., 2004. L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien: influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse*, 15: 19-32.
- BIELDERS C.L., RAJOT J.L. & AMADOU M., 2002. Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel. *Geoderma*, 109: 19-39.
- BILLE J.C. & POUPON H., 1974. Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal: La régénération de la strate herbacée. *Terre et Vie*, 28: 21-48.
- BODART C. & OZER A., 2009. Apports de la télédétection dans l'étude de la remise en mouvement du sable dunaire dans la région de Gouré (sud-est du Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33: 57-68.
- BOUDET G., 1972. Désertification de l'Afrique tropicale sèche. *Adansonia*, 12: 505-524.
- BOUKARI D., 2013. Effets socio-économiques et environnementaux de la fixation des dunes dans la zone d'intervention du PLECO du département de Gouré – Niger. Mémoire DESS, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 75 p.

- BRINK M. & BELAY G., 2006. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. Fondation Prota / Wageningen, Pays-Bas / Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas / CTA, Wageningen, Pays-Bas, 328 p.
- CARRIERE M., 1989. Les communautés végétales sahéliennes en Mauritanie (région de Kaedi); analyse de la reconstitution annuelle du couvert herbacé. Thèse de doctorat, Université de Paris Sud, Paris, France, 238 p.
- CISSE A.M., 1986. Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne. Thèse de doctorat, Wageningen University, Wageningen, Pays-Bas, 211 p.
- CONEDERA M., BOMIO-PACCIORINI N., BOMIO-PACCIORINI P., SCIACCA S., GRANDI L., BOUREIMA A. & VETTRAINO A.M., 2010. Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliens. *Bois et Forêts des Tropiques*, 304: 61-71.
- DE LONGUEVILLE F., HENRY S. & OZER P., 2009. Saharan dust pollution: Implications for the Sahel? *Epidemiology*, 20: 780.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDJI Y.C., HENRY S. & OZER P., 2010. What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions? *Science of the Total Environment*, 409: 1-8.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDJI Y.C., OZER P., MARTICORENA B., CHATENET B. & HENRY S., 2013. Saharan dust impacts on air quality: what are the potential health risks in West Africa? *Human and Ecological Risk Assessment*, 19: 1595-1617.
- GARCÍA-FAYOS P., BOCHET E. & CERDÀ A., 2010. Seed removal susceptibility through soil erosion shapes vegetation composition. *Plant and Soil*, 334: 289-297.
- GEMENNE F., BLOCHER J., DE LONGUEVILLE F., VIGIL DIAZ TELENTI S., ZICKGRAF C., GHARBAOUI D. & OZER P., 2017. Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41: 317-337.
- GILLET H., 1967. Essai d'évaluation de la biomasse végétale en zone sahélienne (végétation annuelle). *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique appliquée*, 4: 123-158.
- GROUZIS M., 1992. Germination et établissement des plantes annuelles sahéliennes. In LE FLOC'H E., GROUZIS M., CORNET A. & BILLE J.C. (éds.), L'aridité: une contrainte au développement: caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés. ORSTOM, Paris, France: 267-282.
- HANAROU, S., 2012. Dégradation des terres dunaires et efficacité des mesures antiérosives correctives (Cas des amas dunaires du secteur Kilakina/Gouré). Mémoire DESS, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 83 p.
- HIERNAUX P. & LE HOUEROU H.N., 2006. Les parcours du Sahel. *Sécheresse*, 17: 51-71.
- HOUNTONDJI Y.C., NICOLAS J., SOKPON N. & OZER P., 2005. Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse. *Belgeo*, 4 / 2005: 499-516.
- KARIMOU BARKE M., TYCHON B., OUSSEINI I., AMBOUTA K.J.M. & LAMINO MANZO O., 2018. Analyse de l'évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-est du Niger. *Geo-Eco-Trop*, 42: 259-273.
- LAMINO MANZO O., ZAMAN ALLAH M., OZER P., PAUL R. & MAHAMANE A., 2013. La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales. *Tropicultura*, 31: 260-271.
- LE GRAND E., 1979. Étude expérimentale des propriétés germinatives de quelques semences sahéliennes. ORSTOM Centre de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 44 p.
- LE HOUEROU H.N., 1979. Écologie et désertisation en Afrique. *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, 39: 5-26.
- LI X., JIANG D., ZHOU Q. & OSHIDA T., 2014. Soil seed bank characteristics beneath an age sequence of *Caragana microphylla* shrubs in the Horqin Sandy Land region of northeastern China. *Land Degradation & Development*, 25: 236-243.
- LI Y.Y., DONG S.K., WEN L., WANG X.X. & WU Y., 2012. Soil seed banks in degraded and revegetated grasslands in the alpine region of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecological Engineering*, 49: 77-83.
- LONCHAMP J.P., CHADOEUF R. & BARRALIS G., 1984. Evolution de la capacité de germination des semences de mauvaises herbes enfouies dans le sol. *Agronomie*, 4: 671-682.
- MAMANE SANI I. & OUSSEINI I., 2009. The Sahelian and Saharan dune systems of Niger. A comparison of their granulometric characteristics. In BAUMHAUER R. & RUNGE J. (éds.), Holocene palaeoenvironmental history of the central Sahara, Paleocology of Africa N°29, CRC Press, Boca Raton, USA: 239-246.
- ORWA C., MUTUA A., KINDT R., JAMNADASS R. & SIMONS A., 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre ICRAF, Nairobi, Kenya. <http://www.worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestry>
- OZER P. & ERPICUM M., 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6: 103-108.

- OZER P., 2000. Les lithométéores en région sahélienne. *Geo-Eco-Trop*, 24: 1-317.
- OZER P., 2002. Dust variability and land degradation in the Sahel. *Belgeo*, 2 / 2002: 195-210.
- OZER P., 2004. Bois de feu et déboisement au Sahel : mise au point. *Sécheresse*, 15: 243-251.
- OZER P., 2005. Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale. *Environnement, Risques & Santé*, 4: 43-49.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *CyberGeo*. No.308, DOI: 10.4000/cyberge0.3338.
- OZER P., HOUNTONDI Y.C. & LAMINOU MANZO O., 2009. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33: 11-30.
- OZER P., HOUNTONDI Y.C., NIANG A.J., KARIMOUNE S., LAMINOU MANZO O. & SALMON M., 2010. Désertification au Sahel: historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54: 69-84.
- OZER P., LAMINOU MANZO O., TIDJANI D., DJABY B. & DE LONGUEVILLE F., 2017. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, 41: 375-383.
- PLECO, 2006. Cartographie de la situation de l'ensablement : rapport provisoire. Division des Statistiques et de la Cartographie Forestières, Niamey, Niger, 66 p.
- PLECO, 2010. Capitalisation des expériences nationales en matière de fixation des dunes : rapport final. Édit. PLECO, Niger, 71 p.
- POILECOT P., 1999. Les Poaceae du Niger : description, illustration, écologie, utilisations. CIRAD, UICN, Genève, Suisse, 766 p.
- PORTZ L., MANZOLLI R.P., HERMANN S. & ALCANTARA C.J., 2014. Evaluation of the efficiency of dune reconstruction techniques in Xangri-là (Rio Grande do Sul, Brazil). *Ocean & Coastal Management*, 104: 78-89.
- PUTZ F.E. & APPANAH S., 1987. Buried seeds, newly dispersed seeds, and the dynamics of a lowland forest in Malaysia. *Biotropica*, 19: 326-333.
- QIAN J., LIU Z., HATIER J.H.B. & LIU B., 2016. The vertical distribution of soil seed bank and its restoration implication in an active sand dune of northeastern inner mongolia, China. *Land Degradation & Development*, 27: 305-315.
- RAJOT J.L., 2001. Windblown sediment mass budget of Sahelian village land units in Niger. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172: 523-531.
- RIBOLZI O., HERMIDA M., KARAMBIRI H., DELHOUME J.P. & THIOMBIANO L., 2006. Effects of aeolian processes on water infiltration in sandy Sahelian rangeland in Burkina Faso. *Catena*, 67: 145-154.
- TEKETAY D. & ANDERS G., 1995. Soil seed banks in dry Afromontane forests of Ethiopia. *Journal of Vegetation Science*, 6: 777-786.
- TIDJANI A.D., 2008. Erosion éolienne dans le Damagaram Est (Sud-Est du Niger) : paramétrisation, quantification et moyens de lutte. Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, 171 p.
- TIDJANI A.D., AMBOUTA K.J.M. & BIELDERS C., 2009a. Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées. *Geo-Eco-Trop*, 33: 81-98.
- TIDJANI A.D., BIELDERS C.L. & AMBOUTA K.J.M., 2009b. Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger. *Geo-Eco-Trop*, 33: 39-56.
- TOUDJANI Z., 1996. La lutte contre l'ensablement et la stabilisation des dunes. Expérience du Niger. Actes du Séminaire – Atelier - ISESCO. Rabat, Maroc : 111- 136.
- TOUPET C., 1984. La régénération des milieux naturels dans le domaine sahélien : l'exemple mauritanien. In BLANC-PAMARD C., BONNEMAISON J., BOUTRAIS J., LASSAILLY-JACOB V. & LERICOLLAIS A. (éds.), Le développement rural en questions : paysages, espaces ruraux, systèmes agraires. Editions ORSTOM, Paris, France : 75-87.
- TYCHON B. & AMBOUTA K.J.M., 2009. Gestion interdisciplinaire du problème de l'ensablement des cuvettes en milieu sahélien nigérien. *Geo-Eco-Trop*, 33: 1-10.
- TYCHON B., AMBOUTA K.J.M., OZER A., BIELDERS C., PAUL R. & OZER P., 2009. Quel avenir pour les cuvettes oasiennes dans le Niger oriental? *Geo-Eco-Trop*, 33: III-VI.