

Les cuvettes oasiennes du Manga, Sud-Est Niger : un patrimoine à forte productivité agricole menacé d'ensablement, protégé par la fixation des dunes

**Maigari MALAM ASSANE^{1*}, Adamou Didier TIDJANI², Ousmane LAMINOU MANZO³,
Karimou Jean-Marie AMBOUTA², Charles BIELDERS⁴ et Ali MAHAMANE^{1,2}**

¹ *Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 78, Diffa, Niger*

² *Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie, BP 10960, Niamey, Niger*

³ *Université Dan Dicko Dankoulodo, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement,
BP 465, Maradi, Niger*

⁴ *Université Catholique de Louvain, Earth and Life Institute, Croix du Sud 2, bte 2, B-1348,
Louvain-la-Neuve, Belgique*

(Reçu le 12 Mars 2020 ; Accepté le 20 Avril 2020)

* Correspondance, courriel : dounamamadou@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est de montrer l'intérêt des cuvettes oasiennes du Manga et la nécessité de les protéger en fixant les dunes qui les entourent. Pour réaliser cette étude, des données socio-environnementales ont été collectées à travers des enquêtes et l'efficacité de la fixation des dunes dans la protection des cuvettes a été évaluée sur des anciens sites fixés et à travers un dispositif expérimental placé sur des dunes vives. Les résultats montrent que les cuvettes oasiennes sont des lieux sacrés (1 %), des points d'eau (5,5 %), des usines d'exploitation de natron (5,2 %) et le siège de plusieurs autres activités connexes (prélèvement du bois de chauffe et de service, confection des briques, etc.) (7,3 %). L'exploitation agropastorale constitue la principale activité (81 % des activités pratiquées). Cette dernière a contribué à occuper la majeure partie de la population suite au morcèlement des terres entre plusieurs exploitants dont la majorité déteint moins d'un hectare. Le mode de tenure de terre est largement dominé (> 70 %) par l'héritage. La fertilité des sols est principalement gérée par les techniques culturales (49 %, 41 % et 19,5 %, respectivement dans les cuvettes à eau affleurante; les cuvettes à eau intermédiaire et les cuvettes à eau profonde), l'apport du fumier (34 %, 31,5 %, 20,8 %, respectivement dans les cuvettes à eau affleurante; les cuvettes à eau profonde et les cuvettes à eau intermédiaire) et des résidus de récoltes (25 %, 15 % et 12 %, respectivement dans les cuvettes à eau profonde, les cuvettes à eau affleurante et les cuvettes à eau intermédiaire). La contrainte majeure à l'exploitation de ces cuvettes demeure l'ensablement. Ce dernier est maîtrisé par la fixation des dunes qui a permis d'accroître le recouvrement herbacé moyen d'environ 7 % sur les dunes non fixées (témoins) à plus de 40 % sur les dunes fixées. La richesse floristique moyenne de 4 espèces observée sur les témoins est passée à 13 espèces sur les dunes fixées. La production de la biomasse sèche très négligeable sur les témoins a évolué à environ 100 g/m² sur les sites récemment fixés. La première palissade utilisée pour fixer des dunes a permis de réduire considérablement le flux éolien de sédiment. Les cuvettes oasiennes protégées contre l'ensablement constitueraient les bases productives plus sûres et durables.

Mots clés : *cuvettes oasiennes, ensablement, fixation des dunes, Manga, Niger.*

Abstract

The circular oasis areas of Manga (south-eastern Niger): a heritage with high agricultural productivity threatened with silting up, protected by the fixation of the dunes

The objective of this study is to demonstrate the interest of the oasis areas of Manga and the need to protect them by fixing their surrounding dunes. To carry out this study, socio-environmental data were collected through surveys on one hand. On the other hand the effectiveness of the dune fixation techniques in protecting the oasis areas was evaluated on old fixed dune sites and through an experimental device placed on active dunes. The results show that oasis areas are sacred places (1 %), water points (5,5 %), natron exploitation sites (5,2 %) and where several other related activities were performed (such as collecting firewood and service, making bricks, etc.) (7,3 %). This study revealed that agro-pastoral farming is the main socio-economic activity that occupy most of the population (81 % of the respondents) due to the fragmentation of land between several farmers where the majority of them has less than one hectare. Results showed that land tenure is largely dominated (> 70 %) by inheritance and soil fertility is primarily managed by farming techniques (49 %, 41 % et 19,5 %, respectively in flush water circular lowlands, intermediate water circular lowlands and deep water circular lowlands), the use of manure (34 %, 31,5 %, 20,8 % respectively in flush water circular lowlands, deep water circular lowlands and intermediate water circular lowlands) and crop residues (25 %, 15 %, 12 %, respectively in deep water circular lowlands, flush water circular lowlands and intermediate water circular lowlands). The major constraint to the exploitation of these basins remains the silting up. The latter is controlled by the fixation of the dunes which has made it possible to increase the average herbaceous cover from around 7 % on the non-fixed dunes (control samples) to more than 40 % on the fixed dunes. In the control sites the average floristic richness is of 4 species while up to 13 species were observed in the fixed dunes. The very negligible dry biomass production observed on the control dunes evolved to around 100 g / m² on the recently fixed sites. The first palisade used to fix the dunes considerably has reduced the wind flow of sediment. The circular oasis areas protected against silting up would constitute safer and more sustainable productive bases.

Keywords : *circular oasis areas, silting, dune fixation, Manga, Niger.*

1. Introduction

Le Niger est l'un des pays sahéliens où les ressources en sols se dégradent continuellement sous l'effet de la pression démographique et de la péjoration climatique [1, 2]. Cette dernière contribue fortement à la réduction de la résilience du sol et son exploitation ne satisfait qu'en partie les besoins de l'homme du fait de leur diminution et de la baisse de leur fertilité. Cette situation conduit à la raréfaction des terres exploitables. C'est dans ce contexte que les cuvettes oasiennes du Manga (sud-est du pays), disposant des terres relativement fertiles sur lesquelles les populations se ruent pour assurer leur survie [3, 4], sont exploitées au grand bonheur de la population de la zone. Ces cuvettes sont classées en trois types en fonction du niveau de la nappe phréatique : cuvettes à eau affleurante, cuvettes à eau intermédiaire et cuvettes à eau profonde [5]. Elles représentent les ressources naturelles qui supportent la production agro-sylvo-pastorale de la zone [6]. Celles-ci jalonnent le système dunaire du Manga et offrent des rendements et les possibilités de diversification nettement meilleurs par rapport aux zones hors cuvette, représentées par les dunes fixées et les bas-fonds [7]. Les cuvettes sont sources de productions alimentaires et de revenus pour les populations locales [8]. Leur mise en valeur permet de faire face aux conditions environnementales difficiles dans cette partie du pays [9]. Ces dernières décennies, cette mise en valeur se fait dans un contexte de dégradation continue des ressources sous les effets conjugués des facteurs climatiques et anthropiques [10]. L'exemple le plus frappant est celui de l'ensablement du à la remobilisation des sables des dunes autrefois fixés par la

végétation [8]. L'optimisation de la production dans les cuvettes, constituant une opportunité pour la réduction de la pauvreté et la lutte contre l'insécurité alimentaire dans la zone et dans le pays en général, la protection des cuvettes devient alors un préalable pour l'Etat et ses partenaires qui conjuguent une grande partie de leurs efforts dans cette portion du pays pour enrayer ce fléau dévastateur qu'est l'ensablement [11]. La protection des cuvettes est un gage pour l'amélioration et l'aménagement de la production agricole [5, 7]. Cette protection est généralement assurée par la fixation des dunes vives qui ceinturent ces cuvettes. La fixation des dunes est composée de deux méthodes complémentaires : la fixation mécanique et le traitement biologique [12]. La seconde méthode (traitement biologique) est dépendante de la première qui utilise principalement des branchages de *Leptadenia pyrotechnica* érigés en palissades [13, 14]. Malgré la multitude des sujets traités sur les cuvettes, force est de constater que l'étude de leur importance et leur protection n'est pas clairement, si ce n'est sommairement abordé. D'où la présente étude qui a pour objectif de montrer l'intérêt des cuvettes oasiennes du Manga et la nécessité de les protéger en fixant les dunes qui les entourent. Cette étude permettra aux décideurs de placer les cuvettes oasiennes au cœur de leur priorité.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

La zone d'étude est le Manga qui regroupe une partie du département de Mainé Soroa, une partie du département de Goudoumaria et une partie du département de Gouré dans le sud-est du Niger. Le choix des sites a été fait sur base de type des cuvettes et de l'âge des travaux de fixation des dunes. La **Figure 1** présente les sites choisis. C'est une combinaison regroupant trois cuvettes de chacun de trois types de cuvettes (3 cuvettes à eau affleurante, 3 cuvettes à eau intermédiaire; 3 cuvettes à eau profonde, de douze (12) sites fixés entre 2005 et 2010 (avec deux sites par an) et d'un site expérimental de fixation des dunes.

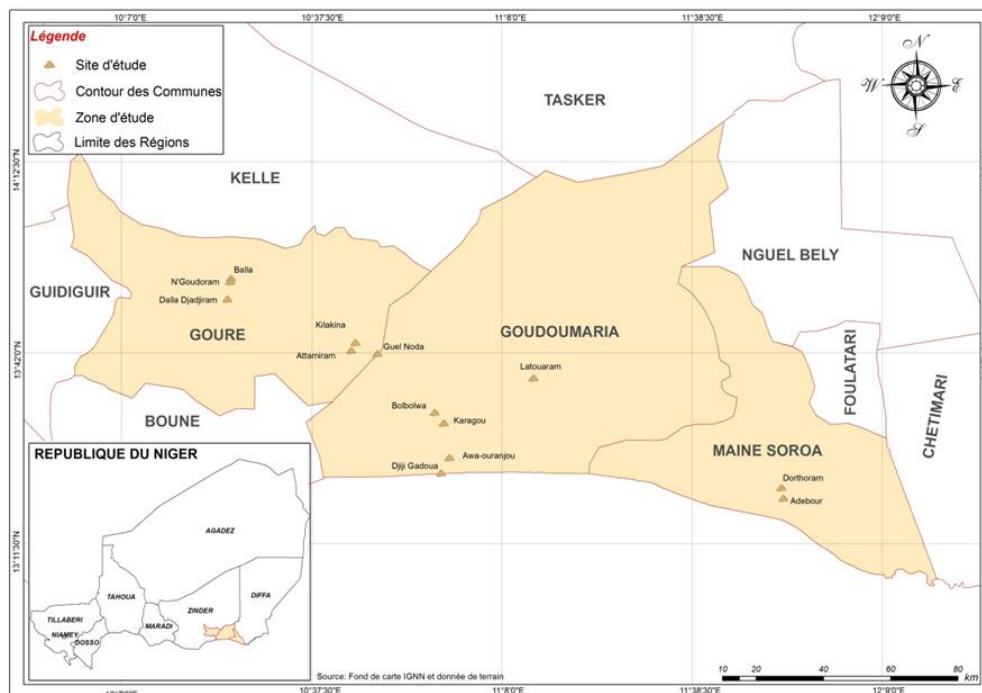


Figure 1 : Localisation des sites d'études

2-2. Méthodes

La méthodologie utilisée est basée sur les enquêtes, l'étude des impacts des travaux de fixation des dunes sur la revégétalisation des anciens sites fixés et l'étude de l'efficacité des palissades dans la réduction du flux de sédiments éoliens sur un site expérimental de fixation des dunes.

2-2-1. Les enquêtes

Les enquêtes ont permis de collecter des données socio-environnementales à travers deux outils de collecte : un guide d'entretien individuel (destiné aux exploitants des cuvettes) et un guide d'entretien collectif administré en Assemblée Générale Villageoise (AGV). Au total 12 focus group ont été organisés dans les 12 villages environnants des 12 sites fixés entre 2005 et 2010 et 120 exploitants enquêtés sur 175 (en raison de 10 exploitants par village). Cet échantillon d'exploitants est calculé à l'aide de la méthode d'échantillonnage exhaustif donnée par l'Equation 1 [15] ci-dessous :

$$n = \frac{t^2 N}{t^2 + I^2 (N-1)} \quad (1)$$

n étant la taille de l'échantillon, *N* l'effectif des exploitants (*N* = 175 exploitants), *I* la fourchette d'incertitude (*I* = 2*e*), *e* la marge d'erreur (comprise entre 0 et 10 % ; *e* = 5 %), *t* le Coefficient de marge déduit du degré de confiance (1- α) que l'on souhaite (α le niveau de signification statistique = 5 %, soit un degré de confiance de 95 % et *t* associé = 1,96).

2-2-2. Impacts des travaux de fixation des dunes sur la revégétalisation des anciens sites fixés

Les impacts des travaux de fixation des dunes sur la revégétalisation des anciens sites fixés ont été appréciés à travers un relevé floristique par la méthode des points quadrats alignés [16] et l'évaluation de la phytomasse par la méthode de récolte intégrale sur des sites fixés autour des cuvettes. Pour y parvenir un dispositif d'inventaire de la végétation a été élaboré (Figure 2). Au niveau de chaque site de fixation des dunes retenu, un transect Nord-est - Sud-ouest, direction des vents dominants [17, 18], a été définie. Le long de ce transect, trois placettes de un (1) ha chacune, (dont, l'une à l'extrémité nord-est, l'autre au centre et la troisième à l'extrémité sud-ouest) avaient été délimitées et ont servi pour le relevé floristique. Chaque placette étant subdivisée en 25 clayons de 20 m x 20 m, trois (3) de ces clayons ont été retenus suivant la direction précédemment définie et dans chacun d'eux 5 placeaux d'un (1) m² (dont quatre aux extrémités et un au centre) ont été posés pour l'évaluation de la phytomasse. Au total 45 placeaux de 1 m² (15 placeaux x 3) ont été posés au niveau de chaque site de fixation retenu. L'inventaire de la végétation a permis de déterminer les paramètres suivants calculés par les Equations 2, 3, 4,5 [19] ci-dessous :

$$r(\%) = 100 - T^{\circ}\text{Sol nu}(\%) \quad (2)$$

r (%) étant le recouvrement herbacé, *T*[°]Sol nu le taux de sol nu ($T^{\circ}\text{Sol nu}(\%) = (\sum \text{"Sol nu"} / \text{nombre de points de lecture}) \times 100$)

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

H' étant la diversité alpha, *S* le nombre total d'espèces, *P_i* la fréquence relative des espèces ($P_i = (n_i/N)$, $\sum P_i = 1$); *n_i* la fréquence de l'espèce *i* dans l'unité d'échantillonnage, *N* la somme des fréquences relatives spécifiques.

$$E = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (4)$$

E étant l'indice d'équitabilité, *H'* l'indice de Shannon-Weaver, *S* la richesse spécifique.

Les espèces ligneuses sont également identifiées et recensées au niveau de chaque placette. L'étude s'est alors intéressée à la diversité, l'abondance et au taux de survie des espèces ligneuses sur les sites retenus calculé à l'aide de l'Equation 5 ci-dessous.

$$\text{Taux de survie} = \frac{\text{Nbre de plants vivants}}{\text{Nbre de plants plantés}} \times 100 \quad (5)$$

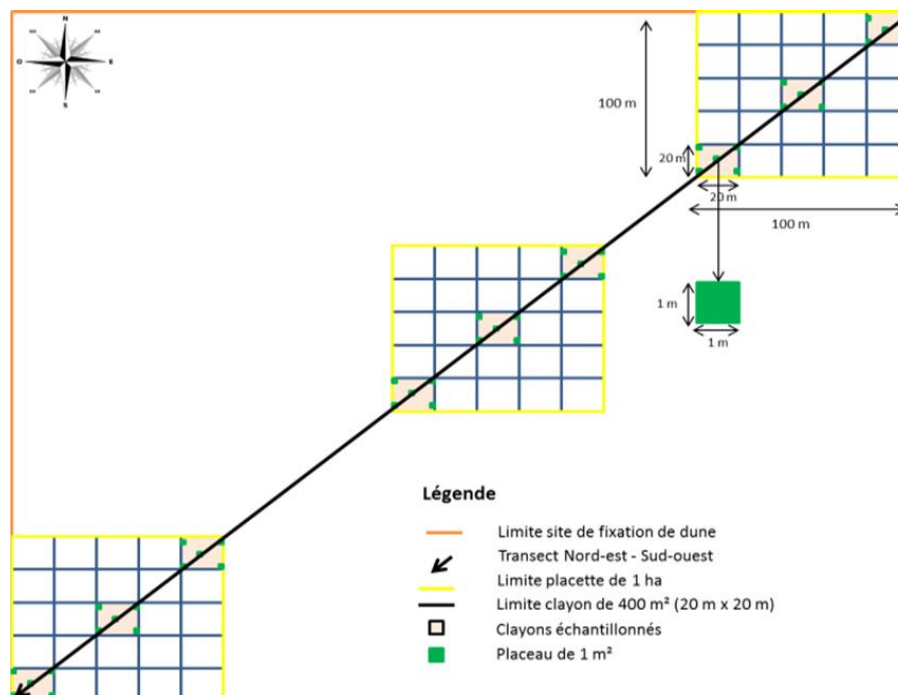


Figure 2 : Dispositif d'étude de la végétation

2-2-3. Efficacité des palissades dans la réduction du flux de sédiments éoliens

Pour étudier l'efficacité des palissades dans la réduction du flux de sédiments éoliens, un dispositif expérimental de fixation des dunes (**Photo 1**) a été installé sur des dunes vives à N'Guel Magagi (N : 13° 46' 22,2" E : 010° 42' 00,0"). Trois palissades de 17 m x 30 m, conçues à l'aide de branchages de *Leptadenia pyrotechnica* et de rachis d' *Hyphaene thebaica* (matériaux couramment utilisés dans la zone pour fixer les dunes) ont été disposées perpendiculairement à la direction des vents dominant de l'harmattan. Ce dispositif a été répété sur trois dunes vives alignées et des capteurs de sédiments de type MWAC « Modified Wilson And Cooke » sont utilisés pour la collecte de flux de sédiments éoliens à différentes hauteurs. Des mats comportant 5 capteurs MWAC, compris entre 0 et 60 cm (à 5 cm, 15 cm, 25 cm, 40 cm et à 60 cm au-dessus du sol) ont été placés, suivant un transect passant par la ligne médiane des palissades, respectivement à 5 m et 3 m sur le côté au vent de chaque palissade et à 2, 5, 10 et 15 m sous le vent. Les capteurs avaient été vidés à intervalle de temps régulier (tous les 10 jours) et les sédiments captés ont été pesés afin de calculer les flux éoliens. Ainsi, en supposant une efficacité de 100 % des pièges à sables, la densité de flux est obtenue en divisant la masse *m(z)* de sédiments piégés dans un MWAC par sa surface d'ouverture *s(z)*, donnée par l'Equation (6) [20] ci-dessous :

$$Q(z) = m(z)/s(z) \quad (6)$$

La densité de flux est maximale près du sol et suit une loi de puissance selon la hauteur, calculé à l'aide de ***l'Equation (7)*** [21] ci-dessous :

$$Q(z) = a(z + 1)^b \quad (7)$$

$Q(x)$ étant la densité de flux, a la densité de flux à la hauteur $z = 0$ et b un paramètre adimensionnel.

L'intégration de la densité de flux sur la hauteur de saltation fixée à 0.6 m donne le flux horizontal d'érosion (Fh) exprimé en kg.m^{-1} par date de collecte, donné par ***l'Equation (8)*** [17]. Il correspond à la quantité de sable en saltation et suspension entre la surface et 0,6 m de hauteur par unité de largeur perpendiculaire à la direction du vent.

$$Fh = \frac{a}{b+1} \int_0^{0,6} Q(z) = [(0,6 + 1)^{(b+1)} - 1] \quad (8)$$



Photo 1 : *Dispositif expérimental de fixation des dunes*

3. Résultats

3-1. Perception paysanne de l'importance des cuvettes oasiennes du Manga dans la vie des populations

3-1-1. Perception sur le régime foncier et l'organisation des exploitations

La ***Figure 4*** montre les proportions, d'appartenance des différentes entités des cuvettes dans le temps et du genre de chef d'exploitation.

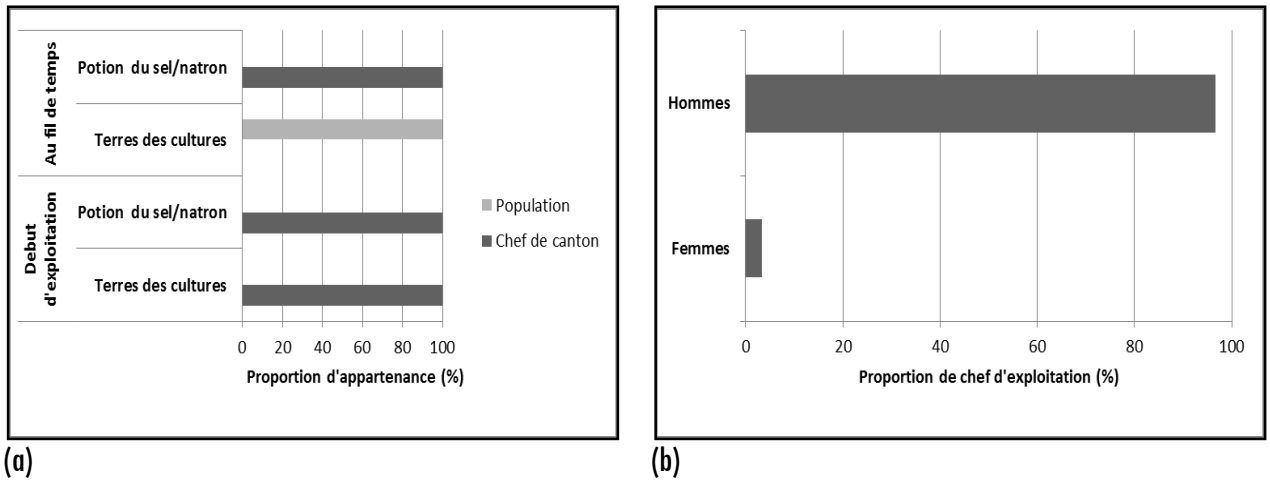


Figure 3 : (a) proportion d'appartenance des différentes entités des cuvettes dans le temps, (b) proportion de chef d'exploitation par genre

La **Figure 3a** montre que toutes les entités des cuvettes (terres des cultures et portion du sel/natron) appartenaient au chef de canton au tout début de leur exploitation, mais les terres des cultures finissent à devenir, au fil du temps, la propriété des exploitants excepté la partie où l'on extrait le sel et/ou le natron qui reste toujours sous le contrôle de l'autorité coutumière. La **Figure 3b** montre que dans les cuvettes, les exploitations sont majoritairement (96,66 %) dirigées par les hommes, la proportion des femmes cheffes d'exploitation n'est que de 3,33 %. La **Figure 4** montre les modes de tenures de terre et la catégorisation des exploitants en fonction de types des cuvettes.

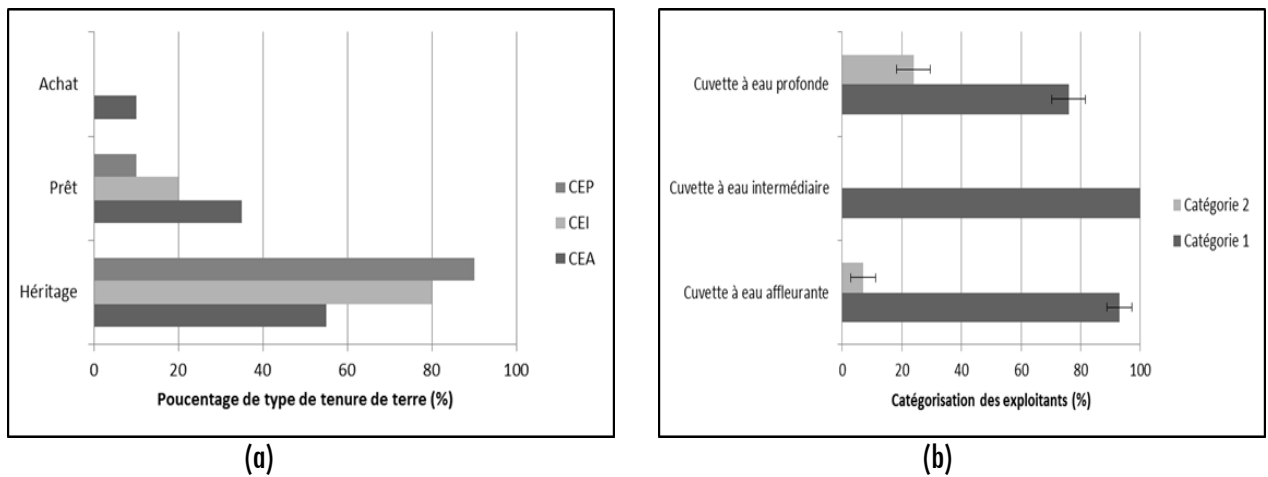


Figure 4 : (a) Mode de tenure des terres en fonction de type des cuvettes oasiennes. CEP = Cuvette à eau profonde ; CEI = Cuvette à eau intermédiaire ; CEA = Cuvette à eau affleurante et (b) catégorisation des exploitants des cuvettes en fonction de type des cuvettes ; les barres d'erreur représentent les écarts types

La **Figure 4a** montre que les modes de tenures de terre rencontrés dans les cuvettes sont l'héritage, le prêt et l'achat. Leur proportion varie en fonction de types des cuvettes mais toujours dominée par l'héritage, (55 % dans les CEA, 80 % dans les CEI et 90 % dans les CEP), suivi du prêt (35 % dans les CEA, 20 % dans les CEI et 10 % dans les CEP). L'achat n'est qu'observé qu'au niveau des CEA à une proportion de 10 %. La **Figure 4b** montre que la structure de production dans les cuvettes se caractérise par des petites unités de production familiales, ces exploitants se repartissent en deux catégories : la catégorie 1, exploitant moins

d'un hectare et la catégorie 2, exploitant un à plus d'un hectare. Les exploitants de la catégorie 1 dominent dans toutes les cuvettes. Ils sont à 100% de cette catégorie dans les cuvettes à eau intermédiaire.

3-1-2. Perception sur les opportunités qu'offrent les cuvettes et les pratiques de leur gestion

La **Figure 5** montre les cultures conduites dans les cuvettes en fonction des principaux types de sol rencontrés dans ces cuvettes oasiennes. Ces sols supportent deux grands types de cultures :

- les cultures vivrières, dominées par le manioc cultivé principalement dans les CEA, respectivement à 60 % et 55 % sur les sols salés à hydromorphie de profondeur et les sols peu évolués d'apport éolien; le maïs cultivé en grande partie sur les sols salés à hydromorphie de profondeur à 35 % dans les CEI et à 30 % et 47,5 % respectivement, sur les sols salins à hydromorphie temporaire et les sols natronnés hydromorphes des CEP et la patate douce cultivée majoritairement dans les CEI, respectivement à 52,5 % et 22,5 % sur les sols natronnés hydromorphes et les sols salés à hydromorphie de profondeur.
- les cultures de rente dont les principales sont la canne à sucre, cultivée principalement dans les CEA, sur les sols natronnés hydromorphes et les sols salés à hydromorphie totale, respectivement à 75 % et à 52,5 %; l'arboriculture pratiquée en grande partie dans les CEA, sur les sols salés à hydromorphie de profondeur à 12,5 % et sur les sols salés à hydromorphie totale à 30 % et les autres cultures maraichères (dominées par le chou et l'oignon) pratiquées dans toutes les cuvettes et sur tous les types de sols en proportion plus ou moins identique.

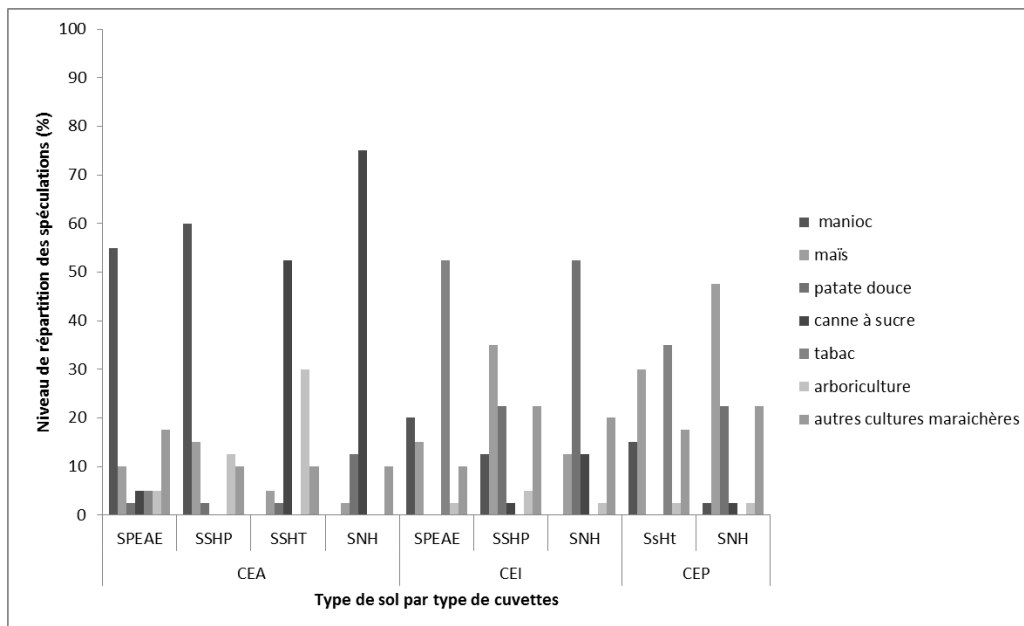


Figure 5 : Répartition des spéculations en fonction de type de sol et de type des cuvettes (SPEAE : Sol Peu Evolué d'Apport Eolien, SSHP : Sol Salé à Hydromorphie de Profondeur, SSHT : Sol Salé à Hydromorphie Totale, SNH : Sols Natronnés Hydromorphes, SsHt : Sols salins à Hydromorphie temporaire

La **Figure 6** montre l'importance des activités conduites dans les cuvettes oasiennes et le niveau d'utilisation des techniques de gestion de fertilité en fonction de type des cuvettes.

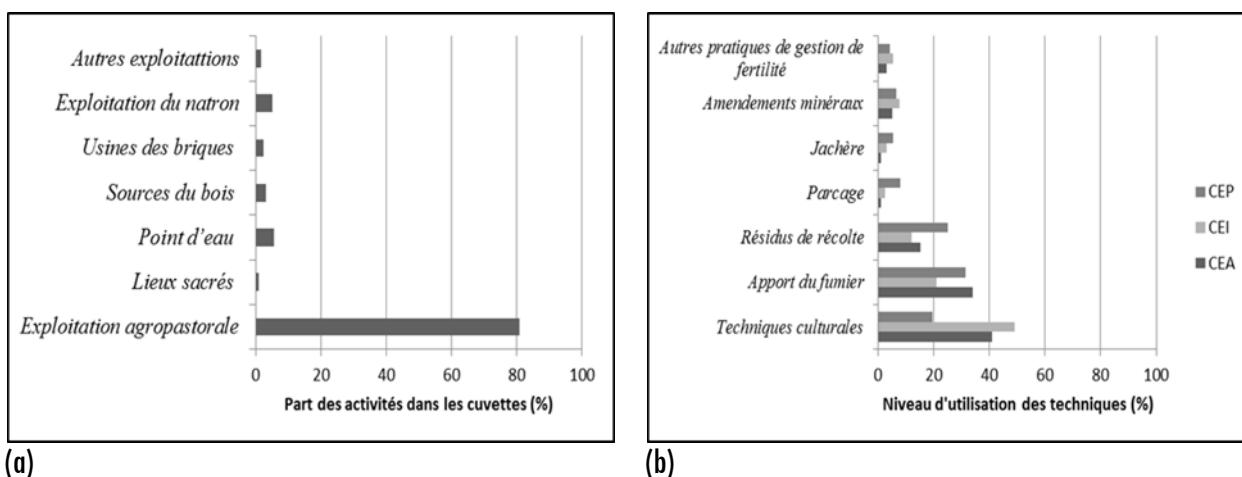


Figure 6 : (a) Importance des activités conduites dans les cuvettes oasiennes, (b) Niveau d'utilisation des techniques de gestion de fertilité en fonction de type des cuvettes

La **Figure 6a**, montre qu'en plus de leur vocation agropastorale qui occupe 81 % des activités pratiquées, les cuvettes oasiennes jouent d'autres rôles non moins importants. En effet elles sont des lieux sacrés (1 %), des points d'eau (5,5%), des usines d'exploitation de natron (5,2 %) et le siège de plusieurs autres activités connexes (prélèvement du bois de chauffe et de service, confection des briques, etc.) (7,3 %). La **Figure 6b** montre que la fertilité des sols est principalement gérée par les techniques culturales (rotation, l'assolement, association des cultures) à 49 %, 41 % et 19,5 %, respectivement dans les CEA ; les CEI et les CEP ; l'apport du fumier à 34 %, 31,5 %, 20,8 %, respectivement dans les CEA ; les CEP et les CEI et l'utilisation des résidus de cultures à 25 %, 15 %, 12 % et, respectivement dans les CEP ; les CEA et les CEI. Les pratiques, telles que ; la jachère, le parcage, l'amendement minéraux et les autres pratiques des gestions de fertilité (lutte contre la salinité, lutte contre les mauvaises herbes) constituent les pratiques les moins fréquentes avec une proportion cumulée de 24 %, 18,2 %, 10 %, respectivement dans les CEP, les CEI et les CEA. La jachère, le parcage et l'utilisation des résidus de récolte constituent des pratiques observées majoritairement au niveau des CEP. Les techniques culturales et les amendements minéraux constituent l'exclusivité des CEI. L'apport de fumier est plus pratiqué au niveau des CEA.

3-1-3. Perception des contraintes liées à la production agricole dans les cuvettes oasiennes

La **Figure 7** montre l'importance des principales contraintes évoquées par les exploitants par type des cuvettes.

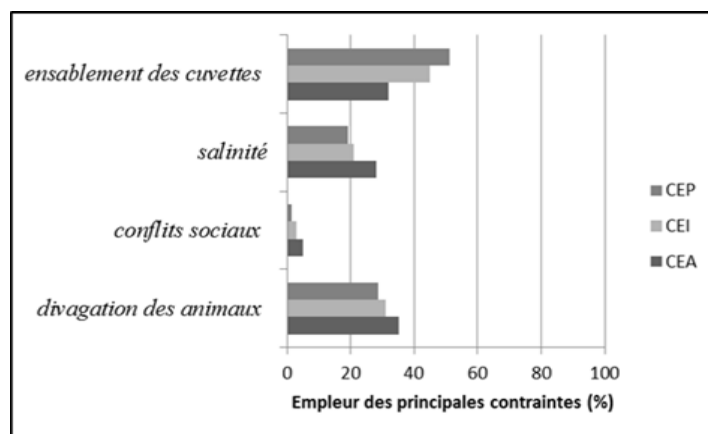


Figure 7 : Importance des principales contraintes à la production en fonction de type des cuvettes

La **Figure 7** montre que les plus importantes de ces contraintes sont :

- L'ensablement représentant respectivement, 51 %, 45 % et 32 %, au niveau des CEP, des CEI et des CEA ;
- la divagation des animaux représentant respectivement, 35 %, 31 % et 28,5 %, au niveau des CEA, des CEI et des CEP ;
- La salinité représentant respectivement, 28 %, 21 % et 19 %, au niveau des CEA, des CEI et des CEP.

Les conflits sociaux bien que moindre représentent respectivement, 5 %, 3 % et 1,5 %, au niveau des CEA, des CEI et des CEP.

3-2. Effets des travaux de fixation des dunes sur la protection des cuvettes

3-2-1. Effets de la fixation des dunes sur la végétation herbacée

Le **Tableau 2** donne les indices de diversité et de productivité, le taux de sol nu et le recouvrement herbacé des sites en fonction de leur année de fixation.

Tableau 2 : Indices de diversité et productivité, le taux de sol nu et le recouvrement herbacé des sites fixés

Paramètres	Années de fixation						
	Témoins	Site 2005	Site 2006	Site 2007	Site 2008	Site 2009	Site 2010
T° sol nu	92,78	79	76	68	57	37,5	30
r (%)	7,22	21	24	32	43	62,5	70
S	4	8	8	10	13	17	23
H'	1,07	2,54	2,28	2,31	2,86	3,18	3,64
E	0,53	0,85	0,76	0,70	0,77	0,78	0,80

T° sol nu = Taux de sol nu ; r (%) = Recouvrement herbacé ; S = Nombre total d'espèces ; H' = Diversité alpha ; E = Indice d'équitabilité

Le **Tableau 2** montre que le taux de sol nu est plus important sur les témoins que sur les sites fixés, quelque soit la durée de la fixation. Sur les sites fixés, plus la fixation est ancienne, plus le taux de sol nu est important. Le recouvrement herbacé varie dans le sens contraire du taux de sol nu. Il est moins important sur les témoins que sur les sites fixés et il est de plus en plus important sur les sites de fixation les plus récentes que les plus anciens sites de fixation. La richesse spécifique est également plus élevée sur les sites fixés que sur les témoins. Excepté les années de fixation 2005 et 2006 où les richesses spécifiques observées sont identiques, celles-ci sont d'autant plus élevées que la durée de la fixation est plus récente. La plus grande richesse spécifique (23 espèces) a été obtenue sur les sites fixés en 2010 et la plus faible (4 espèces) sur les sites fixés en 2005. Les diversités les plus élevées (3,64 et 3,18) sont enregistrées sur les sites fixés en 2010 et en 2009 avec des indices d'équitabilité respectives de 0,80 et 0,78. La plus grande valeur de l'indice d'équitabilité (0,85) a été obtenue sur les sites fixés en 2006. Cette valeur tend vers 1, ce qui signifie que les espèces rencontrées sur ces sites ont plus ou moins la même abondance. La **Figure 8** montre les valeurs de la phytomasse herbacée sèche par unité de surface en fonction d'années d'intervention et la variation des flux éoliens moyens sur un site expérimental de fixation des dunes à Guel Magagi (Gouré/Niger), durant la période d'intense harmattan en 2014 et 2015.

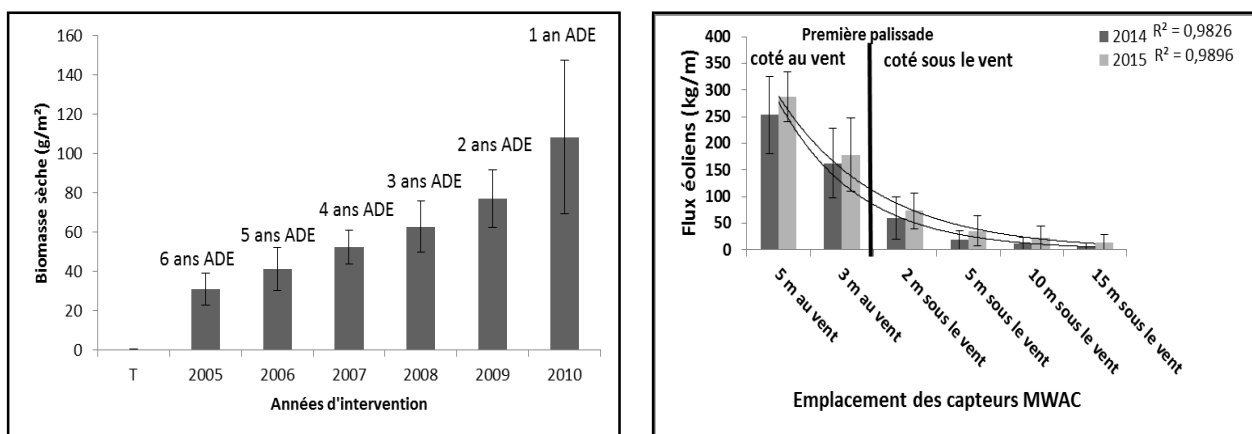


Figure 8 : (a) Valeurs de la phytomasse herbacée sèche par unité de surface en fonction d'années d'intervention (T = témoin ; ADE = après début d'exploitation (l'exploitation de tous les sites a débuté 5 années après fixation)); les barres d'erreur représentent les écarts types calculés à partir de $n = 12$ pour T et $n = 90$ (45 placeaux x 2 sites/an pour les années), (b) Variation des flux éoliens moyens pour une période de 10 jours à Guel Magagi (Gouré/Niger), après une opération de fixation des dunes, durant la période d'intense harmattan en 2014 et 2015. Les barres d'erreurs représentent les écarts types ($n = 108$ pour 2014 ; $n = 99$ pour 2015)

La **Figure 8a** montre la différence de la biomasse sèche entre les témoins et les sites fixés en fonction de la durée de la fixation. Cette biomasse est plus importante sur les sites fixés (quelque soit l'âge de la fixation) que sur les témoins, elle est d'autant plus importante quand l'exploitation n'a pas duré. En effet, sa valeur croît exponentiellement avec la diminution de la durée de l'exploitation ; de l'ordre de $31,07 \pm 8,11$ g/m², six ans après le début de l'exploitation, elle est passée à $108,24 \pm 38,98$ g/m² une année après le début de l'exploitation. La **Figure 8b** montre la variation des flux éoliens moyens du côté du vent et sous le vent de la première palissade, durant la période d'intense harmattan en 2014 et 2015. Quelle qu'en soit l'année de collecte, les flux éoliens sont plus importants au vent que sous le vent. Les flux ont connu une chute exponentielle avec, respectivement $R^2 = 0,98$ et $R^2 = 0,99$, en 2014 et 2015, en passant de 5 m avant (coté au vent) la première palissade à 15 m après (coté sous le vent) celle-ci. En effet, en 2014, le flux éolien qui était de $253,06 \pm 73,01$ kg/m à 5 m avant la première palissade a chuté, respectivement à $162,73 \pm 65,40$ kg/m ; $58,90 \pm 39,52$ kg/m ; $18,78 \pm 17,71$ kg/m ; $11,54 \pm 11,37$ kg/m et à $6,04 \pm 6,34$ kg/m, à 3 m avant la première palissade et 2 m, 5 m, 10 m et 15 m après la première palissade. En 2015, le flux éolien qui était de $287,61 \pm 47,23$ kg/m à 5 m avant la première palissade a chuté, respectivement à $178,34 \pm 68,88$ kg/m ; $73,14 \pm 33,71$ kg/m ; $35,38 \pm 28,55$ kg/m ; $22,28 \pm 21,83$ kg/m ; $12,99 \pm 15,53$ kg/m à 3 m avant la première palissade et 2 m, 5 m, 10 m et 15 m après la première palissade.

3-2-2. Effets de la fixation des dunes sur la végétation ligneuse

Le **Tableau 3** résume la liste, le nombre des espèces par famille et par année de fixation des dunes ainsi que le taux de survie des espèces plantées sur les sites de fixation des dunes. Au total, treize (13) espèces ligneuses appartenant à sept (7) familles au niveau de l'ensemble des sites retenues ont été identifiées contre seulement quatre espèces identifiées au niveau des témoins. La diversité ligneuse est presque identique sur la plupart des sites à quelque différence près. Cette végétation est dominée par la famille des Mimosacées plus particulièrement par les espèces *Prosopis chilensis* et *Prosopis juliflora*. Initialement quatre espèces (*Acacia senegal*, *Acacia tortilis*, *Prosopis juliflora* et *Prosopis chilensis*) avec une densité de 600 arbres par hectare ont été plantés sur tous les sites retenus.

Tableau 3 : Diversité, abondance et taux de survie des espèces ligneuses en fonction de l'année de fixation des dunes

Diversité		Abondance						
Famille	Espèce	T	Site 2005	Site 2006	Site 2007	Site 2008	Site 2009	Site 2010
	<i>Acacia senegal</i>	0	7	15	12	9	21	17
	<i>Acacia nilotica</i>	0	0	0	0	0	2	0
	<i>Acacia radiana</i>	8	13	22	32	31	23	24
Mimosaceae	<i>Faidherbia albida</i>	11	0	0	0	0	5	0
	<i>Prosopis juliflora</i>	0	224	267	105	197	184	251
	<i>Prosopis chilensis</i>	0	123	85	96	113	176	172
Asclepiadaceae	<i>Calotropis procera</i>	91	7	11	43	5	3	37
	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	37	18	18	25	29	47	79
Cesalpiniaceae	<i>Bauhinia rufescens</i>	0	0	13	0	0	0	0
Zygophyllaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i>	9	25	32	19	28	23	15
Burseraceae	<i>Commiphora africana</i>	0	0	3	0	0	0	0
Anacardiaceae	<i>Sclerocarya birrea</i>	0	0	0	0	0	0	0
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i>	0	0	0	1	0	0	0
Total (densité)		156	417	466	333	412	484	595
Total plants plantés recensés		0	368	389	235	352	389	445
Taux de survie (%)		-	61,3	64,8	39,2	58,7	64,8	74,2

T= témoins

4. Discussion

L'existence même des villages autour des cuvettes oasiennes est sans doute motivée par le fait que celles-ci regorgent encore des sols productifs et d'une nappe peu profonde propices à la production agricole. Bien que le régime foncier dans ces cuvettes soit complexe, les populations les exploitent librement exceptée la partie où l'on extrait le sel qui reste toujours sous le contrôle de l'autorité coutumière. Ce résultat corrobore celui de [9] qui a rapporté que les salines sont restées la propriété exclusive du chef de canton. Il corrobore également celui de [22] qui a démontré que la pratique foncière dans les cuvettes oasiennes du Niger oriental est de type coutumier. Dans les cuvettes, les exploitations sont en général dirigées par les hommes cette proportion élevée des hommes a été aussi observé par [22] qui a fait cas de la forte mainmise des hommes sur la gestion foncière et économique des exploitations dans les cuvettes. Pour cet auteur, l'inégalité d'accès à la terre entre les hommes et les femmes est aussi coutumière. Les modes d'accès à la terre les plus rencontrés dans les cuvettes sont l'héritage, le prêt et la vente. Ces résultats sont semblables à ceux de [22], bien que ces auteurs aient rapporté en plus, d'autres modes de tenure (la location, le don, le leg, l'emprunt, la concession, le gage et l'échange) pratiqués dans les cuvettes. Toutefois, c'est l'héritage qui domine quel qu'en soit le type de cuvette. Cela s'explique, d'une part, par le fait que les exploitants sont bien organisés et que la terre exploitée par une personne reste la propriété familiale. D'autre part, les riches fonctionnaires accordent jusque-là peu d'intérêt aux terres de cuvettes. L'achat de terre, bien que négligeable n'est pratiqué

que dans les cuvettes à eau affleurante car les terres de ces cuvettes offrent des meilleures possibilités de mise en valeur agricole du fait de la bonne fertilité de leurs sols et de la bonne disponibilité de l'eau [5]. La structure d'exploitation est dominée par des parcelles de moins d'un hectare. Ceci est imputable à la pression démographique sans cesse croissante qui n'a pas épargné les villages riverains des cuvettes [2, 3]. En effet, avec cette pression démographique, une parcelle familiale est morcelée en plusieurs petites parcelles individuelles au fil des générations. Une situation similaire a été observée dans les oasis en Tunisie où [23] a souligné que les superficies des cultures maraîchères varient de 0,1 à 0,8 hectare par exploitation dont 90 % des exploitations ayant moins de 0,5 hectare ; pour [24], les exploitants ayant moins de 0,5 ha représentent les deux tiers de l'ensemble des exploitants. La répartition des cultures sur les parcelles est faite toujours en fonction de la richesse des sols. Les cultures sont de préférence installées sur ceux les plus riches et les marginaux sont exploités moyennant leur amendement. Suivant la morphologie, les paysans distinguent respectivement, quatre, trois et deux principaux types de sol dans les cuvettes oasiennes à eau affleurante (CEA), les cuvettes à eau intermédiaire (CEI) et les cuvettes à eau profonde. (CEP) [5]. La répartition des cultures en fonction des types de sol est faite suivant la richesse des sols dans les cuvettes qui croit de l'extérieur vers l'intérieur des cuvettes [5]. Les cultures vivrières composées du manioc, du maïs et de la patate douce sont cultivées pour compléter les déficits des champs dunaires.

Selon [25], la mise en avant des cultures irriguées dans les cuvettes oasiennes a permis de pallier les insuffisances des cultures pluviales tributaires des aléas climatiques. Les cultures de rente dont les principales sont : la canne à sucre, l'arboriculture et les autres cultures maraîchères (dominées par le chou et l'oignon) procurent des revenus aux populations. Toutefois, il faut noter que les produits agricoles de cuvettes sont destinés plus à la vente (73 %) qu'à l'autoconsommation (27 %) et que les bénéfices générés d'une exploitation, dans les cuvettes, dépassent de moitié les capitaux investis [3]. En plus de ces avantages liés à l'exploitation agricole, les cuvettes oasiennes regorgent d'importantes ressources pastorales et jouent d'autres rôles non moins importants. En effet elles sont des lieux sacrés, des points d'eau, des usines d'exploitation de natron et le siège de plusieurs autres activités connexes (prélèvement du bois de chauffe et de service, confection des briques, etc.). Pour [26], les oasis au Niger sont des lieux où se pratiquent plusieurs activités, mieux, elles sont aujourd'hui au cœur des enjeux socio-économiques des zones concernées. A titre d'exemples, [9], a comptabilisé environ 38 765 000F CFA (\approx 59 394 €) de recette en 5 ans pour la seule activité d'exploitation de natron dans une cuvette. Pour [6], la transformation et la vente des produits de cuvettes offrent un revenu moyen tiré par exploitation de 925 000 FCFA (\approx 1 417 €), 549 975 FCFA (\approx 842 €), 201 426 FCFA (\approx 308 €), 91 200 FCFA (\approx 140 €) et 55 350 FCFA (\approx 85 €), respectivement pour le natron, les dattes, la pulpe de doum, la feuille de doum et les nattes.

L'importance des cuvettes pour les exploitants est si grande que les vies de ceux-ci leur sont intimement liées. En effet, elles contribuent à maintenir en place des populations rurales en leur servant de source principale de production et de diversification agricole, en leur créant de l'emploi et en contribuant au renforcement de la sécurité alimentaire dans ces régions à potentialités agricoles très réduites [8, 26]. Sans ces cuvettes, les populations seraient concernées par les questions migratoires. Ce qui constitue actuellement un problème majeur dans les pays de l'Afrique de l'Ouest [27]. Pour [8], ces cuvettes oasiennes constituent un écosystème particulier qui renferme un potentiel de production agricole et des ressources environnementales à nul autre pareil dans un milieu semi-aride. Elles sont également des réservoirs de biodiversité, potentiels d'adaptation au changement climatique [26]. Fortes de ces avantages, les cuvettes sont exploitées en toute saison et cela pendant plusieurs décennies. Elles continuent d'en être tant que ces avantages perdurent car elles constituent le moteur de l'économie des ménages. La durabilité de l'exploitation des cuvettes est menacée par l'ensablement, la divagation des animaux, la salinité et les conflits sociaux. Ces résultats corroborent ceux de [26]. La divagation des animaux et la salinité entravent la

croissance et le développement des cultures. Les conflits sociaux sont de plusieurs ordres et concernent tous les acteurs (agriculteurs, éleveurs et agro-éleveurs) mais ces types de conflit ont la particularité d'être réglés à l'amiable par les paysans dans la majorité des cas. Des résultats similaires ont été trouvés par [22] qui a remarqué que le règlement des conflits se fait en grande partie par conciliation. De toutes les contraintes que connaissent les cuvettes du manga, l'ensablement de celles-ci est la principale. L'ensablement des cuvettes entraîne une baisse de la productivité des terres de culture mieux, il contribue à l'abandon de celles réellement atteintes. La conséquence première de ce phénomène est la précarisation des conditions de vie des populations vivant de ces cuvettes. L'exode rurale (vers le Nigeria, la Libye, etc.) est devenu monnaie courante chez les bras valides de l'aire cuvette. Bien que l'ensablement ait pris de l'ampleur, plusieurs projets et ONG interviennent dans la zone afin d'endiguer ce fléau. L'intervention sur les dunes a permis d'améliorer significativement la diversité, la productivité et le recouvrement herbacé dans la zone d'étude. En effet, les indices de diversité de Shannon (H') des sites fixés sont les plus élevés que ceux des sites témoins. Sur les sites fixés, ces indices tendent beaucoup plus vers leur valeur maximale (4,5) et les valeurs des indices d'équitabilité de Pielou tendent également vers sa valeur maximale (1) [19]. Cela témoigne une bonne diversité et l'intervention d'un maximum d'espèces au recouvrement de ces sites.

Des résultats similaires ont été rapportés par [19] au niveau des plateaux dunaires non dégradés de la zone d'étude. Selon [12] les activités de la fixation des dunes multiplient les écotones qui déterminent la diversité des microclimats à la base de la richesse floristique. De plus la phytomasse herbacée, la diversité ligneuse, la densité et le taux de survie des ligneux sont nettement, améliorées sur les sites fixés. Ces résultats corroborent ceux de [28] qui ont montré que la plantation des arbres au sein de palissades dressées en matériaux végétaux (tiges de blé et/ou de maïs) est efficace pour stabiliser les dunes mouvantes, permet la formation des croûtes biologiques qui joueraient un rôle important dans la fixation des dunes et favorisent le maintien des biotes du sol [29]. Il est également important de noter que la palissade, en agissant sur la vitesse de vent permet de réduire significativement les flux de sédiment éoliens. Au vent, ces flux ont tendance à diminuer au fur et à mesure que l'on se rapproche de la première palissade, tandis que sous le vent, ils diminuent successivement lorsqu'on s'éloigne de celle-ci, cela jusqu'à une certaine distance. Ce phénomène observé également par [17, 30], montre l'efficacité de la fixation mécanique dans la protection des cuvettes contre l'ensablement.

5. Conclusion

Cette étude qui a pour objectif de montrer l'intérêt des cuvettes oasiennes du Manga et la nécessité de les protéger en fixant les dunes qui les entourent montre que dans ces cuvettes, sont pratiquées les cultures vivrières et les cultures de rente qui procurent non seulement de la nourriture aux populations mais aussi des revenus conséquents pour subvenir sans difficulté à la plupart de leurs besoins socioéconomiques. Les cuvettes entrent également dans le quotidien des populations en leur servant de lieux sacrés, des points d'eau, des usines d'exploitation de natron, des lieux de prélèvement du bois de chauffe et du service, des endroits de confection des briques etc. Les résultats concluants de la fixation des dunes dans la réduction des flux de sédiment éolien et la restauration du couvert végétal constituent des atouts à exploiter pour protéger les cuvettes contre l'ensablement. La place qu'occupent les cuvettes dans la vie des populations de la zone mérite une attention particulière pour assurer une gestion durable de ces ressources naturelles.

Références

- [1] - C-L. BIELDERS, S. ALVEY and N. CRONYN, Wind erosion. "The perspective of grass-roots communities in the Sahel", *Land Degradation Development*, 12 (2001) 57 - 70
- [2] - A. D. TIDJANI, K. J-M. AMBOUTA and C-L. BILEDERS, "Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées", *Géo-Eco-Trop.*, 33 (2009) 81 - 98
- [3] - A. K. MALAM BOUKAR, A. D. TIDJANI, B. YAMBA, "Performance et circuit de commercialisation des principaux produits agricoles des cuvettes oasiennes de Gouré (Niger)", *International Journal Chemistry and Science*, 10 (5) (2016) 2202 - 2214
- [4] - M. K. BARKE, B. TYCHON, I. OUSSEINI, A. OZER et C. BIELDERS, "Détection des cuvettes oasiennes du centre est du Niger par classifications d'images satellite spot5-THX. Photo-interpretation", *European journal of applied remote sensing*, 53 (2018) 32 - 46
- [5] - J. M-K. AMBOUTA, T. ZABEIROU, M. GUERO et B. AMADOU, "Typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation", *Projet d'Appui à la Gestion des Ressources Naturelles-PAGRN, DANIDA Ré. 104. Niger* (2005) 15 p.
- [6] - S. DAN HABOU, A. D. TIDJANI, A. K. MALAM BOUKAR et B. YAMBA, "Analyse du système de production et commercialisation des ressources naturelles dans les cuvettes oasiennes de Gouré", *Geo-Eco-Trop.*, 42 (2) (2018) 361 - 372
- [7] - M. JAHIEL, "Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger", *Sécheresse*, 2 (9) (1998) 167 - 174
- [8] - K. J-M. AMBOUTA, M. KARIMOU BARKE, A. D. TIDJANI et B. TYCHON, "Les cuvettes du Manga, un écosystème unique en milieu semi-aride objet d'une recherche interdisciplinaire et pluri-institutionnelle", *Geo-Eco-Trop.*, 42 (2) (2018), 245 - 257
- [9] - S K. SOULEY et A. M. ADO SALIFOU, "L'exploitation du natron dans la cuvette de Guidimouni (Commune rurale de Guidimouni au Niger)" *Annales de l'Université de Moundou, Serie A, Vol.3(1)*, (2017) 33 - 50
- [10] - M. MALAM ASSANE, K. J-M. AMBOUTA, C-L. BIELDERS et O. L. MANZO, "Evaluation du potentiel en semences viables des sols dunaires dégradés de Gouré (Sud-est du Niger)" *Géo-Eco-Trop.*, 42 (2) (2018) 299-312
- [11] - M. MALAM ASSANE, "Caractérisation du potentiel de revégétalisation spontané des sols en milieu dunaire et proposition de techniques alternatives de fixation des dunes dans le sud-est du Niger", Thèse unique, Université Abdou Moumouni, Niamey (2019) 173 p.
- [12] - M. O. LAMINO, M. ZAMAN ALLAH, P. OZER, R. PAUL and A. MAHAMANE, "La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales", *Tropicultura*, 31 (4) (2013) 260 - 271
- [13] - B. ABDOULAYE, A. D. TIDJANI et E. K. AGBOSSOU, "Analyse de l'exploitation de *Leptadenia pyrotechnica* dans le cadre de la fixation des dunes à Gouré (sud-est du Niger)" *Geo-Eco-Trop.*, 42 (2) (2018) 321 - 335
- [14] - A. A. ELHADJI SANOUSSI ISSOUFOU, H. RABIOU, I. SOUMANA, I. BIO et A. MAHAMANE, "Effet d'ébranchement pour la fixation des dunes sur la structure démographique de *Leptadenia Pyrotechnica* (FORSSK.) Decne. dans la Région de Diffa, Niger", *Afrique Science* 17(5) (2020) 110 - 123. <http://afriquescience.info>
- [15] - F. D. GIEZENDANNER, "Taille d'un échantillon aléatoire et Marge d'erreur", (2012) 22 p. <http://icp.ge.ch/sem/cms-spip/spip.php?article1641>
- [16] - P. DAGET et J. POISSONNET, "Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies. Critères d'application". *Ann Agron.*, 22 (1971) 5 - 41

- [17] - A. D. TIDJANI, A. ABDOURHAMANE TOURE, J. L. RAJOT, B. MARTICORENA, C. L. BIELDERS et C. BOUET, "Flux éolien et dynamique des fronts dunaires dans le manga, sud-est du Niger", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 28 (2016) 323 - 332. <http://www.revist.ci>
- [18] - B. HASSANE, B. DIEPPOIS, Z. GARBA, D. SEBAG, J-L. RAJOT, B. NGOUNOU. NGATCHA, A. TRAORE, A. K. MOUSSA, and A. DURAND, "Variabilité de la dynamique éolienne au Sahel : caractéristiques des vents et de la visibilité horizontale entre 1950 et 1989 à Mainé-Soroa (Niger Oriental)", *Géosciences & Développement*, 47, (48) (2010) 19 - 27
- [19] - A. MAHAMANE, K. SALEY, B. MOROU, H. RABIOU, A. AMADOU OUMANI, A. DIOUF, Y. BAKASSO, I. S. WATA, A. TANIMOUNE et M. SAADOU, "Importance des indicateurs écologiques dans la surveillance de la phytodiversité et des changements environnementaux en bioclimat sahélien", *Geo-Eco-Trop.*, 42 (2) (2018) 297 - 306
- [20] - D. GOOSSENS, Z. Y. OFFER and G. LONDON, "Wind tunnel and field calibration of five Aeolian sand traps", *Geomorphology*, 35 (2000) 233 - 252
- [21] - G. STERK and P. A. C. RAATS, "Comparison of models describing the vertical distribution of wind-eroded sediment", *Soil Sci. Soc Am. J.*, 60 (1996) 1914 - 1919
- [22] - A. K MALAM BOUKAR, B. YAMBA, L. ANDRES and P. LEBAILLY, "Les cuvettes oasiennes du Niger oriental : entre pratiques foncières et cadre législatif", *Revue Internationale des Sciences de Développement*, 4 (6) (2016) 376 - 388
- [23] - N. NASR, "Atouts et contraintes des oasis traditionnelles de Tataouine en Tunisie : étude de l'oasis d'El-Ferch", *Agriculture et développement* N° 14 (1997) 31 - 40
- [24] - J-L. FUSILLIER, H. EL AMAMI et P-Y. LE GAL, "Stratégies des agriculteurs des oasis du Nefzaoua. Entre logique patrimoniale et productive, une mise en valeur agricole orientée vers l'extension des palmeraies, malgré les risques pour la durabilité des oasis. Actes de l'atelier Sirma, « Gestion des ressources naturelles et développement durable des systèmes oasiens du Nefzaoua », Douz, Tunisie", *Cirad, Montpellier, France* (2009) 1-9
- [25] - M. KARIMOU BARKÉ, I. OUSSEINI, C. BIELDERS, K. J-M. AMBOUTA et B. TYCHON, "Caractérisation morphologique des cuvettes oasiennes du centre-est du Niger", *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume XI (2017) 255 - 276
- [26] - A. GHALI, J-B. CHENEVAL, I. ALANGA et L. JARRY, "Etude de la problématique oasienne au Niger, 3ème Programme d'Actions Concertées des Oasis - PACO 3" L'Agence Française de Développement CARI - Centre d'Actions et de Réalisations Internationales (2016) 1 - 57
- [27] - F. GEMENNE, J. BLOCHER, F. DE LONGUEVILLE, S. VIGIL DIAZ TELENTI, C. ZICKGRAF, D. GHARBAOUI & P. OZER, "Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest", *Geo-Eco-Trop*, 41 (2017) 317 - 337
- [28] - L. XINRONG, Z. ZHISHAN, T. HUIJUAN, G. YANHONG, L. LICHAO and W. XINPING, "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
- [29] - Z. XU, J. A. MASON and H. LU, "Vegetated dune morphodynamics during recent stabilization of the Mu Us dune field, north-central China", *Geomorphology*, 228 (2014) 486 - 503
- [30] - A. ABDOURHAMANE TOURÉ, J.-L. RAJOT, Z. Garba, R. Guillon, A. D. TIDJANI, B. MARTICORENA, C. PETIT and D. SEBA, Six années de suivi du flux d'érosion éolienne sur un sol sableux cultivé au Sahel : Impacts des résidus de culture et de l'encroûtement. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (2) (2013) 57 - 70