

Impacts des banquettes et demi-lunes forestières sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale spontanée dans l'Ouest nigérien

[Impacts of forest banquettes and half-moons on the physicochemical characteristics of the soil and spontaneous plant diversity in western Niger]

Amani Abdou¹, Adam Issifou¹, Barmo Soukaradji², Abdourahaman Elh Moudi Moustapha¹, and Mahamane Ali²

¹Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP 429 Niamey, Niger

²Université de Diffa, Institut Supérieur en Environnement et Écologie, BP: 78, Diffa, Niger

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Forest banquettes and half-moon techniques associated with plantations of woody species are commonly used in Niger to restore degraded lands. To assess the impacts of these anti-erosion structures on the physicochemical characteristics of the soil and plant diversity, an experimental study was carried out in the rural commune of Simiri on a plateau site fitted out with a forest banquette and a glacis site with forest half-moons. An undeveloped control zone was considered for each restoration site. The soil moisture at the structures was regularly recorded for 30 months. Soil samples under the crown of the planted plants were taken and analyzed in the laboratory. A floristic inventory of spontaneous species was carried out on restoration sites and control areas. Finally, the herbaceous biomass was evaluated. It emerges from this experiment that forest benches and half-moons significantly improve soil moisture and texture as well as organic carbon under the crown of planted plants. These conditions allowed the development of spontaneous plant diversity. These results highlight the effectiveness of forest banquettes and half-moons in restoring degraded lands of plateaus and glacis.

KEYWORDS: Land restoration, forest banquettes, forest half-moons, soil, Niger.

RESUME: Les techniques de banquettes et demi-lunes forestières associées aux plantations d'espèces ligneuses sont couramment utilisées au Niger pour restaurer les terres dégradées. Pour évaluer les impacts de ces ouvrages antiérosifs sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale, une étude expérimentale a été conduite dans la commune rurale de Simiri sur un site de plateau aménagé avec des banquettes forestières et un site de glacis avec des demi-lunes forestières. Une zone témoin non aménagée a été considérée pour chaque site en restauration. L'humidité du sol au niveau des ouvrages a été régulièrement enregistrée durant 30 mois. Des échantillons de sols sous houppier des plants plantés ont été prélevés puis analysés au laboratoire. Un inventaire floristique des espèces spontanées a été réalisé sur les sites en restauration et les zones témoins. Enfin, la biomasse herbacée a été évaluée. Il ressort de cette expérimentation que les banquettes et demi-lunes forestières améliorent significativement l'humidité et la texture du sol ainsi que le carbone organique sous houppier des plants plantés. Ces conditions ont permis le développement d'une diversité végétale spontanée. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité des banquettes et demi-lunes forestières dans la restauration des terres dégradées de plateaux et de glacis.

MOTS-CLEFS: Restauration, banquettes forestières, demi-lunes forestières, sol, Niger.

1 INTRODUCTION

Dans la zone sahélienne en général, et au Niger en particulier, les ressources naturelles subissent une dégradation due aux actions conjuguées du climat (sécheresse, forte variabilité spatiale et temporelle des pluies) et de l'homme (agriculture extensive, surpâturage, exploitation abusive des espèces ligneuses, feux de brousse). Il en résulte une fragilisation du capital de production exposant la population à l'insécurité alimentaire. Le sol, de par ses fonctions vitales de support et banque d'éléments nutritifs pour les plantes, de réservoir d'eau, de régulateur de température et d'épurateur biologique, demeure sinon la plus importante ressource naturelle de l'humanité, du moins la plus fondamentale pour l'agriculture et l'environnement sahélien. Pour assurer durablement ses fonctions vitales, le sol doit être préservé des actions néfastes de l'érosion ou en être traité lorsqu'il est déjà affecté. Afin de garantir cette durabilité,

l'homme mène des activités comprenant des mesures antiérosives de conservation des eaux et du sol et de défense et restauration de sol (CES/DRS). Les mesures antiérosives visent en général trois objectifs qui correspondent aux concepts de la restauration, de la réhabilitation et de la réaffectation. La restauration au sens strict consiste à interrompre les facteurs de dégradation pour permettre au milieu de retrouver naturellement la flore et la faune primitives et plus tard les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols originaux PAC

Au sens large, la restauration vise simplement à stopper la dégradation et à remettre un écosystème dégradé, mais présentant encore un niveau suffisant de résilience, sur la trajectoire dynamique sensée être la sienne avant la perturbation [1]. La réhabilitation vise à réparer, aussi rapidement que possible, les fonctions (résilience et productivité), endommagées ou tout simplement bloquées, d'un écosystème en le repositionnant sur une trajectoire favorable. La réaffectation est le terme général décrivant ce qui se passe quand une partie (ou la totalité) d'un paysage, quel que soit son état, est transformée et qu'un nouvel usage lui est assigné. Ce nouvel état est éventuellement sans relation de structure et/ou de fonctionnement avec l'écosystème préexistant.

Selon la nature de la pente et la typologie des unités physiographiques que l'on veut traiter, plusieurs techniques de restauration, réhabilitation ou réaffectation sont couramment utilisées parmi lesquelles les banquettes forestières sur plateaux érodés et les demi-lunes forestières sur glacis. Cependant, la réussite de la restauration rapide des terres dégradées exige le respect de six règles dont la gestion adéquate des eaux de surface [2].

L'objectif principal de ce travail est de déterminer les impacts des banquettes et demi-lunes forestières sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale après trois ans de plantation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITES D'ETUDE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'expérimentation s'est déroulée dans la commune rurale de Simiri sur deux sites de restauration de terres distants de 8 km (fig. 1). Un site de plateau aménagé avec des banquettes sylvopastorales et un site de glacis avec des demi-lunes forestières.

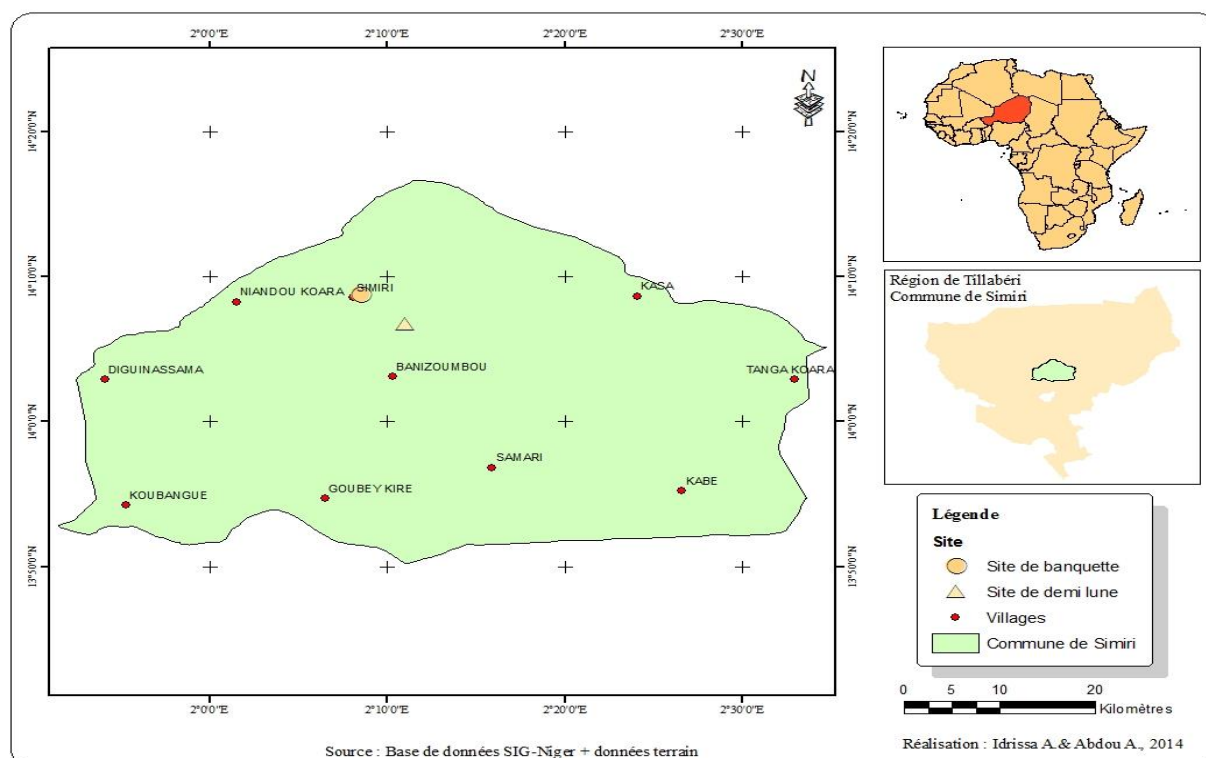


Fig. 1. Localisation des sites de restauration dans la commune de Simiri

Le site de plateau ($14^{\circ}08'45,2''$ de latitude Nord et $2^{\circ}08'27,2''$ de longitude Est), est un terrain dégradé d'une superficie de 6,7 ha caractérisé par la dominance des croûtes gravillonnaires et des croûtes d'érosion. Le sol, de type ferrugineux tropical non ou peu lessivé, est peu profond. Le ruissellement est diffus avec un drainage modéré.

L'aménagement antiérosif de ce plateau a consisté à la confection d'une quarantaine banquettes sur une superficie de 6,7 ha. Une banquette forestière est un ouvrage en terre, en pierres ou mixte, en forme diguette antiérosive réalisée le long des courbes de niveau. Elle se compose d'un bourrelet à l'aval et d'un fossé à l'amont muni de deux ailes et dans lequel sont plantées des espèces ligneuses. La fonction des banquettes est de capter l'eau de ruissellement, favoriser son infiltration, lutter contre l'érosion hydrique et récupérer des terres dégradées à des fins sylvicoles. Les banquettes forestières sont implantées sur des terres dégradées à pente < 5% selon un écartement entre les lignes de 25 à 30 m et un écartement sur la ligne de niveau de 10 m soit une densité de 6 banquettes/ha (Fig. 2)

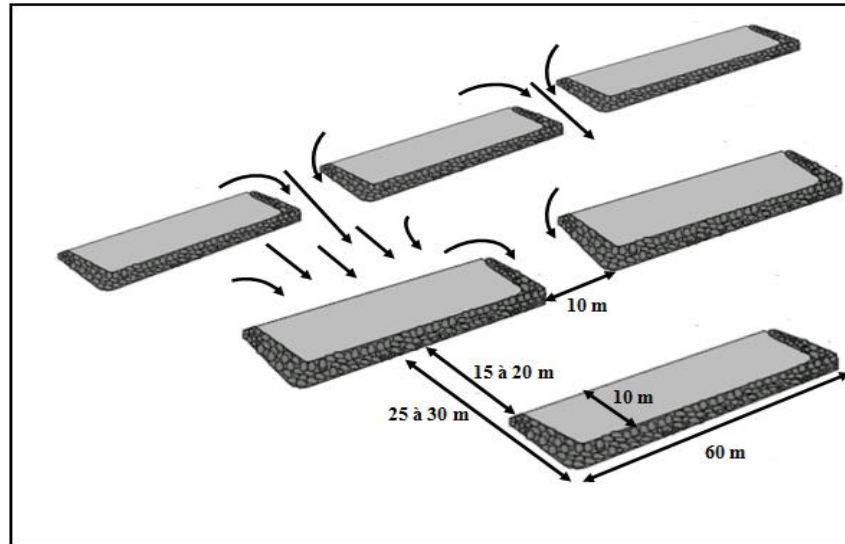


Fig. 2. Banquettes forestières sur site de plateau

Les banquettes ont été mises en valeur au moyen de la plantation de 800 plants de 4 espèces de Combretaceae selon un écartement de 4 m entre les plants soit 20 plants/banquette. Le site a été clôturé avec du grillage. Un terrain de même superficie, non clôturé et sans banquette et contigu à ce site a été considéré comme site témoin.

Le site de glacis (14°06'41,8" de latitude Nord et 2°10'57,4" de longitude Est) est un terrain légèrement ensablé de 3,6 ha marqué par les traces d'érosion en nappe et en rigole et la présence des croûtes structurales et celles d'érosion. Le sol, ferrugineux lessivé, est assez profond (100 à 120 cm). Le ruissellement est diffus avec un drainage excessif.

La technique antiérosive expérimentée pour restaurer ce site était la demi-lune forestière. Huit cents demi-lunes y ont été installées. Une demi-lune est un ouvrage composé d'un bassin en demi-cercle d'une profondeur de 20 à 30 cm et d'un bourrelet dont la hauteur varie de 30 à 40 cm. Les demi lunes sont installées sur des courbes de niveau et disposées en quinconce (fig. 3). L'écartement entre deux demi-lunes est de 4 m le long d'une ligne. L'écartement entre deux lignes successives est de 4 m. L'espacement entre deux trous successifs de plantation sur une ligne est de 8 m soit une densité de 313 demi-lunes à l'hectare. Cette technique a pour rôle de réduire le ruissellement des eaux pluviales et l'érosion hydrique des sols, de favoriser l'infiltration et d'augmenter la disponibilité en eau pour les plantes. Les demi-lunes permettent ainsi de récupérer des terres à des fins agrosylvopastorales [3].

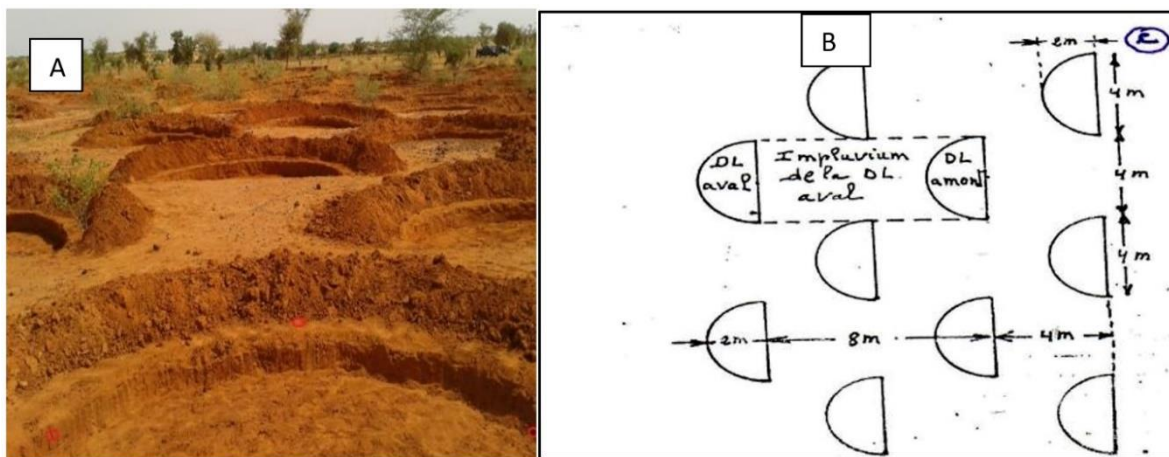


Fig. 3. Demi-lunes forestières en quinconce sur site de glacis
A: Demi-lunes forestières sur glacis. B: Schéma illustrant les dimensions d'une demi-lune

Dans ces demi-lunes, 800 plants de 4 espèces de Combretaceae ont été plantés selon un écartement de 4 m. Comme le précédent, ce site a été clôturé avec du grillage et, un espace voisin du même glacis et ayant la même superficie mais non clôturé et sans demi-lunes a été considéré comme site témoin.

2.2 DISPOSITIF DE SUIVI DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU DU SOL

Dans l'objectif d'effectuer un suivi régulier de l'humidité du sol sur les deux sites, il a été installé un tube d'accès d'une sonde de marque « DIVINER 2000 » au niveau d'un ouvrage par site. Il a également été installé les mêmes tubes de mesures dans les zones témoins.

La sonde DIVINER 2000 mesure l'humidité volumique sur chaque 10 cm de profondeur jusqu'à une profondeur maximale de 160 cm. Pour chaque niveau de profondeur, l'appareil effectue deux mesures ce qui permet de calculer la moyenne arithmétique par niveau. Le stock hydrique est obtenu en cumulant les valeurs d'humidité mesurées. Sur le site de banquettes, le tube était installé au milieu de la banquette (fig. 4) à une profondeur de 100 cm dans le fossé, le long de la ligne des trous de plantation. Sur le site de demi-lunes forestières le tube était enfoncé à une profondeur de 120 cm à proximité du trou de plantation.

Une sonde à neutron/gamma densimètre de marque CPN 501 a également été utilisée pour mesurer la densité apparente du sol des sites de restauration et de leurs témoins.

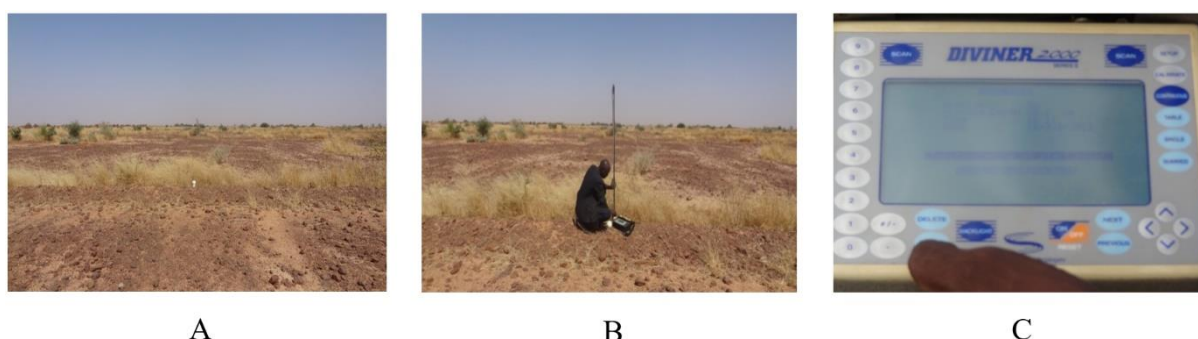


Fig. 4. Dispositif de suivi de l'humidité du sol sur les sites de restauration

A: Tube implanté dans une banquette; B: Mesure de l'humidité du sol avec la sonde DIVINER 2000; C: Console de la sonde DIVINER 2000

Les mesures de l'humidité du sol sur les sites de restauration et leurs témoins ont commencé deux mois après la plantation et ont duré 30 mois. La périodicité de ces mesures est mensuelle pendant la saison sèche et décadaire pendant la saison des pluies. La pluviométrie a été suivie durant toute la période au moyen d'un pluviomètre installé à environ 500 m du site de banquettes.

2.3 PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DE SOL AU NIVEAU DES DIFFERENTS SITES

Afin de déterminer l'impact de la restauration sur les caractéristiques physico-chimiques du sol sous houppier des plants, des prélèvements de sol à 0-20 cm et 20-50 cm de profondeur ont été effectués aussi bien sur les deux sites de restauration que sur les témoins.

Sur les sites de restauration abritant les 4 espèces, 24 échantillons composites ont été prélevés sur la base de 3 échantillons par niveau et par espèce. Le prélèvement des échantillons a été réalisé sous houppier et à 10 cm de plants dans les 4 directions cardinales.

Sur les sites témoins qui étaient sans plantation, trois échantillons composites par niveau de profondeur ont été constitués soit 6 échantillons par témoin.

2.4 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

L'analyse physico-chimique des échantillons a été faite au laboratoire de l'ICRISAT. Les paramètres évalués sont la granulométrie, le carbone total, l'azote total, le phosphore total, le potassium total, le phosphore assimilable, la capacité d'échange cationique, les bases échangeables (Na^+ ; K^+ , Ca^{2+} ; Mg^{2+}) et le pH-eau

La granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette de Robinson qui a permis de séparer les cinq fractions granulométriques (argile, limon fin, limon grossier, sable fin et sable grossier). Ainsi, selon que la teneur en argile est inférieure à 15%, comprise entre 15 % et 35 % ou supérieure à 35 %, les sols ont été classés respectivement à texture grossière, moyenne ou fine [4]. Le carbone a été déterminé par la méthode de [5]. L'azote total et le phosphore total ont été déterminés par minéralisation de l'échantillon de sol avec un mélange d'acide sulfurique - sélénium - salicylique (H_2SO_4 -Se- $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) après chauffage progressif (100 à 340°C) jusqu'à

minéralisation totale [6]. Le potassium total a été déterminé à l'aide d'un photomètre à flamme dans le même extrait que celui du phosphore total. Le phosphore assimilable a été évalué par la méthode de Bray I [7]. La détermination de la capacité d'échange cationique a été faite sur un extrait à l'Argent Thiouré (Ag Tu) à 0,01 M [7]. La détermination des bases échangeables (Na^+ ; K^+ , Ca^{2+} ; Mg^{2+}) a été réalisée après passage au spectrophotomètre d'absorption atomique. Les mesures du pH-eau ont été effectuées avec un pH mètre à partir d'une solution aqueuse de rapport 1/2,5 [7].

2.5 INVENTAIRE FLORISTIQUE ET PRELEVEMENT DE LA BIOMASSE HERBACEE

Pour évaluer l'impact de la restauration sur la diversité végétale, un inventaire floristique des espèces spontanées a été effectué en septembre dans des placettes de 20 m sur 50 m soit 1000 m². Dix placettes par site de restauration et dix autres par témoin ont été explorées soit un taux de 15,5 % pour le site de banquettes et 27,8 % pour le site de demi-lunes forestières. Le recouvrement de chaque espèce répertoriée est apprécié par la mention des codes d'abondances dominances suivant l'échelle de Braun Blanquet [8].

Dans chaque placette, cinq prélèvements de phytomasse herbacée ont été effectués. Un quadrat d'un mètre carré est placé dans les 4 angles et au milieu de la placette. Toutes les plantes herbacées délimitées par ce quadrat sont coupées au ras du sol. Les échantillons sont pesés sur place puis un échantillon composite est prélevé afin de permettre la conversion de la biomasse fraîche à la biomasse sèche. Le pesage a été réalisé à l'aide d'une balance numérique de portée 5 kg et de précision ± 1 g. Les échantillons composites sont d'abord séchés au soleil puis à l'étuve à 70°C pendant 24 heures. Après le séchage à l'étuve, tous les échantillons ont été pesés immédiatement afin d'éviter qu'ils soient imprégnés d'humidité ambiante.

La détermination puis la dénomination des espèces ont été faites à partir de la flore du Sénégal [9]. Les synonymies ont été actualisées sur la base de Flora of West Tropical Africa [10] enrichie et annotée en décembre 2013 par African Plants Database (version 3.4.0).

Pour apprécier la diversité spécifique des deux sites, l'indice de diversité (H) de Shannon Weaver [11], l'équitabilité de Pielou [12] et l'indice (Ji) de similitude Jaccard [13] ont été calculés.

2.5.1 INDICE DE DIVERSITE DE SHANNON-WEAVER (H)

L'indice de Shannon-Weaver est l'un des indices de biodiversité les plus utilisés pour apprécier la biodiversité d'une station ou d'un groupement écologique. Il est exprimé en bits et sa formule est:

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

$p_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$ représente la proportion relative du recouvrement moyen de l'espèce i sur le site; n_i désigne le recouvrement moyen de l'espèce i et $\sum n_i$ le recouvrement total de toutes les espèces. S est le nombre total d'espèces constitutives du peuplement du site. L'indice de Shannon varie en fonction du nombre d'espèces présentes et du recouvrement relatif de chaque espèce. Il est minimal ($H = 0$) lorsque le peuplement est monospécifique et maximal lorsque toutes les espèces ont le même recouvrement ou sont représentées par le même nombre d'individus. Les degrés de richesse exprimée de la biodiversité selon la valeur de H sont selon Morou (2010): $H < 2,5$ = faible; $2,5 \leq H < 4$ = moyen; $H \geq 4$ = élevé [14].

2.5.2 INDICE D'EQUITABILITE DE PIELOU (E)

L'indice d'équitabilité de Pielou (E) représente le rapport entre l'indice de Shannon (H) et la diversité maximale théorique (Hmax). L'équitabilité de Pielou est selon [15]. Djégo (2006) une mesure de diversité atteinte par le peuplement par rapport au maximum. Cet indice qui évalue le poids de chaque espèce dans l'occupation de l'espace est d'autant plus élevé qu'un grand nombre d'espèces participe au recouvrement et minimal lorsqu'une espèce domine les autres [16]. Sa formule est:

$$E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\log_2 S} \quad (2)$$

S étant le nombre total d'espèces constitutives du peuplement du site.

L'indice d'équitabilité de Pielou varie de 0 à 1 et son niveau d'importance s'apprécie par les normes suivantes:

$E < 0,6$ = faible; $0,6 \leq E \leq 0,7$ = moyen; $E \geq 0,8$ = élevé [14]

2.5.3 INDICE DE SIMILITUDE DE JACCARD (Ji)

L'indice de Jaccard est le rapport entre le nombre d'espèces communes et le nombre total d'espèces:

$$Ji = \frac{C}{A+B-C} \quad (3)$$

A et B représentent respectivement les nombres d'espèces recensées sur le site A et le site B. C désigne le nombre d'espèces communes aux deux sites. Il varie de 0 à 1. Une valeur proche de 1 indique une forte similarité entre les sites [17].

2.6 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse s'est articulée sur la comparaison d'un certain nombre d'attributs vitaux axés au processus écologique, à la structure de la végétation et à la diversité. La prise en compte de ces trois grandes catégories d'attributs vitaux de l'écosystème a été vivement recommandée par [18].

Deux logiciels, JMP 9.00 et PCORD 5, ont été utilisés pour le traitement et l'analyse des données. La comparaison des moyennes a été réalisée au seuil de signification de 5 % au moyen de l'analyse des variances (ANOVA) et du test de Kruskal-Wallis. Une comparaison post hoc par le test de T de Student pour ANOVA et celui de Wilcoxon pour le test de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour classer les moyennes.

3 RESULTATS

3.1 IMPACTS DES TECHNIQUES DE RESTAURATION SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DES SITES

3.1.1 HUMIDITE VOLUMIQUE ET DENSITE APPARENTE DES SOLS DES SITES

L'évolution de l'humidité volumique (fig. 5) sur le site de banquettes a montré qu'en profondeur il n'y avait pas de différence significative ($P = 0,165$) entre la zone témoin ($9,95 \pm 2,78$ %) et la zone en restauration ($11,88 \pm 3,17$ %) en saison sèche. Par contre, en saison des pluies, il a été enregistré une différence très significative ($P = 0,004$) entre l'humidité de la zone en restauration ($21,99 \pm 2,66$ %) et celle de zone témoin ($18,52 \pm 2,06$ %). En considérant toute la période d'observation, la différence est également significative ($P = 0,031$) entre les deux moyennes ($17,25 \pm 6,84$ % pour le site de restauration et $13,86 \pm 6,16$ % pour le témoin). Aussi bien sur le site de banquettes que sur la zone témoin, les valeurs de l'humidité ont augmenté régulièrement de la surface en profondeur. Les valeurs minimales ont été enregistrées à 10 cm et les maximales à 100 cm.

Sur le site de demi-lunes forestières, l'humidité volumique a enregistré une différence significative ($P = 0,003$) entre la zone en restauration ($10,86 \pm 2,63$ %) et le témoin ($8,25 \pm 2,43$ %) en saison des pluies seulement. En considérant toute la période d'essai, l'humidité a évolué de $8,11 \pm 6,54$ % pour le témoin à $9,16 \pm 5,45$ % pour la zone traitée. Pendant la saison sèche l'humidité volumique était de $6,07 \pm 1,02$ % au niveau des demi-lunes contre $5,61 \pm 1,36$ % dans la zone témoin.

On remarque que l'humidité volumique a irrégulièrement varié en profondeur et les valeurs maximales ont été enregistrées entre 30 et 40 cm.

La densité apparente moyenne du sol sur le site de banquettes sur plateau était de $1,41 \pm 0,09$. Celle de son témoin était de $1,46 \pm 0,12$. Quant au site de demi-lunes sur glacis, il a une densité apparente de $1,53 \pm 0,06$ alors que celle du témoin est de $1,51 \pm 0,15$.

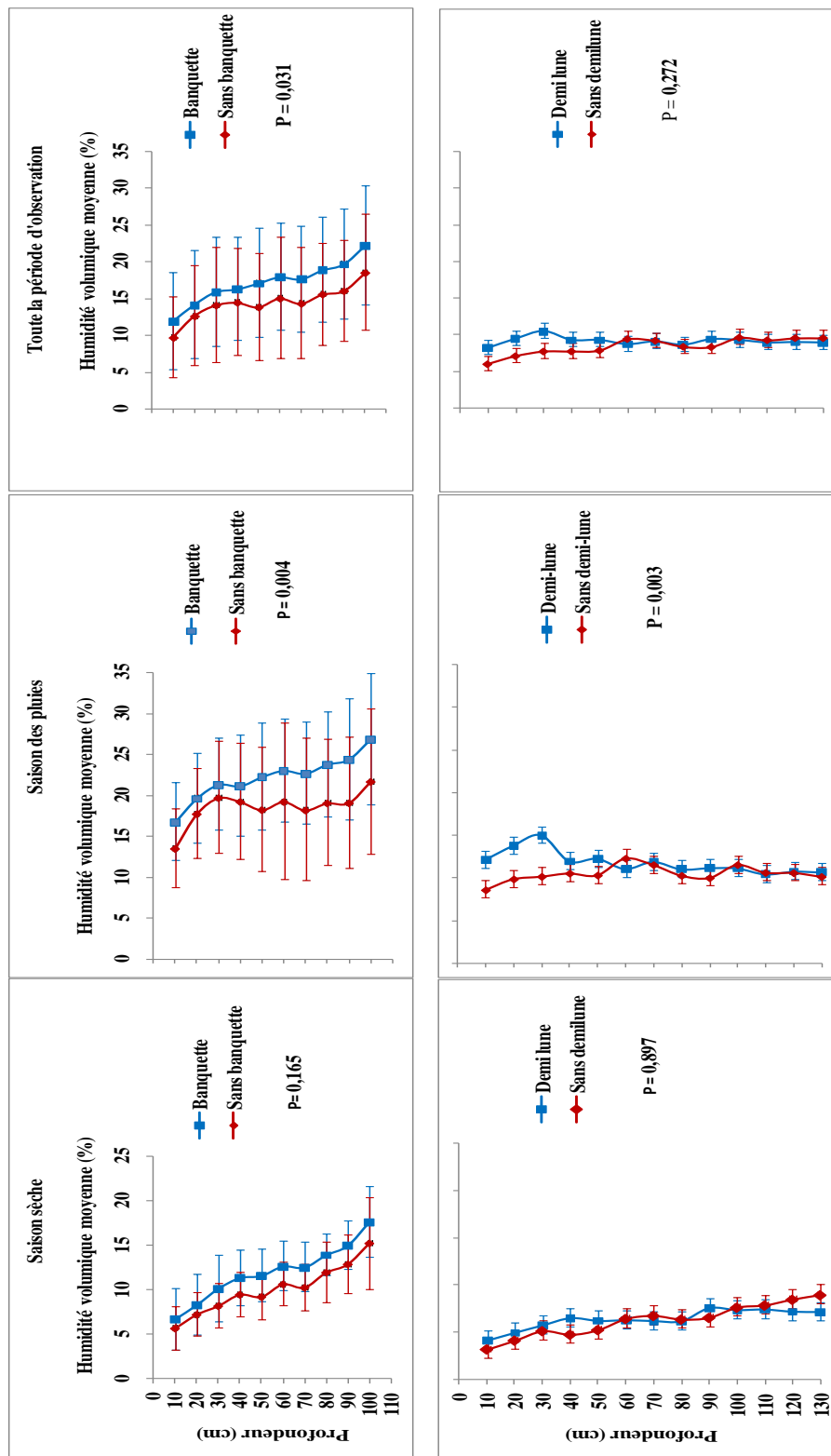


Fig. 5. Comparaison de l'humidité volumique moyenne du sol en profondeur sur les sites de banquettes et de demi-lunes selon les périodes

Les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l'issue du test de Student ou de Wilcoxon

L'humidité volumique moyenne sur 10 cm d'épaisseur (fig. 6) a enregistré souvent une hausse en fonction de la quantité des pluies tombées l'avant-veille et/ou la veille (de relevé de l'humidité) et du temps d'attente avant la pluie suivante. Les moyennes de l'humidité volumique enregistrées dans les banquettes en saison sèche, en saison des pluies et durant toute la période d'observation ont été supérieures ($P_1=0,007$, $P_2=0,007$, $P_3<0,0001$) à celles des demi-lunes forestières durant respectivement les trois périodes précédentes.

A partir du mois de juillet 2013, les valeurs de l'humidité des zones en restauration et des témoins (fig. 6A et 6B) sont confondues, c'est-à-dire qu'il n'existait plus de différence significative entre elles ($P = 0,442$). Cela indique qu'à partir de cette date, les banquettes et les demi-lunes ne jouaient plus leur rôle de captage et d'infiltration.

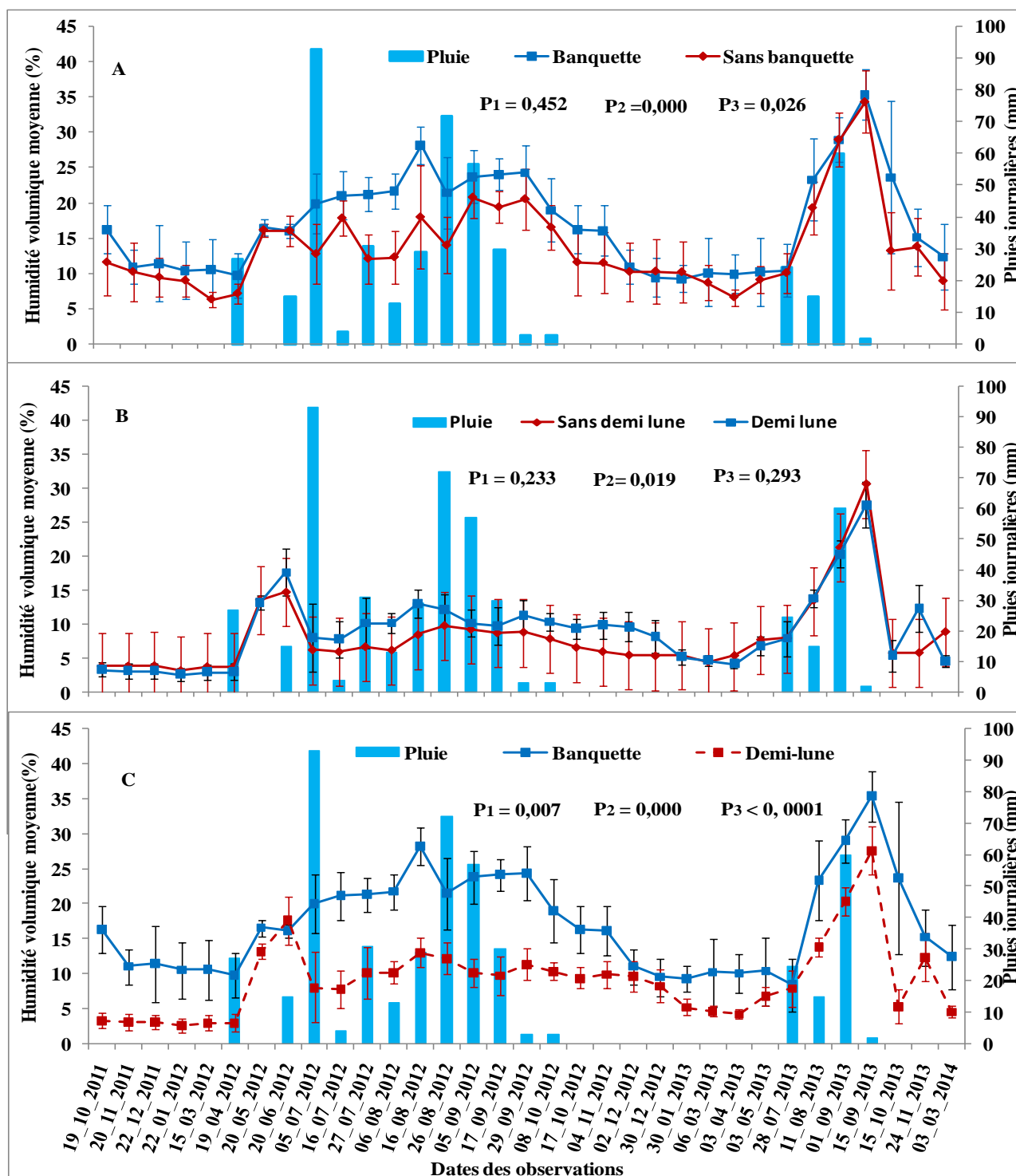


Fig. 6. Comparaison de l'Humidité volumique du sol (sur une épaisseur moyenne de 10 cm) dans les 100 premiers centimètres de profondeur en relation avec les pluies journalières enregistrées l'avant-veille et/ou la veille

A: entre le site banquettes et son témoin; B: entre le site demi-lune et son témoin; C: Entre le site banquettes et le site demi-lunes; les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l'issue du test de Student ou de Wilcoxon (P_1 = p value issue de la comparaison en saison sèche 2012-2013; P_2 = p-value issue de la comparaison en saison des pluies 2012; P_3 = p value issue de la comparaison sur toute la période d'observation)

3.1.2 TEXTURE ET PARAMETRES CHIMIQUES DU SOL

Sur le site de banquettes, les proportions du sable grossier, du sable fin et d'argile sous les houppiers de 4 espèces ont connu des variations significatives ($P < 0,05$) par rapport aux témoins (tableau 1). Le sable grossier a connu une réduction dans les deux niveaux de profondeur par rapport aux témoins. La teneur en sable fin la plus faible a été enregistrée sous *G. senegalensis* à 20-50 cm de profondeur et la plus élevée sous *C. nigricans* à 0-20 cm de profondeur (tableau 1). Par rapport au ZT-0_20, la teneur en argile sous *G. senegalensis* a été la plus élevée ($37,38 \pm 2,77$ %). Les autres teneurs ne sont pas statistiquement différentes. A la profondeur 20-50 cm, les teneurs sous houppier de *C. glutinosum* ($42 \pm 1,15$ %) et de *G. senegalensis* ($39,04 \pm 4,78$ %) statistiquement identiques, étaient supérieures à celles observées sous *C. micranthum* et *C. nigricans* entre lesquelles il n'y avait pas de différence significative.

L'analyse granulométrique (3 fractions) a mis en évidence un changement de la texture moyenne (60,33 % de sable, 9,09 % de limon et 30,58 % d'argile) à la texture fine (51,37 % de sable, 12,33 % de limon et 36,30 % d'argile) induit par la restauration au niveau des banquettes (fig. 7). La restauration sur site de glacis n'a pas induit un changement de texture du sol qui demeure sableuse sur le glacis.

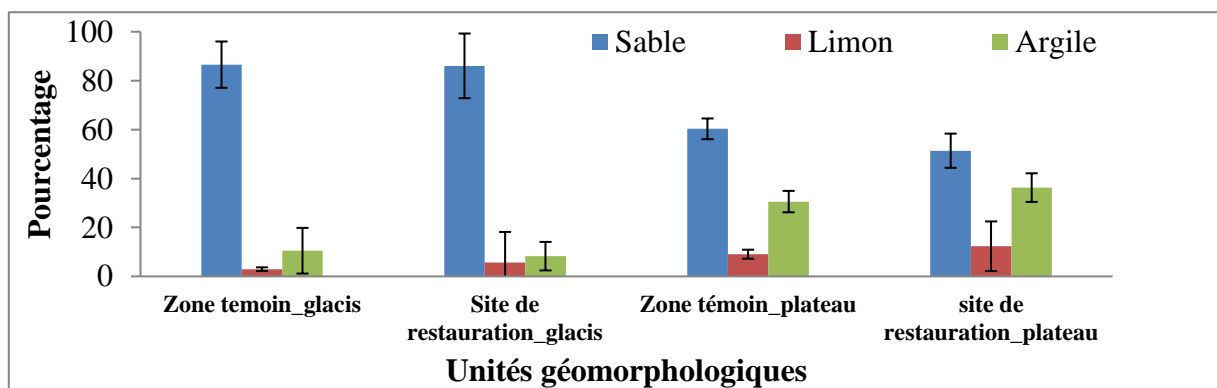


Fig. 7. Texture des sols des sites de restauration et zones témoins

S'agissant des paramètres chimiques des différences significatives ont été observées uniquement sur le carbone organique et le pH (tableau 1).

La teneur en carbone organique et donc indirectement la matière organique sous *C. glutinosum* et *G. senegalensis* a connu des hausses significatives ($P = 0,006$) par rapport aux témoins ZT-0_20. Les valeurs étaient très basses (0,17 % à 0,38 %). A la profondeur de 20 à 50 cm aucune différence significative n'a été observée par rapport au témoin.

Le pH a significativement augmenté sous les houppiers des 4 espèces aux deux niveaux de profondeurs par rapport aux deux témoins. Le sol était très fortement acide (pH de 4,25 à 5,09).

Sur le site de demi-lunes (tableau 2), les paramètres physico-chimiques n'ont pas connu de variations significatives par rapport au témoin à l'exception du phosphore assimilable ($P = 0,0134$). A la profondeur de 0-20 cm, les valeurs observées du phosphore assimilable ont varié de 1,16 à 2,2 mg/kg de sol. La valeur la plus petite a été observée sous le houppier de *C. micranthum*. Il n'existe pas de différence significative entre les différentes valeurs et celle du témoin (2,051 mg/kg). A la profondeur de 20-50 cm, la valeur observée sous le houppier de *G. senegalensis* (2,1 mg/kg) était supérieure à celle du témoin (1,23 mg/kg). La différence entre les autres valeurs et celle du témoin n'est pas significative.

Tableau 1. Comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques du sol sur site de banquettes à des profondeurs 0-20 cm et 20-50 cm sous les houppiers des 4 espèces de Combretaceae

Paramètres	Traitements										P valeur
	CG-0_20	CG-20_50	CM-0_20	CM-20_50	CN-0_20	CN-20_50	GS-0_20	GS-20_50	ZT-0_20	ZT-20_50	
Physiques	M ± σ										
Sable grossier (%)	18,03 ± 7,56 d	20,64 ± 2,33 cd	22,38 ± 2,61 cd	23,26 ± 2,01 cd	25,31 ± 0,72 bc	22,19 ± 0,27 cd	22,39 ± 2,90 cd	25,79 ± 1,68 bc	31,57 ± 3,37 a	29,86 ± 4,12 ab	0,0145
Sable fin (%)	25,64 ± 10,11 bc	25,04 ± 0,91 abc	31,98 ± 2,68 ab	28,47 ± 1,22 abc	33,02 ± 2,18 a	29,6 ± 3,99 abc	29,28 ± 0,95 abc	25,04 ± 2,08 c	32,05 ± 0,85 bc	27,18 ± 2,23 abc	0,0443
Limon grossier (%)	22,12 ± 30,23 a	4,05 ± 0,61 a	4,68 ± 0,47 a	4,39 ± 0,43 a	4,85 ± 0,63 a	4,53 ± 0,62 a	4,47 ± 0,11 a	4,59 ± 0,46 a	4,37 ± 0,93 a	4,44 ± 1,27 a	0,9096
Limon fin (%)	4,75 ± 1,83 a	5,17 ± 0,45 a	6,19 ± 0,98 a	5,53 ± 1,23 a	5,51 ± 1,28 a	5,75 ± 0,34 a	6,48 ± 0,34 a	5,54 ± 0,86 a	4,87 ± 1,27 a	4,50 ± 0,66 a	0,2892
Argile (%)	29,46 ± 11,42 cd	42,15 ± 1,55 a	34,77 ± 3,28 abcd	38,37 ± 2,02 ab	31,30 ± 2,79 bcd	37,93 ± 4,61 ab	37,38 ± 2,77 abc	39,04 ± 4,78 a	27,14 ± 2,68 d	34,02 ± 2,28 bcd	0,0264
Chimiques											
C organique (%)	0,38 ± 0,09 a	0,32 ± 0,07 abc	0,23 ± 0,06 abc	0,19 ± 0,04 bc	0,20 ± 0,01 bc	0,17 ± 0,02 c	0,35 ± 0,12 ab	0,24 ± 0,04 abc	0,17 ± 0,02 c	0,18 ± 0,01 c	0,0066
N total (mg/kg)	299,33 ± 196,55 a	297,66 ± 68,34 a	257,33 ± 31,78 a	219,66 ± 14,49 a	210 ± 4,29 a	199 ± 18,05 a	306,66 ± 50,97 a	280,66 ± 66,18 a	197 ± 32,33 a	206 ± 78,57 a	0,0929
P total (mg/kg)	25,18 ± 8,39 a	25,36 ± 8,30 a	30,36 ± 2,16 a	23,93 ± 10,05 a	25,54 ± 4,68 a	52,69 ± 1,51 a	34,83 ± 3,34 a	36,08 ± 19,35 a	30,90 ± 6,46 a	41,26 ± 19,69 a	0,2621
P assimilable (mg/kg)	4,26 ± 0,64 a	2,5 ± 0,67 a	4,76 ± 0,97 a	2,83 ± 0,98 a	4,16 ± 1,18 a	3,43 ± 2,19 a	4,3 ± 0,72 a	2,43 ± 0,67 a	4,2 ± 0,48 a	3,03 ± 0,60 a	0,0871
K total (mg/kg)	149,75 ± 200,95 a	464,25 ± 538,09 a	547,25 ± 524,39 a	390 ± 229,33 a	254,75 ± 76,97 a	290,5 ± 55,73 a	607,5 ± 330,73 a	749,75 ± 599 a	243,5 ± 193,49 a	200 ± 176,75 a	0,4904
pH_eau	4,71 ± 0,24 ab	4,86 ± 0,17 ab	4,95 ± 0,05 a	4,96 ± 0,04 a	4,99 ± 0,18 a	4,89 ± 0,04 ab	5,09 ± 0,10 a	5,05 ± 0,12 a	4,52 ± 0,12 bc	4,25 ± 0,15 c	0,0134
S (Cmol+/kg)	1,66 ± 0,45 a	1,07 ± 0,32 a	1,66 ± 0,37 a	1,37 ± 0,56 a	1,18 ± 0,36 a	1,52 ± 0,82 a	1,60 ± 0,30 a	1,92 ± 0,32 a	1,57 ± 0,53 a	1,62 ± 0,33 a	0,5218
CEC (mg/kg)	1,45 ± 0,33 a	1,40 ± 0,07 a	1,45 ± 0,3 a	1,61 ± 0,35 a	1,40 ± 0,08 a	1,57 ± 0,37 a	1,54 ± 0,42 a	1,80 ± 0,45 a	1,5 ± 0,20 a	1,52 ± 0,34 a	0,8952

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas statistiquement différentes; S: somme des bases échangeables; M = moyenne; σ = écart type; CEC: capacité d'échange cationique; CG-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum glutinosum de 0 à 20 cm de profondeur sol; CG-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum glutinosum de 20 à 50 cm de profondeur sol; CM-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum micranthum de 0 à 20 cm de profondeur sol; CM-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum micranthum de 20 à 50 cm de profondeur sol; CN-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum nigricans de 0 à 20 cm de profondeur sol; CM-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum nigricans de 20 à 50 cm de profondeur sol; GS-0_20: échantillon de sol autour du plant de Guiera senegalensis de 0 à 20 cm de profondeur sol; GS-20_50: échantillon de sol autour du plant de Guiera senegalensis de 20 à 50 cm de profondeur sol; ZT-0_20: échantillon de sol prélevé à 0 à 20 cm de profondeur dans la zone témoin; ZT-20_50: échantillon de sol prélevé à 20 à 50 cm de profondeur dans la zone témoin

Tableau 2. Comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques du sol sur site de demi-lunes forestières à des profondeurs 0-20 cm et 20-50 cm sous les houppiers des 4 espèces de Combretaceae

Paramètres	Traitements										P valeur
	CG-0_20	CG-20_50	CM-0_20	CM-20_50	CN-0_20	CN-20_50	GS-0_20	GS-20_50	ZT-0_20	ZT-20_50	
Physiques	M ± σ										
Sable grossier (%)	33,68 ± 18,06 a	42,12 ± 9,72 a	43,15 ± 6,83 a	39,58 ± 2,93 a	34,32 ± 1,69 a	33,55 ± 6,08 a	37,93 ± 3,94 a	38,24 ± 2,76 a	41,01 ± 6,27 a	39,56 ± 4,49 a	0,5947
Sable fin (%)	38,30 ± 18,42 a	47,43 ± 4,12 a	47,36 ± 2,53 a	48,46 ± 5,24 a	51,55 ± 5,01 a	45,73 ± 4,38 a	54,06 ± 3,44 a	53,13 ± 1,72 a	47,83 ± 4,42 a	44,73 ± 8,78 a	0,2552
Limon grossier (%)	22,05 ± 36,14 a	0,87 ± 0,45 a	1,81 ± 0,54 a	1,66 ± 0,14 a	1,86 ± 0,46 a	2,05 ± 0,56 a	2,12 ± 0,63 a	2,05 ± 0,54 a	1,49 ± 0,11 a	1,85 ± 0,48 a	0,2967
Limon fin (%)	0,58 ± 0,14 a	1,11 ± 0,55 a	1,38 ± 0,91 a	1,68 ± 0,82 a	1,63 ± 0,34 a	1,83 ± 0,40 a	1,17 ± 0,36 a	1,48 ± 0,65 a	1,11 ± 0,45 a	1,44 ± 0,52 a	0,2095
Argile (%)	5,39 ± 3,67 a	8,47 ± 5,66 a	6,3 ± 5,78 a	8,62 ± 7,23 a	10,68 ± 6,09 a	16,84 ± 7,12 a	4,73 ± 0,70 a	5,11 ± 0,56 a	8,56 ± 7,58 a	12,43 ± 12,22 a	0,5637
Chimiques											
C organique (%)	0,07 ± 0,01 a	0,06 ± 0,09 a	0,095 ± 0,03 a	0,09 ± 0,06 a	0,10 ± 0,01 a	0,11 ± 0,01 a	0,12 ± 0,04 a	0,09 ± 0,12 a	0,07 ± 0,02 a	0,10 ± 0,05 a	0,0749
N total (mg/kg)	94,33 ± 29,10 a	78,66 ± 16,26 a	92,66 ± 11,15 a	101,33 ± 24,63 a	88,66 ± 22,39 a	120 ± 15,70 a	130 ± 21,69 a	209,33 ± 217,97 a	95 ± 54,71 a	117 ± 66,05 a	0,5255
P total (mg/kg)	13,93 ± 8,35 a	17,33 ± 6,70 a	10,18 ± 13,59 a	13,03 ± 6,28 a	11,97 ± 9,59 a	11,61 ± 14,14 a	10,53 ± 7,59 a	18,22 ± 5,17 a	8,93 ± 3,57 a	20,72 ± 9,59 a	0,7584
P assimilable (mg/kg)	1,66 ± 0,37 ab	1,1 ± 0,20 b	1,16 ± 0,23 b	1 ± 0,45 b	1,7 ± 0,20 ab	1,2 ± 0,72 b	2,2 ± 0,40 a	2,1 ± 0,23 a	2 ± 0,51 a	1,23 ± 0,61 b	0,0473
K total (mg/kg)	108 ± 168,92 a	12,75 ± 8,35 a	16,75 ± 8,95 a	89 ± 133,37 a	15,25 ± 11,13 a	18,25 ± 14,08 a	88,5 ± 124,47 a	344,5 ± 115,90 a	9,25 ± 3,12 a	3,25 ± 0,43 a	0,0997
pH_eau	5,03 ± 0,37 a	5,03 ± 0,23 a	5,29 ± 0,31 a	5,15 ± 0,15 a	4,96 ± 0,31 a	4,87 ± 0,07 a	5,19 ± 0,09 a	5,15 ± 0,11 a	4,79 ± 0,63 a	4,70 ± 0,28 a	0,0774
S (Cmol+/kg)	0,85 ± 0,09 a	0,36 ± 0,12 a	0,63 ± 0,07 a	0,46 ± 0,20 a	0,61 ± 0,19 a	0,82 ± 0,14 a	0,89 ± 0,27 a	1,12 ± 0,20 a	1,52 ± 1,36 a	0,74 ± 0,11 a	0,1534
CEC (Cmol+/kg)	1,28 ± 0,12 a	1,24 ± 0,08 a	1,21 ± 0,07 a	1,21 ± 0,14 a	1,35 ± 0,03 a	1,30 ± 0,06 a	1,25 ± 0,08 a	1,30 ± 0,03 a	1,42 ± 0,09 a	1,29 ± 0,07 a	0,269

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas statistiquement différentes; S: somme des bases échangeables; M = moyenne; σ = écart type; CEC: capacité d'échange cationique; CG-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum glutinosum de 0 à 20 cm de profondeur sol; CG-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum glutinosum de 20 à 50 cm de profondeur sol; CM-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum micranthum de 0 à 20 cm de profondeur sol; CM-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum micranthum de 20 à 50 cm de profondeur sol; CN-0_20: échantillon de sol autour du plant de Combretum nigricans de 0 à 20 cm de profondeur sol; CM-20_50: échantillon de sol autour du plant de Combretum nigricans de 20 à 50 cm de profondeur sol; GS-0_20: échantillon de sol autour du plant de Guiera senegalensis de 0 à 20 cm de profondeur sol; GS-20_50: échantillon de sol autour du plant de Guiera senegalensis de 20 à 50 cm de profondeur sol; ZT-0_20: échantillon de sol prélevé à 0 à 20 cm de profondeur dans la zone témoin; ZT-20_50: échantillon de sol prélevé à 20 à 50 cm de profondeur dans la zone témoin

3.2 IMPACTS DE LA RESTAURATION SUR LA DIVERSITE VEGETALE

3.2.1 DIVERSITE VEGETALE DU SITE DE BANQUETTES SUR PLATEAU ET ZONE TEMOIN

Sur le site de banquettes, 79 espèces réparties en 21 familles ont été recensées (tableau 3). Les familles de Poaceae (25 %) et Fabaceae (12,5 %) sont les plus représentées. On dénombre 16 espèces ligneuses parmi lesquelles *Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis*, *Cassia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum* et *Faidherbia albida* qui se distinguent par l'importance de leurs semis naturels.

Dans la zone témoin, 56 espèces réparties en 20 familles ont été répertoriées. Les Poaceae (31 %) et Fabaceae (11 %) étaient les familles les plus représentées (tableau 32).

Il ressort que les espèces *Aristida mutabilis*, *Eragrostis atrovirens*, *Schoenefeldia gracilis*, *Schizachyrium exile* et *Chrozophora brocchiana* ont enregistré une augmentation de recouvrement moyen (RM) au moins 8 fois plus important que celui observé dans la zone témoin.

Tableau 3. Herbar des espèces végétales récoltées dans la zone témoin et le site banquettes sur plateau après 3 ans de restauration

Espèces	Familles	Site en restauration		Zone témoin		(A) (B)
		(+) (-)	RM (%) (A)	(+) (-)	RM (%) (B)	
<i>Acacia erythrocalyx</i> Brenan.	Mimosaceae	+	0,10	-		
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	Mimosaceae	+	0,10	+	0,13	0,80
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (S. et Th.) Leon.	Fabaceae	+	0,40	+	0,13	3,20
<i>Amaranthus graecizans</i> L.	Amaranthaceae	-		+	0,13	
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amaranthaceae	+	0,05	-		
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth.	Poaceae	+	0,45	+	0,13	3,60
<i>Aristida longiflora</i> Schunn. et Thonn.	Poaceae	+	0,25	+	0,13	2,00
<i>Aristida mutabilis</i> Trin.	Poaceae	+	9,90	+	0,50	19,80
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Balanitaceae	+	0,05	+	0,13	0,40
<i>Boscia angustifolia</i> A. Rich.	Capparaceae	+	0,05	-		
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers. Lam ex Poir.	Capparaceae	+	0,05	+	0,13	0,40
<i>Brachiaria xantholeuca</i> Stapf.	Poaceae	+	0,25	+	0,38	0,67
<i>Bulbostylis barbata</i> (Rottb.) C.B.Cl.	Cyperaceae	-		+	0,13	
<i>Calotropis Procera</i> Ait.	Asclepiadaceae	+	0,15	+	0,25	0,60
<i>Cassia mimosoides</i> L.	Caesalpiniaceae	+	0,45	+	0,50	0,90
<i>Cassia sieberiana</i> DC.	Caesalpiniaceae	+	0,15	+	0,25	0,60
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	Poaceae	+	0,35	+	0,25	1,40
<i>Cenchrus prieurii</i> (Kunth.) Maire.	Poaceae	+	0,10	+	0,25	0,40
<i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl.	Pedaliaceae	+	0,05	+	0,13	0,40
<i>Chloris barbata</i> Sw.	Poaceae	-		+	0,13	
<i>Chrozophora brocchiana</i> Vis.	Euphorbiaceae	+	1,00	+	0,13	8,00
<i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad.	Cucurbitaceae	+	0,20	+	0,13	1,60
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	Cucurbitaceae	+	0,10	+	0,13	0,80
<i>Cleome gynandra</i> L.	Capparaceae	+	0,05	-		
<i>Cleome viscosa</i> L.	Capparaceae	+	0,40	+	0,38	1,07
<i>Combretum glutinosum</i> Perr ex DC.	Combretaceae	+	0,50	-		
<i>Combretum micranthum</i> G.Don.	Combretaceae	+	0,50	+	0,13	4,00
<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. et Perr.	Combretaceae	+	0,50	-		
<i>Corchorus tridens</i> L.	Tiliaceae	+	0,05	+	0,13	0,40
<i>Crotalaria retusa</i> L.	Fabaceae	+	0,05	-		
<i>Cucumis melo</i> L.	Cucurbitaceae	+	0,05	-		
<i>Cucumis prophetarum</i> L.	Cucurbitaceae	+	0,05	-		
<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng.	Poaceae	+	0,15	-		
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Poaceae	+	0,45	+	0,25	1,80
<i>Digitaria gayana</i> Stapf.	Poaceae	+	0,05	+	0,25	0,20
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Poaceae	+	0,30	+	0,375	0,80
<i>Dipcadi taczazezanum</i> (Hochst. ex A. Rich.) Bak	Liliaceae	+	0,05	-		
<i>Eragrostis atrovirens</i> (Desf.) Steud.	Poaceae	+	8,40	+	0,5	16,80

Impacts des banquettes et demi-lunes forestières sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale spontanée dans l'Ouest nigérien

<i>Eragrostis tenella</i> (L.) Roem. et Schult.	Poaceae	+	0,10	-		
<i>Eragrostis tremula</i> (Lam.) Hochst. et Steud.	Poaceae	+	0,20	+	0,375	0,53
<i>Euphorbia convolvuloides</i> Hochst. ex Benth	Euphorbiaceae	-		+	0,125	
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.	Convolvulaceae	+	0,40	+	0,5	0,80
<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	Mimosaceae	+	0,15	+	0,25	0,60
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl.) Kunth. subsp. hispidula	Cyperaceae	-		+	0,25	
<i>Guiera senegalensis</i> J.F Gmel.	Combretaceae	+	1,50	+	0,375	4,00
<i>Indigofera hirsuta</i> L.	Fabaceae	+	0,45	+	0,25	1,80
<i>Ipomoea coscinoperma</i> Hochst.	Convolvulaceae	+	0,05	+	0,125	0,40
<i>Ipomoea triloba</i> L.	Convolvulaceae	+	0,05	-		
<i>Jacquemonthia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	Convolvulaceae	+	0,50	+	0,25	2,00
<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	Asclepiadaceae	+	0,30	-		
<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forssk.) Decne.	Asclepiadaceae	+	0,10	-		
<i>Maerua crassifolia</i> Forsk.	Capparaceae	+	0,10	+	0,125	0,80
<i>Merremia pinnata</i> (Hochst ex Choisy) Hallier.	Convolvulaceae	+	0,35	-		
<i>Microchloa indica</i> (L. f.) P. Beauv.	Poaceae	+	0,15	+	0,5	0,30
<i>Mitracarpus villosus</i> (Sw.) DC.	Rubiaceae	+	0,20	+	0,25	0,80
<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	Molluginaceae	+	0,25	+	0,375	0,67
<i>Pandiaka heudelotii</i> (Moq.) Hook.	Amaranthaceae	+	0,20	-		
<i>Panicum anabaptistum</i> Steud.	Poaceae	+	0,20	-		
<i>Panicum laetum</i> Kunth.	Poaceae	+	0,35	+	0,375	0,93
<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	Poaceae	+	1,00	+	0,375	2,67
<i>Pergularia tomentosa</i> L.	Asclepiadaceae	+	0,20	+	0,125	1,60
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Caesalpiniaceae	+	0,15	-		
<i>Polycarpaea eriantha</i> Hochst	Caryophyllaceae	+	0,10	-		
<i>Polycarpaea linearifolia</i> (DC.) DC.	Caryophyllaceae	-		+	0,25	
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Mimosaceae	+	0,10	+	0,1	1,00
<i>Richardia brasiliensis</i> Gomez	Rubiaceae	+	0,10	+	0,25	0,40
<i>Schizachyrium exile</i> Stapf.	Poaceae	+	4,65	+	0,375	12,40
<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth.	Poaceae	+	5,15	+	0,375	13,73
<i>Senna tora</i> (L.) Roxb.	Caesalpiniaceae	+	0,05	-		
<i>Sesamum alatum</i> Thonn	Pedaliaceae	+	0,15	+	0,125	1,20
<i>Sesbania pachycarpa</i> DC.	Fabaceae	+	0,15	+	0,125	1,20
<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merril.	Fabaceae	+	0,05	-		
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. et Schult.	Poaceae	+	0,10	-		
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Malvaceae	+	0,05	-		
<i>Sida cordifolia</i> L.	Malvaceae	+	0,20	+	0,25	0,80
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	+	0,05	-		
<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieber. Ex Hiern.	Rubiaceae	+	0,15	+	0,25	0,60
<i>Spermacoce ruelliae</i> DC.	Rubiaceae	+	0,35	+	0,25	1,40
<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	Rubiaceae	+	0,05	-		
<i>Stylosanthes erecta</i> P. Beauv.	Fabaceae	+	0,45	-		
<i>Tephrosia linearis</i> (Willd.) Pers.	Fabaceae	+	0,05	-		
<i>Tephrosia purpurea</i> Pers.	Fabaceae	+	0,30	+	0,25	1,20
<i>Waltheria indica</i> L.	Sterculiaceae	+	0,75	+	0,5	1,50
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	+	0,30	+	0,125	2,40
<i>Zornia glochidiata</i> Reichb.	Fabaceae	+	0,50	+	0,25	2,00

+: présence; -: absence; RM: Recouvrement moyen

3.2.2 DIVERSITE VEGETALE DU SITE DE DEMI-LUNES FORESTIERES SUR GLACIS ET ZONE TEMOIN

Sur le site de demi-lunes forestières, 55 espèces réparties en 17 familles ont été inventoriées (tableau 4). Les familles les plus représentées sont les Poaceae (27,27 %), les Fabaceae (14,55 %) et les Convolvulaceae (11 %). Huit espèces ligneuses sont dénombrées. Les semis par graines les plus rencontrées sont celles de *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Boscia senegalensis*

Dans la zone témoin, il a été recensé 44 espèces réparties en 14 familles dont les plus représentées sont Poaceae (32 %), Fabaceae (14 %) et Rubiaceae (9 %). Le recouvrement de *Zornia glochidiata* sur le site a connu une augmentation 30 fois plus importante par rapport à celui de la zone témoin. *Schoenfeldia gracilis* a enregistré sur le site de restauration un recouvrement 8 fois plus important que celui de la zone témoin.

Tableau 4. Herbier des espèces végétales inventoriées sur le site de demi-lunes forestières sur glacis et dans la zone témoin après 3 ans de restauration

Espèces	Familles	Site en restauration		Zone témoin		(A) (B)
		(+) (-)	RM (%) (A)	(+) (-)	RM (%) (B)	
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	Mimosaceae	+	0,08	-		
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (S. et Th.) Leon.	Fabaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth.	Poaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Aristida longiflora</i> Schunn. et Thonn.	Poaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Aristida mutabilis</i> Trin.	Poaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Boscia angustifolia</i> A. Rich.	Capparaceae	-		+	0,125	
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. Ex Poir.	Capparaceae	-		+	0,125	
<i>Brachiaria xantholeuca</i> Stapf.	Poaceae	-		+	0,125	
<i>Cassia mimosoides</i> L.	Caesalpinaceae	+	0,08	+	3	0,03
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	Poaceae	+	2,50	+	0,5	5,00
<i>Cenchrus prieurii</i> (Kunth.) Maire.	Poaceae	+	0,08	+	0,25	0,33
<i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl.	Pedaliaceae	-		+	0,125	
<i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl.	Pedaliaceae	-		+	0,125	
<i>Chrozophora brocchiana</i> Vis.	Euphorbiaceae	+	0,08	+	0,375	0,22
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	Cucurbitaceae	+	0,08	-		
<i>Cleome viscosa</i> L.	Capparaceae	+	0,08	-		
<i>Combretum glutinosum</i> Perr ex DC.	Combretaceae	+	0,42	+	0,125	3,33
<i>Combretum micranthum</i> G.Don.	Combretaceae	+	0,17	+	0,125	1,33
<i>Crotalaria macrocalyx</i> Benth.	Fabaceae	+	0,25	+	0,125	2,00
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	+	0,08	+	0,25	0,33
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Beauv.	Poaceae	+	0,33	+	0,375	0,89
<i>Dicoma tomentosa</i> Cass.	Asteraceae	+	0,17	+	0,125	1,33
<i>Digitaria gayana</i> Stapf.	Poaceae	+	0,33	+	0,5	0,67
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Poaceae	+	0,50	+	0,5	1,00
<i>Eragrostis tremula</i> (Lam.) Hochst. et Steud.	Poaceae	+	0,33	+	0,5	0,67
<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	Euphorbiaceae	+	0,08	-		
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.	Convolvulaceae	+	0,42	+	0,5	0,83
<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	Mimosaceae	+	0,08	-		
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl.) Kunth.subsp. hispidula	Cyperaceae	+	0,33	+	0,375	0,89
<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.	Combretaceae	+	15,00	+	3	5,00
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Malvaceae	+	0,08	-		
<i>Indigofera astragalina</i> DC.	Fabaceae	+	0,08	-		
<i>Indigofera hirsuta</i> L.	Fabaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Ipomoea coscinosperma</i> Hochst.	Convolvulaceae	+	0,08	-		
<i>Ipomoea eriocarpa</i> R.Br.	Convolvulaceae	+	0,08	-		
<i>Ipomoea vagans</i> Bak.	Convolvulaceae	+	0,08	-		
<i>Jacquemonthia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	Convolvulaceae	+	0,33	+	0,125	2,67
<i>Kohautia senegalensis</i> Cham. et Schl.	Rubiaceae	-		+	0,125	
<i>Limeum pterocarpum</i> (Gay.) Heimeri.	Molluginaceae	+	0,08	-		
<i>Maerua crassifolia</i> Forsk.	Capparaceae	+	0,50	-		
<i>Merremia pinnata</i> (Hochst ex Choisy) Hallier.	Convolvulaceae	+	0,25	+	0,25	1,00
<i>Mitracarpus villosus</i> (Sw.) DC.	Rubiaceae	+	0,33	+	0,25	1,33
<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	Molluginaceae	+	0,08	+	0,125	0,67
<i>Panicum anabaptistum</i> Steud.	Poaceae	+	0,17	-		
<i>Panicum laetum</i> Kunth.	Poaceae	+	0,42	+	0,5	0,83
<i>Pennisetum americanum</i> (L.) Leeke.	Poaceae	+	0,08	-		

<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	Poaceae	+	0,50	+	0,125	4,00
<i>Phyllanthus pentandrus</i> Schum. et Thonn.	Euphorbiaceae	+	0,17	+	0,375	0,44
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Caesalpinaceae	+	0,17	-		
<i>Polycarpaea linearifolia</i> (DC.) DC.	Caryophyllaceae	+	0,25	-		
<i>Schizachyrium exile</i> Stapf.	Poaceae	+	0,50	+	0,5	1,00
<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth.	Poaceae	+	3,00	+	0,375	8,00
<i>Sesamum alatum</i> Thonn.	Pedaliaceae	+	0,42	+	0,125	3,33
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Malvaceae	+	0,25	-		
<i>Sida cordifolia</i> L.	Malvaceae			+	0,25	
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae			+	0,125	
<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieber. Ex Hiern.	Rubiaceae	+	0,42	+	0,5	0,83
<i>Spermacoce ruelliae</i> DC.	Rubiaceae	+	0,25	+	0,125	2,00
<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	Rubiaceae	+	0,42	-		
<i>Stylosanthes erecta</i> P. Beauv.	Fabaceae	+	0,33	+	0,25	1,33
<i>Tephrosia purpurea</i> Pers.	Fabaceae	+	0,50	+	0,125	4,00
<i>Waltheria indica</i> L.	Sterculiaceae	+	0,08	+	0,5	0,17
<i>Zornia glochidiata</i> Reichb.	Fabaceae	+	15,00	+	0,5	30,00

+: présence; -: absence; RM: Recouvrement moyen

3.2.3 COMPARAISON DE LA DIVERSITE VEGETALE ET DE LA BIOMASSE HERBACEE DES SITES DE RESTAURATION

La diversité est élevée tant au niveau du site de banquette qu'au niveau de son témoin (tableau 5). L'indice de Pielou (0,97) qui indiquait une répartition régulière du recouvrement dans la zone témoin est réduit sur le site de banquettes à la valeur de 0,69 traduisant une dominance de certaines espèces. La diversité est moyenne sur le site de demi-lunes et élevée dans la zone témoin. L'indice d'équitabilité sur le témoin (0,85) traduisait une quasi équirépartition de recouvrement alors que sur le site de restauration la dominance de certaines espèces est déjà perceptible (indice de Pielou = 0,57). L'indice de Jaccard entre le site de banquettes et son témoin (61 %) est pratiquement identique à celui entre le site de demi-lunes et son témoin (60 %). Cependant les deux sites en restauration ont partagé une similarité de 52 %.

Tableau 5. Indices de diversité des sites de restauration et des zones témoins

Site	Indice de Shannon Weaver (bits)	Indice d'équitabilité de Pielou	Indice de Jaccard sites en restauration/témoins (%)	Indice de Jaccard site banquette site demi-lunes (%)
Banquettes	4,37	0,69	61	52
Témoin	5,63	0,97		
Demi-lunes	3,32	0,57	60	
Témoin	4,62	0,85		

La biomasse herbacée (tableau 6) des sites de restauration était très hétérogène à l'intérieur des sites et entre les sites (écart type variant de 449,05 à 719, 22). La biomasse herbacée générée par la restauration a été supérieure à celle du témoin tant au niveau des banquettes ($P = 0,0002$) qu'au niveau des demi-lunes forestières ($P = 0,009$).

Tableau 6. Comparaison de la biomasse herbacée des sites de restauration et zones témoins

Site	Biomasse herbacée (g de matière sèche /ha)
Banquettes	1412,07 ± 719,22 a
Témoin	220 ± 25,72 b
P-value	0,0002
Demi-lunes	849,92 ± 449,05 a
Témoin	354 ± 58,35 a
P-value	0,009
Banquettes	1412,07 ± 719,22 a
Demi-lunes	849,88 ± 449,05 a
P-value	0,1374

*Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes; les valeurs de p mentionnés sont les p-value à l'issue du test de t de Student ou de Wilcoxon

Une importante phytomasse herbacée est développée dans les ouvrages antiérosifs (fig. 8). L'espèce *Eragrostis atrovirens* colonise le fossé des banquettes alors que les espèces *Aristida mutabilis*, *Schizachyrium exile* et *Schoenefeldia gracilis* se développent sur la digue. Sur le deuxième site, *Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis* colonisent les abords immédiats des demi-lunes alors que *Zornia glochidiata* se développe sur l'ensemble du site



Fig. 8. Développement de la phytomasse sur banquettes forestière (gauche) et demi-lune forestière (droite)

4 DISCUSSION

4.1 IMPACTS DES TECHNIQUES DE BANQUETTES ET DE DEMI-LUNES FORESTIERES SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

Les valeurs de l'humidité volumique moyennes ont montré des variations en fonction de la profondeur, de la technique de restauration et des périodes de l'année. Au niveau des banquettes, l'humidité volumique moyenne pendant la saison des pluies a été de l'ordre de 22 % contre 18,50 % pour le témoin soit une différence de 3,5 % traduisant une augmentation significative de 18,19 % ($P = 0,004$). Durant la période d'expérimentation, l'humidité du sol a été de 17,3 % au niveau des banquettes contre 13,9 % pour le témoin soit une différence de 3,4 % impliquant une augmentation significative de 23,6 % ($P = 0,031$). Ces résultats confirment que les banquettes améliorent les conditions hydriques du sol [19] et sont en étroite relation avec la densité apparente mesurée du sol (1,41) qui renseigne sur la porosité. En effet, la porosité d'un horizon est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement [20]. La densité apparente de 1,41 (comprise entre 1,33 et 1,46) traduit un bon niveau de porosité de 45 à 50 % [21]. Ces conditions hydriques présageraient un bon développement de la végétation sur le site de banquettes.

En saison des pluies, l'humidité du sol des demi-lunes (10,9 %) bien qu'elle diffère de 2,6 % de celle du témoin (8,3%) soit une augmentation de 31,3 % demeure faible quand on considère le niveau de l'humidité du témoin par rapport à celle du témoin des banquettes. De plus, cette amélioration du profil hydrique ne dépasse guère les 40 cm de profondeur ce qui signifierait que la demi-lune n'est plus fonctionnelle au-delà de cette profondeur. Ces faibles taux d'humidité diffèrent des résultats de [22] et [23] qui ont mis en évidence la forte capacité des demi-lunes à capter les eaux de surfaces puis à garder des fortes humidités sur les « Zipellés » au Burkina Faso. Cette différence serait due à la texture limono-argileuse de ces « zipellées » qui, grâce aux éléments fins (limon et argile) emmagasine une forte réserve en eau. Cette dernière est faible dans les sols sableux et en l'occurrence sur notre site de glacis. De plus,

la texture sableuse du glacis, sous l'action de l'érosion hydrique, ensable les demi-lunes amoindissant ainsi leur efficacité. Enfin la densité apparente du sol du site (1,53) traduit un niveau médiocre de porosité de 40 à 45 % [21].

Cette amélioration du profil hydrique du sol induite par les banquettes ne doit pas faire perdre de vue que le témoin jouit aussi d'une bonne humidité volumique (18,5 %) qui surpasse d'ailleurs celle observée dans les demi-lunes forestières (10,9 %). Ce constat soulève donc la part de la contribution intrinsèque de l'unité géomorphologique (plateau et glacis) dans l'amélioration de l'humidité et soulève de ce fait une des faiblesses de la présente étude qui aurait dû être conduite sur une seule unité géomorphologique (plateau ou glacis non sableux). En effet, le plateau sans faire l'objet de technique de restauration est plus disposé que le glacis à permettre l'infiltration et le stockage de l'eau de pluie grâce à une pente faible et un substrat peu profond. L'évaporation est alors la principale voie de perte d'eau. Par contre sur le glacis où le sol est profond avec une pente plus sensible, l'eau peut s'infiltrer en profondeur ou ruisseler par drainage. A ces deux voies de perte d'eau s'ajoute l'évaporation.

L'analyse comparative de l'humidité volumique entre les deux techniques de restauration a montré que les banquettes améliorent plus l'humidité du sol que les demi-lunes en toute période de l'année. Trois ans environ après la mise en place des ouvrages, les courbes de l'humidité des sites de restauration et des témoins sont confondues ce qui implique que les banquettes et les demi-lunes ont cessé de jouer leur rôle de capter les eaux de ruissellement puis de permettre leur infiltration. Cette observation pose la question de la durabilité de ces ouvrages et montre l'importance d'une mise au point de techniques efficaces de leur entretien. Ces résultats confirment ceux trouvés par [24] dans la région sahélienne du Soum (Burkina Faso) qui a prouvé que la durée de vie de demi-lunes est de 3 à 4 ans sur sols sableux et plus de 5 ans sur sols argileux ou argilo-sableux.

La technique de banquettes a induit un changement de la texture moyenne à la texture fine. Cette texture fine pourrait s'expliquer par le transport suivi de la sédimentation des particules fines (limon et argile) dans les fossés de banquettes.

S'agissant des paramètres chimiques sous houppier des espèces plantées sur site de banquettes, le carbone organique, et corollairement la matière organique, ont connu une augmentation significative par rapport au témoin à 20 cm de profondeur sous *G. senegalensis* et *C. glutinosum*. Cette amélioration de la matière organique pourrait s'expliquer par le processus de sédimentation et l'effet de la litière sous ces deux espèces. En effet, l'augmentation de la matière organique au niveau des ouvrages antiérosifs s'explique dans une large mesure par la sédimentation des particules solides contenues dans l'eau de ruissellement [25]. L'effet fertilisant des *G. senegalensis* et *C. glutinosum* a été rapporté par plusieurs auteurs dont [26] qui ont prouvé que les bois rameaux fragmentés de *G. senegalensis* et de *P. reticulatum* constituent une bonne source de matière organique et peuvent permettre d'améliorer les propriétés chimiques et biologiques des sols ferrugineux tropicaux. Les arbustes et particulièrement *G. senegalensis* et *C. glutinosum* jouent un rôle important dans l'accumulation des nutriments (Carbone, azote, phosphore etc.) et dans le maintien de la fertilité du sol dans les agro-écosystèmes du Niger [27]. Toutefois, [28] a souligné que les espèces de Combretaceae, dont celles du genre *Combretum* caractérisées par une grande quantité de feuilles dont la minéralisation est lente, contribueraient à l'appauvrissement de sol. S'il est vrai que la minéralisation des feuilles de Combretaceae est lente en général, elle peut être accélérée au niveau des banquettes en raison de la disponibilité de l'eau que ces ouvrages peuvent garder pendant 3 à 4 jours après une pluie d'au moins 30 mm.

Le pH sous houppier des 4 espèces a augmenté de façon significative par rapport aux témoins sur le site de banquettes ce qui implique que cette technique antiérosive a eu un impact positif sur le processus de restauration. En effet le pH est un indicateur des différents processus qui se déroulent dans le sol si bien qu'il est considéré comme un facteur synthétique d'appréciation de la fertilité. La correction du pH jusqu'à 5 pour supprimer la toxicité aluminique est la quatrième règle (sur six) à respecter pour une restauration rapide d'une terre dégradée [2].

La teneur en phosphore assimilable sous houppier de *G. senegalensis* sur le site de demi-lunes a significativement augmenté par rapport à celle du témoin à la profondeur 20-50 cm. En général la réserve des sols en phosphore est faible et sa teneur dépend de celle de l'azote.

Le phosphore est un facteur de croissance de la plante et de précocité pour la fécondation et la mise à fruit. C'est alors à juste titre que le phosphore assimilable est considéré comme une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'ouest [29].

4.2 IMPACTS DES TECHNIQUES DE BANQUETTES ET DE DEMI-LUNES FORESTIERES SUR LA DIVERSITE VEGETALE

La richesse floristique du site de banquettes était évaluée à 79 espèces (réparties en 21 familles) contre 56 espèces sur le témoin. L'importance de la famille de Fabaceae (12,5 % sur le site et 11% pour le témoin) pourrait être considérée comme un bon indice du processus de la restauration car les espèces de cette famille ont la particularité de fixer l'azote atmosphérique dans le sol. L'importance des semis naturels des espèces ligneuses constitue également un autre indicateur car ces espèces pérennes une fois consolidées fertiliseraient durablement le sol. L'indice de Shannon-weaver qui évalue cette diversité alpha varie de 4,37 bits pour le site contre 5,63 bits pour le témoin. La diversité du témoin est plus élevée que celle du site en restauration bien que ce dernier comprenne plus espèces. Cette situation est due à une répartition presque régulière du recouvrement des espèces sur le témoin. Cette répartition est confirmée par l'indice d'équitabilité de Pielou (0,97). Dans la zone en défens, l'indice de Pielou de 0,69 montre que la restauration a créé les

conditions de dominance des espèces telles que *Eragrostis atrovirens*, *Aristida mutabilis*, *Schizachyrium exile* et *Schoenefeldia gracilis*, à travers leurs forts recouvrements. En effet, le faible taux de recouvrement est un indicateur de la dégradation du sol et donc l'amélioration de ce taux pourrait mesurer le processus de restauration [30].

La diversité est moyenne sur le site de demi-lunes mais élevée dans la zone témoin. Comme pour le site de banquettes, c'est l'indice d'équitabilité de Pielou du témoin (0,85) traduisant une quasi équirépartition de recouvrement qui explique la supériorité de l'indice de Shannon du site témoin. L'indice de Pielou de 0,57 du site demi-lune montre également la dominance des espèces telles *Zornia glochidiata*, *Cenchrus biflorus* et *Schoenefeldia gracilis*.

La similitude du site de banquettes à son témoin est identique à celle du site demi-lunes à son témoin alors que les deux sites en restauration partagent une similarité de 52 %. En termes de diversité bêta, le site de banquettes, avec un indice de Shannon de 4,37 et 79 espèces, est plus diversifié que celui de demi-lunes (3,32 et 55 espèces). La diversité élevée du site de banquettes pourrait s'expliquer par les bonnes conditions hydriques qui favoriseraient la germination des semences végétales puis la survie des plantules.

L'évaluation de la biomasse herbacée sur les deux sites a montré des différences significatives en faveur des sites en restauration ($P = 0,0002$ pour le site de banquettes et $P = 0,009$). Ainsi, il ressort de ce qui précède que ces deux techniques de restauration ont impacté positivement la reconstitution de la végétation ligneuse et herbacée. Les mêmes impacts positifs générés par les demi-lunes, les cordons pierreux, les digues filtrantes, le sous-solage au Burkina Faso ont été soulignés par [31].

5 CONCLUSION

L'étude conduite sur deux techniques de restauration les plus utilisées au Niger a mis en évidence que les banquettes implantées sur plateau érodé et les demi-lunes sur glacis améliorent de façon significative l'humidité du sol et la texture du sol. Cela a permis le développement d'une diversité végétale riche. Le recouvrement qui en est issu a connu une augmentation significative par rapport au témoin.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le projet UNDESERT (EU FP7243906), "Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services financé par l'Union Européenne pour les moyens financiers ayant permis la production des plants, leur transplantation sur le site de restauration ainsi que les missions de collecte de données.

REFERENCES

- [1] Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Oualle C. & Pontanier R., 1995. Aspects scientifiques et technologiques de la restauration et de la réhabilitation des principaux attributs vitaux et fonctions des systèmes écologiques dégradés par les voies d'une démarche sectorielle. In *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J., Floret & Le Floc'h E., Ed., Paris, France, John Libbey Eurotext, 103-112.
- [2] Roose E., Bellefontaine R. & Visser M., 2011. Six rules for the rapid restoration of degraded lands: Synthesis of 17 case studies in tropical and Mediterranean climates. *Sécheresse*, 22, 86-96.
- [3] PAC (Programme d'Actions Communautaires), 2006. Recueil des fiches techniques en gestion des ressources naturelles et de productions agro-sylvopastorales. Niamey, Niger, Ministère du Développement Agricole, 270 p.
- [4] FAO, 1989. Carte mondiale des sols. Légende révisée. Rapport sur les Ressources en sols du monde N° 60. FAO, Rome 125 p.
- [5] Walkley A, Black IA, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science.*, 37, 29-38.
- [6] Bunasols, 1987. Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, des eaux et des plantes. Document techniques n°3, Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 159 p.
- [7] Mathieu C. & Pielain F., 2003. Analyse chimique des sols: méthodes choisies. Ed TEC et DOC. Lavoisier; Paris, 388 p.
- [8] Braun-Blanquet J., 1932. Plant sociology; the study of plant communities. McGraw Hill Ed., New York, 439 p.
- [9] Berhaut J., 1967. Flore du Sénégal 2ème édition Dakar (Sénégal), Editions Clairafrique 485 p.
- [10] Hutchinson J., Dalziel J. M. & Keay; 1954, 1958, 1963, 1963, 1972. - Flora of West Tropical Africa. Crown Agents for oversea governments and administration, Milbank. London. 2nd edition 3 Vol. 828 p., 544 p., 574 p.
- [11] Shannon C. E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. In: *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- [12] Pielou E. C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. In: *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131-144.
- [13] Jaccard P., 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura. In: *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 547-579.

- [14] Morou B., 2010. Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. Thèse présentée à l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour obtenir le titre de Docteur, 174 p.
- [15] Djégo J.G.M., 2006. Phytosociologie de la végétation de sous-bois et impact écologique des plantations forestières sur la diversité floristique au sud et au centre du Bénin. Thèse, Université d'Abomey Calavi, 359 p.
- [16] Mahamane A., 2005. Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger. Thèse d'Etat, Université Libre de Bruxelles, 497 p.
- [17] Magurran A. E., 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Science Ltd., 247 p.
- [18] Maria C.R. & Mitchell T.A., 2005. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology*, 13, 569-577.
- [19] Soumana D., Soumana I., Mahamane A., Mahamane S., Karimou A., Aboubacar I. & Zakara G., 2011. Restauration de plages nues d'une brousse tachetée au Niger. *Afrique SCIENCE*, 7, 77 -92.
- [20] Yaméogo J.T., Somé A.N., Lykke A.M, Hien M. & Nacro H.B., 2013. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso. *Tropicultura*, 31, 224-230.
- [21] Ministère de la Coopération, 1991. Mémento de l'Agronome. Collections Techniques rurales en Afrique, Paris, France, 4ème édition, 1635 p.
- [22] Zougmore R., Zida Z. & Kambou N.F., 2003. Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil & Tillage Research*, 71, 143-149.
- [23] Kagambega F.W., Traore S., Thiombiano A. & Boussim J. I., 2011. Impact de trois techniques de restauration des sols sur la survie et la croissance de trois espèces ligneuses sur les « zipellés » au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5, 901-914.
- [24] Zoubga T. S., 2002. Etude de l'impact du travail du sol des charrues Delphino et Tréno sur le sol et la végétation des terres dégradées du Soum (Burkina Faso). Mémoire Inspecteur des Eaux & Forêts, ENEF, 90 p.
- [25] Zougmore R., Guillobez S., Kambou N.F. & Son G., 2000. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil Tillage Research*, 56, 175-183.
- [26] Ba M. F., Colinet G., Samba S.A.N. & Bassene E., 2014. Etude de caractéristiques des BRF de *G. senegalensis* J.F. Gmel et de *P. reticulatum* (DC) Hochst et de leur influence sur des sols ferrugineux tropicaux du Bassin arachidier, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 81, 7253-7262.
- [27] Wezel A., Rajot J.L. & Herbrig C., 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environments* 44, 383-398.
- [28] Charahabil M.M., Diallo A., Ngom D., Diop B. & Akpo L.E., 2013. Importance des Combretaceae dans des forêts communautaires de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Sécheresse*, 24, 39-47.
- [29] Compaoré, E., Fardeau, J.C, Morel, J.L. & Sedogo, M.P., 2001. Le phosphore biodisponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures* 10, 81-85.
- [30] Robert M., 1992. Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 1, 20-34.
- [31] Souleymane G., 2005. Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en région sahéenne et nord soudanienne du Burkina Faso. *Vertigo – La revue en sciences de l'environnement*, 6 (2), 1-15.