



HAL
open science

**Effets cumules de traitements combines
(sous-solage-ensemencement-branchage) sur la
réhabilitation de la brousse tigrée dégradée de l'ouest du
Niger**

Abdoulaye Boubacar Na-Allah, Ibrahim Bouzou Moussa

► **To cite this version:**

Abdoulaye Boubacar Na-Allah, Ibrahim Bouzou Moussa. Effets cumules de traitements combines (sous-solage-ensemencement-branchage) sur la réhabilitation de la brousse tigrée dégradée de l'ouest du Niger. Environnement et Dynamique des Sociétés (EDS), 2024, 11 (N°11), pp.468-482. hal-04834806

HAL Id: hal-04834806

<https://hal.science/hal-04834806v1>

Submitted on 13 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

EFFETS CUMULES DE TRAITEMENTS COMBINES (SOUS SOLAGE-ENSEMENCEMENT-BRANCHAGE) SUR LA REHABILITATION DE LA BROUSSE TIGREE DEGRADEE DE L'OUEST DU NIGER

BOUBACAR NA-ALLAH Abdoulaye^{(1)*} et BOUZOU MOUSSA Ibrahim⁽²⁾

(1) Docteur en géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger)

(2) Professeur titulaire, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger)

**Correspondant courriel : naallah1985@gmail.com*

Résumé

Cette étude évalue l'efficacité de trois techniques combinées (sous-solage, ensemencement et branchage) sur la restauration de la brousse tigrée dégradée dans l'Ouest du Niger, une région particulièrement vulnérable à la dégradation des terres. Quatre parcelles de 150 m² ont été aménagées dans les bandes boisées dégradées : sous-solage seul (SL), branchage seul (B), sous-solage + ensemencement + branchage (SL+E+B), et une parcelle témoin non traitée. Le sous-solage a été répété sur trois ans (2016-2018), tandis que le branchage et l'ensemencement ont été réalisés une fois en 2016. Ce, en adoptant l'approche « copying nature » pour respecter la structure de la brousse tigrée caractérisée par une alternance de bandes boisées et de bandes nues. La végétation a été suivie sur cinq ans à travers des relevés floristiques et des mesures dendrométriques. Les principaux résultats indiquent, une densité végétale significativement plus élevée, passant de moins de 1 pied/m² en 2016 à près de 6 pieds/m² en 2022 dans la parcelle SL+E+B ; une amélioration notable de la diversité floristique, avec des indices de Shannon et Simpson plus élevés, signalant une meilleure répartition des espèces ; et une durabilité accrue des effets d'aménagement dans la parcelle SL+E+B, où la végétation s'est maintenue et diversifiée sur la période de suivi. Ces résultats suggèrent que la combinaison de plusieurs techniques d'aménagement est nécessaire pour une restauration durable et optimale des écosystèmes dégradés sahéliens.

Mots-clés : réhabilitation des écosystèmes dégradés, sous-solage, ensemencement, branchage, Niger, Sahel.

CUMULATIVE EFFECTS OF COMBINED TREATMENTS (SUBSOILING-SEEDING-MULCHING) ON THE REHABILITATION OF DEGRADED TIGER BUSH IN WESTERN NIGER

Abstract

This study evaluates the effectiveness of three combined techniques (subsoiling, seeding, and mulching) on the restoration of degraded tiger bush in western Niger, a

region particularly vulnerable to land degradation. Four 150 m² plots were established in degraded wooded bands: subsoiling alone (SL), mulching alone (M), subsoiling + seeding + mulching (SL+S+M), and an untreated control plot. Subsoiling was repeated over three years (2016–2018), while mulching and seeding were applied once in 2016. This was done adopting the “coping nature” approach to respect the structure of tuger bush characterized by alternating wooded and bare bands. Vegetation was monitored over five years through floristic surveys and dendrometric measurements. The main results indicate a significantly higher plant density, increasing from less than 1 plant/m² to nearly 6 plants/m² in the SL+E+B plot; a notable improvement in floristic diversity, with higher Shannon and Simpson indices, indicating better species distribution; and increased sustainability of restoration effects in the SL+E+B plot, where vegetation maintained and diversified over the monitoring period. These results suggest that combining multiple land management techniques is essential for the durable and optimal restoration of degraded Sahelian ecosystems.

Key words: rehabilitation of degraded ecosystems, subsoiling, seeding, mulching, Niger, Sahel.

Introduction

La dégradation des écosystèmes sahéliens, notamment la brousse tigrée, est l’une des conséquences de la désertification et de la surexploitation des ressources naturelles dans l’Ouest du Niger. Ce phénomène, largement accentué par les conditions climatiques extrêmes (T. Vischel et al., 2015, p 54) et les activités humaines non durables, compromet à la fois la productivité des terres et la biodiversité (H. Brédif, 2021 p. 5 ; GIEC, 2020, p. 11). La brousse tigrée, caractérisée par une alternance de bandes boisées et de bandes nues (J.-M. K. Ambouta, 1984), subit une détérioration progressive, entraînant une réduction de la couverture végétale, une augmentation des bandes nues (V. Trichon et al., 2018, p. 9 & 10), et une aggravation de l’érosion hydrique et des inondations (I. Bouzou Moussa et al., 2016, p. 306). Pour remédier à cette situation, diverses techniques d’aménagement de CES-DRS ont été testées individuellement ou en combinaison (Butare et al., 2004 p. 1 ; P. Camille in J.F. Richard, 1990 p. 280-281 ; É. Roose, 2012 p. 4). Ces techniques visent à réduire le ruissellement et restaurer le couvert végétal (H. Sawadogo & J. Kini, 2011, p. 6 ; J. Yameogo, 2006, p. 57 & 58). Toutefois, sur tous les aménagements des revers de plateaux à brousse tigrée, le constat est le suivant : la structure de la brousse tigrée (alternance bandes nues, bandes boisées) n’est pas respectée ; c’est sur les bandes nues que les ouvrages sont construits ; ce qui réduit les écoulements qui alimentent les bandes boisées. Une telle approche détruira à terme la brousse tigrée qui est un type de formation végétale spécifique aux milieux arides en Afrique, notamment au Niger (I. Pascal, 2019, p. 1), en Amérique du Sud et en Australie.

Il est possible de réhabiliter la brousse tigrée par l'approche « copying nature » des anglo-saxons où « copier la nature » en respectant sa structure (alternance bandes boisées, bandes nues) pour assurer son fonctionnement optimal. À cet effet, trois techniques combinées du sous-solage + ensemencement + branchage ont été évaluées.

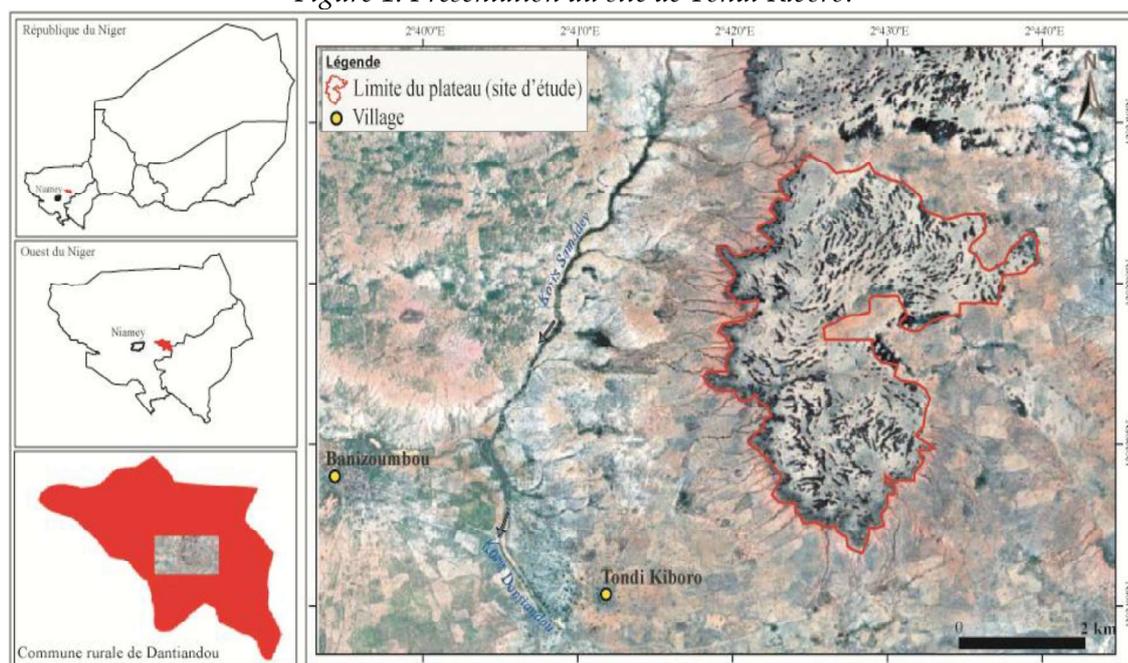
Cette étude a été réalisée dans le cadre des activités de l'Observatoire AMMA-CATCH (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine-Couplage Atmosphère Tropicale et Cycle Hydrologique).

1. Matériel et Méthodes

1.1. Présentation du site d'étude

Tondi Kiboro, le site d'étude, est situé à l'ouest du Niger, dans la commune rurale de Dantiandou (département de Kollo, région de Tillabéry), (figure 1). Ce site est composé de trois bassins versants expérimentaux de petites ravines de quelques hectares (TK-Sud ; TK-Nord ; TK-IBM). Dans le cadre de cette étude, les observations ont été faites sur la partie amont du bassin versant de la ravine TK-IBM. Sur le plan structural, ce site se situe dans la partie ouest du bassin sédimentaire des Iullemeden et constitué des grès argileux du Continental terminal et des dunes quaternaires (J. Greigert, 1966, p. 172 à 173). I. Bouzou Moussa et al. (2020 p. 153) y distinguent « cinq unités paysagères. Les revers de plateaux et buttes recouverts d'une cuirasse ferrugineuse démantelée, les talus d'éboulis recouverts de broussailles, les jupes sableuses ou placages éoliens des versants, les glacis sablo-limoneux, portant des champs de mil et des jachères et enfin le bas-fond ».

Figure 1. Présentation du site de Tondi Kiboro.

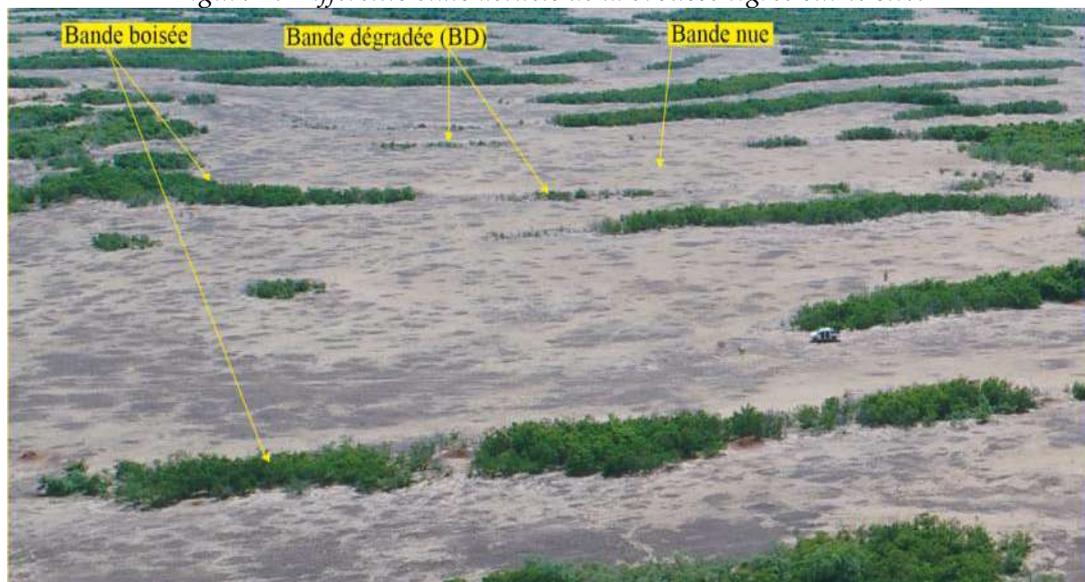


Sur le plan hydrologique, la région est caractérisée par une mosaïque de petits bassins versants endoréiques. Le climat est de type semi-aride, avec une courte saison pluvieuse qui s'étend de juin à septembre et des précipitations marquées par une grande irrégularité spatio-temporelle. Ce contexte climatique contribue également à la vulnérabilité des écosystèmes de la région, notamment la dégradation de la végétation.

1.2. Description des surfaces dégradées

Les surfaces choisies pour cette étude sont des bandes boisées dégradées (ou en dégradation) de la brousse tigrée. Elles se distinguent aujourd'hui en fonction du niveau de dégradation. On y observe ainsi des bandes boisées, à l'état plus ou moins normal, à l'état moyennement dégradé (intermédiaire) et à l'état très dégradé (figure 2). Les expérimentations ont porté sur les deux derniers états de dégradation. Ces bandes dégradées sont nommées BD.

Figure 2. Différents états actuels de la brousse tigrée sur le site.



1.3. Description des techniques d'aménagement

1.3.1. Technique du sous-solage

Le sous-solage qui consiste à briser la croûte superficielle du sol à environ 15 cm de profondeur a été réalisé manuellement à l'aide d'une pioche. Ensuite, les mottes de terre ont été ameublées pour préparer le sol à l'ensemencement. Durant cette opération, les arbustes présents sur la parcelle sont soigneusement préservés, et les bois morts naturellement présents sont laissés sur place (figure 3).

Figure 3. Réalisation du sous-solage.



1.3.2. Technique de collecte des graines

Les graines ont été collectées dans les bandes boisées à état plus ou moins normal et dans les dépressions (bas-fonds) où la productivité de la végétation est élevée pour soutenir la régénération naturelle. Les campagnes de collecte (entre janvier et février) se sont concentrées sur des espèces locales telle que *Guiera senegalensis* JF Gmel et *Combretum micranthum* G. Don, prédominantes sur les revers de plateaux latéritiques et les glacis de l'ouest du Niger. La collecte se fait par ramassage à la surface du sol, sans tenir compte de la qualité, ainsi que par la cueillette directe sur les plantes (figure 4), une méthode appelée "tout venant". Les graines collectées sont stockées dans des sacs et conservées dans une chambre sur le site.

Figure 4. Collecte des graines, à gauche un cueilleur et, à droite un sac rempli de graines de *Combretum micranthum*.



1.3.3. Technique du branchage

La technique du branchage, une méthode traditionnelle de gestion des terres, a été intégrée dans cette étude pour son rôle dans l'amélioration des conditions hydriques du sol. Les branches utilisées ont été prélevées dans la zone de sénescence des bandes boisées de la brousse tigrée. La collecte a été réalisée de manière à minimiser le

prélèvement, afin de préserver la couverture du sol et limiter son exposition aux agents érosifs.

1.3.4. Technique du sous-solage + ensemencement + branchage

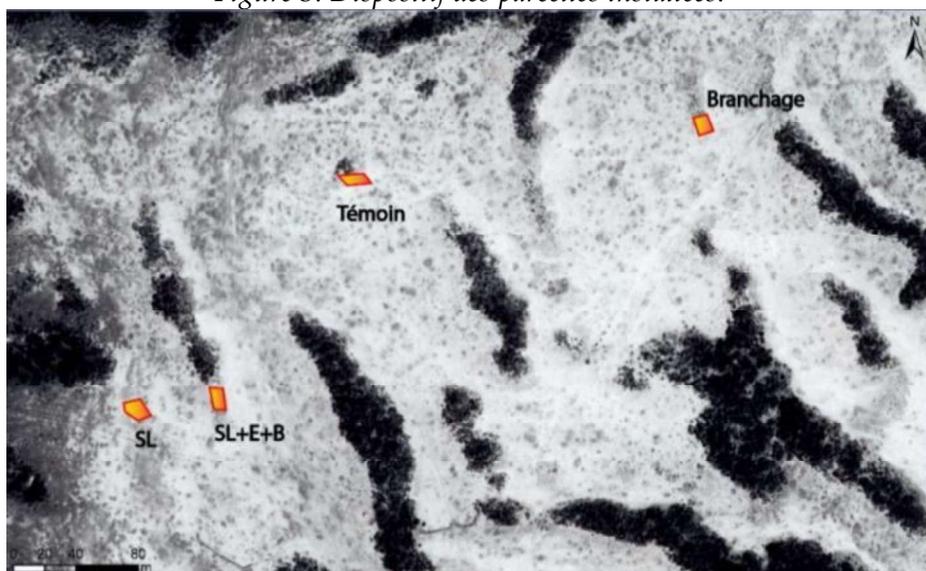
Quant à l'association, elle consiste à appliquer les trois techniques décrites ci-haut dans la même parcelle. Il s'agit de sous-soler le sol, éparpiller les graines de *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*, des herbacées et les branchettes ramassées. Les graines des essences collectées ont été éparpillées de manière à garantir une répartition homogène, visant ainsi une couverture uniforme et optimale du sol.

1.4. Protocole expérimental

1.4.1. Protocole d'aménagement des parcelles

Le dispositif expérimental comprend quatre (4) parcelles aménagées par sous-solage (SL), par branchage (B), par association du sous-solage+ensemencement+branchage (SL+E+B) et une parcelle témoin. Le sous-solage a été répété sur trois ans (2016, 2017 et 2018). Les parcelles sont disposées et installées sur les bandes dégradées dans une approche de « copying nature » visant à respecter la structure de la brousse tigrée (figure 5).

Figure 5. Dispositif des parcelles installées.



1.4.2. Suivi de la végétation

Pour la végétation ligneuse, la superficie totale de chaque parcelle (150 m²) a été considérée comme placette d'observation. Le principe de mesure consiste à dénombrer intégralement le nombre d'individus par espèce en distinguant la végétation ligneuse qui était déjà là des jeunes pousses (régénération). Ce suivi a été effectué durant six ans (2016 à 2022).

La méthode des points quadrats a été utilisée pour le suivi de la végétation herbacée (2016 à 2019) en s'inspirant de la description faite par (P. Daget et al., 2010, p. 56). La superficie de chaque quadrat est de 6.25 m², à l'intérieur duquel deux transects de visée sont installés, mesurant chacun 2,5 m de longueur. À chaque 10 cm, une lecture de la végétation est faite en notant l'espèce ou les espèces ayant un contact avec la tige pointée verticalement. Deux points quadrats sont posés par parcelle. À la fin de ces étapes, un tour complet de la parcelle est effectué dans le but d'identifier d'autres espèces (présentes) n'ayant pas été relevé lors de la lecture des transects de visée.

1.5. Analyse des données

La composition floristique est l'ensemble des espèces végétales rencontrées dans les parcelles, y compris leur répartition par famille et par type biologique. Les listes relevées ont été confrontées entre elles. La fréquence relative d'une espèce est le rapport de sa fréquence spécifique au total des fréquences spécifiques de toutes les espèces.

La densité des ligneux est le nombre d'individus par espèce recensée par relevé sur chaque parcelle par an. Le taux de régénération est la croissance en hauteur et en longueur (horizontale) mesurées en cm par an. Une analyse qualitative des photos prises a permis d'apprécier globalement la croissance de la végétation.

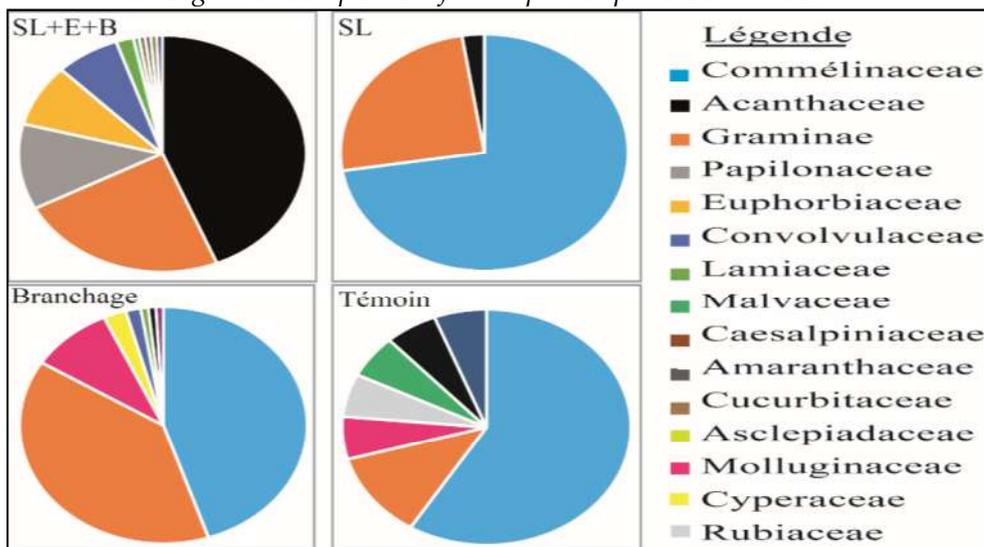
2. Résultats et discussion

2.1. Analyse de la diversité écologique

2.1.1. Richesse spécifique des parcelles

L'inventaire de la végétation a révélé un total de 25 espèces végétales réparties entre 15 familles (figure 6). Les espèces herbacées les plus rencontrées sont entre autres *Monechma ciliatum*, *Aristida mutabilis*, *Jacquemontia tamnifolia*, *Panicum subalbidum*, *Zornia glochidiata*, *Ipomoea coscosperma*. Concernant les ligneux, il s'agit principalement de *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* avec la présence sporadique d'*Acacia nilotica* ; *Piliostigma reticulatum* et *Ziziphus mauritiana* y sont présent depuis 2019. Il est important de noter que la composition actuelle des ligneux dans les parcelles aménagées diffère de celle observée dans les bandes boisées des années 80 par J.-M.K. Ambouta (1984, p. 26), qui incluait des espèces telles que *Combretum micranthum*, *Acacia ataxacanta*, *Guiera senegalensis*, *Grewia flavescens*, *Commiphora africana*, *Boscia senegalensis* et *Boscia angustifolia*. En revanche, la composition des herbacées semble relativement similaire, avec des espèces comme *Pennisetum pedicellatum*, *Eragrostis tremula*, *Schoenefeldia gracilis* et *Zornia glochidiata*.

Figure 6. Composition floristique des parcelles étudiées.



L'analyse de la figure 6 montre une plus grande diversité dans la parcelle SL+E+B (Sous-solage + Ensemencement + Branchage) avec des familles comme les commelinaceae, les papilionaceae, les graminae et les acanthaceae. Cela indique une meilleure restauration écologique, favorisée par la combinaison des trois techniques qui améliorent à la fois les conditions hydriques et le potentiel de germination des graines. Ce résultat est en accord avec les travaux de J. Léonard *et al.* (1998 p. 43), qui ont montré une augmentation de la diversité floristique sur des parcelles paillées avec $6,7 \pm 3,1$ espèces. De même S. Ganaba (2005, paragraphe 50) a observé que la combinaison de techniques d'aménagement (demi-lune et sous-solage) favorise une meilleure régénération écologique dans les zones arides.

Dans le traitement « Sous-solage », la diversité est nettement réduite, avec une prédominance des commelinaceae et des papilionaceae, montrant que le sous-solage seul n'est pas suffisant pour restaurer une diversité floristique comparable à celle obtenue avec les techniques combinées. Ceci confirme les résultats obtenus par A. Kiema & H. O. Sanon (2006, p. 420), qui suggèrent que le travail du sol seul (labour) a un effet dépressif sur les graminae dominantes, même si cela est compensé par l'apparition d'autres espèces. Le SL ne devient plus intéressant que lorsqu'il est associé avec des semis verts et sans bouleversement du sol (A. Weill *et al.* 2015 p. 29).

Le traitement « Branchage » montre également une diversité intermédiaire, mais avec une dominance plus marquée des papilionaceae et des commelinaceae, ce qui suggère que l'ajout de branchages peut améliorer la diversité floristique, mais reste insuffisant pour la rétablir de façon optimale (R. Chase *et al.* 1989 p. 133). Par exemple, E. Roose (2015 p. 195 à 196) note qu'un apport modéré de branchages (1,5 T de matière sèche/ha/an) n'a pas entraîné d'amélioration significative des propriétés biologiques, physiques ou chimiques du sol après trois ans, mais a tout de même favorisé une meilleure infiltration d'eau par l'activité accrue des termites.

Le « témoin », représentant les surfaces non aménagées, présente une dominance des commelinaceae et une diversité limitée. Cela reflète la dégradation écologique et le manque de régénération naturelle sur ces surfaces.

Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que la combinaison de plusieurs techniques de restauration, comme dans le traitement SL+E+B, favorise une meilleure diversité floristique, tandis que les techniques individuelles offrent des résultats plus modestes en termes de richesse spécifique.

Globalement, les espèces recensées se répartissent en cinq types biologiques, dominées par une forte proportion de thérophytes (Th : 48 %), suivie par les hémicryptophytes (He : 28 %), les chaméphytes (Ch : 12 %), les phanérophytes (Ph : 8 %), et enfin les géophytes (Ge : 4 %). La prépondérance des Th traduit des conditions écologiques instables, caractérisées par des perturbations fréquentes et des phases de régénération rapide, typiques des zones aménagées récemment (M. Chihab et al., 2018, p. 78; A. Daniel-Yves et al., 1997, p. 163) La faible proportion de géophytes, quant à elle, suggère que les conditions favorables à leur multiplication sont présentes, mais restent restreintes, mettant en évidence une dégradation et l'adaptation à un stress hydrique prolongé (M. Chihab et al., 2018, p. 78).

2.1.2. Diversité floristique selon les indices de Shannon-Weaver, Simpson et Hill

L'analyse des indices de diversité de Shannon-Weaver, Simpson et Hill pour les quatre parcelles (SL+E+B, SL, Branchage et Témoin) révèle des différences marquées dans la composition de la végétation (tableau 1).

Parcelle	Shannon Weaver (H max en bit)	Simpson	Hill
SL	1,34	0,45	0,52
Branchage	2,39	0,73	0,66
SL+E+B	2,53	0,74	0,69
Témoin	1,69	0,53	0,61

Tableau 1. Diversité floristique des parcelles étudiées.

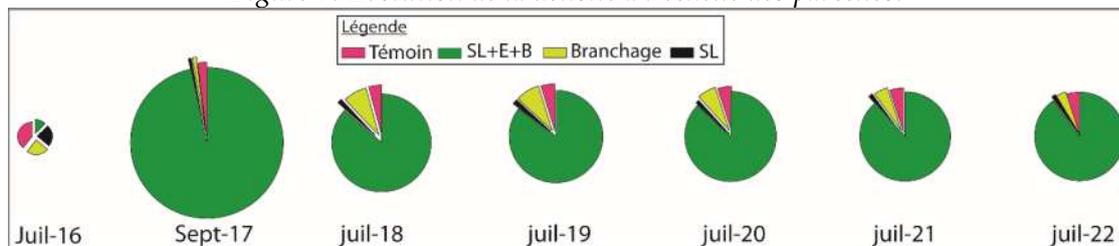
D'après le tableau 1, la parcelle SL+E+B présente la plus grande diversité avec un indice de Shannon-Weaver ($H = 2,53$), suivi de la parcelle Branchage ($H = 2,39$), indiquant une plus grande richesse spécifique et une distribution plus homogène des espèces. Cela est corroboré par les indices de Simpson (0,74 et 0,73 respectivement) et de Hill (0,69 et 0,66), suggérant une dominance relativement faible de certaines espèces dans ces parcelles. En revanche, la parcelle SL affiche l'indice de diversité le plus faible ($H = 1,34$) et un indice de Simpson (0,45) indiquant une plus grande dominance d'espèces spécifiques, ce qui signifie que peu d'espèces dominent la composition végétale dans cette parcelle. La parcelle témoin se situe entre ces deux extrêmes avec

un H de 1,69 et un indice de Simpson de 0,53, suggérant une diversité intermédiaire également.

2.2. Analyse de la densité végétale

La figure 7 montre l'évolution temporelle de la densité végétale dans les différentes parcelles entre 2016 et 2022.

Figure 7. Évolution de la densité à l'échelle des parcelles.



L'analyse de la figure 7 révèle une forte augmentation de la densité dès septembre 2016, en particulier dans la parcelle SL+E+B. Cette parcelle connaît une densité végétale qui augmente rapidement, atteignant son pic durant la première année après intervention (septembre 2016), soit 15 individus/m². En juillet 2016, la densité végétale est relativement faible dans toutes les parcelles, soit 0,02 individus/m² avant intervention. À partir de 2018, une stabilisation progressive s'observe, marquée par une diminution de la densité dans toutes les parcelles jusqu'en 2022. M. Grouzis et al., (1984, p 11) ont observé le même phénomène au niveau des pâturages sous-solés et ensemençés. Cette dynamique de la végétation traduit une réponse initiale à l'aménagement, notamment grâce à l'amélioration des conditions hydriques (A. Boubacar Na-Allah et al., 2017, p 196 ; A. Ingatan Warzagan et al., 2023) et à l'introduction d'essences locales via l'ensemencement. Mais la croissance en termes de densité s'atténue avec le temps, ce qui indique un besoin de gestion continue pour maintenir la densité à un niveau optimal. Il a été constaté aussi une forte augmentation du taux de couverture végétale par la croissance du houppier.

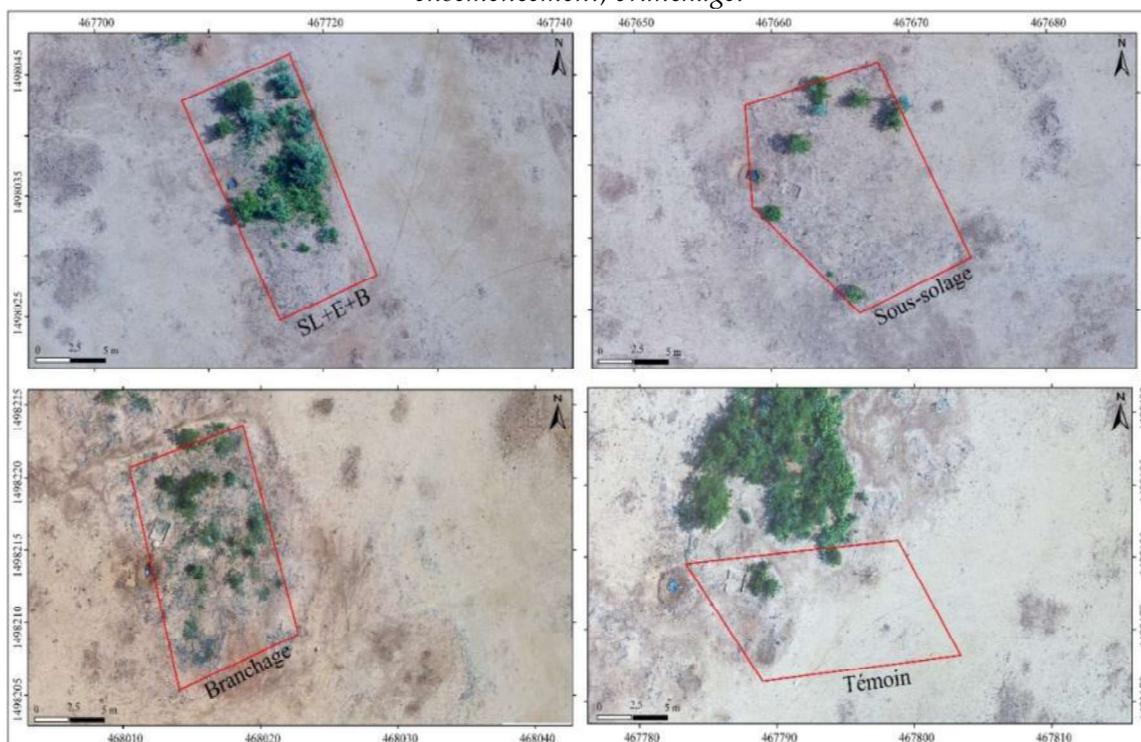
2.3. Analyse de la régénération du couvert végétal

2.3.1. Croissance de la végétation sur le plan horizontal

La figure 8 illustre le taux de couverture végétale dans les différentes parcelles en 2019. Il ressort une couverture nettement plus dense sur le plan horizontal dans la parcelle SL+E+B, atteignant potentiellement un taux de 60-70 %. En comparaison, la parcelle SL présente une couverture plus faible (10-15 %). La même dynamique a été observée sur la parcelle branchage, mais avec une couverture végétale plus dense par rapport à la parcelle SL. Les résultats montrent clairement que la combinaison des trois techniques d'aménagement (sous-solage+ensemencement+branchage) permet une régénération végétale plus rapide et plus uniforme. L'ajout de branches joue un rôle important en

limitant le ruissellement et en favorisant l'infiltration d'eau, ce qui améliore la disponibilité en eau pour la végétation. Ces observations confirment les travaux de J. Léonard et al. (1998 p. 43), qui avaient également observé une meilleure régénération écologique sur des parcelles paillées, atteignant environ 30 % de recouvrement.

Figure 8. État du couvert végétal en 2019 dans les parcelles suivies : SL+E+B : sous-solage, ensemencement, branchage.



2.3.1. Croissance de la végétation sur le plan vertical

L'observation de la figure 9 montre que la parcelle SL+E+B se distingue par une augmentation significative de la hauteur des ligneux, qui passe en moyenne de 27 cm en 2016 à 267 cm en 2020, en particulier pour *Guiera senegalensis* présent déjà dans la parcelle. Les jeunes poussent de cette espèce atteignent également une hauteur de plus 100 cm en 2020 contre seulement 10 cm en 2016. Dans la parcelle SL, la croissance a été moins significative et modeste. Cette croissance rapide est attribuée à l'amélioration des conditions hydriques grâce au sous-solage, qui permet une meilleure infiltration de l'eau. Il brise la croûte superficielle du sol, accroît la disponibilité en eau pour les racines, et favorise ainsi la croissance des espèces ligneuses. Ces résultats montrent que le sous-solage seul, bien qu'efficace pour l'amélioration des conditions d'infiltration, n'est pas suffisant pour générer une croissance comparable à celle observée dans la parcelle SL+E+B où les effets sont amplifiés par l'ensemencement et le branchage. Ces résultats sont en accord avec ceux de S. Ganaba, (2005, p. 22), qui a montré que la combinaison de techniques telles que le sous-solage et les demi-lunes favorisent une régénération écologique plus rapide et plus efficace dans les zones semi-arides.

Figure 9. Croissance en hauteur du couvert végétal dans les parcelles SL+E+B (en haut) et SL (en bas).



Conclusion

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de trois techniques à savoir le sous-solage, le branchage et l'association du sous-solage + ensemencement + branchage sur la réhabilitation de la brousse tigrée dégradée sur le site de Tondi Kiboro. Les résultats de cette étude démontrent clairement l'efficacité des traitements combinés (sous-sole + ensemencement + branchage) pour réhabiliter la brousse tigrée dégradée. La combinaison des techniques a significativement augmenté la densité végétale dans les parcelles traitées, indiquant que la structure de la brousse tigrée peut être restaurée. La diversité floristique est nettement supérieure dans les parcelles soumises aux traitements combinés, en comparaison avec celles traitées individuellement ou laissées en témoin. En outre, la composition floristique, comparée à celle des années 1980, montre des signes encourageants de réhabilitation. Les indices de diversité, ainsi que l'évolution spatiale et temporelle du couvert végétal, confirment l'importance de combiner différentes techniques pour restaurer des écosystèmes fragiles et complexes tel que la brousse tigrée.

Cependant, bien que les résultats soient prometteurs, la durabilité à long terme de ces aménagements dépendra d'une gestion continue des parcelles. Des études complémentaires seront nécessaires pour évaluer l'évolution à plus long terme de ces systèmes et pour ajuster les interventions afin de maximiser les bénéfices environnementaux et socio-économiques.

Bibliographie

AMBOUTA Jean-Marie Karimou, (1984). Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigérien [Thèse d'état]. Université de Nancy I. 112 p.

- AMBOUTA Jean-Marie Karimou, (1994). Étude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin du sahel [Philosophiae Doctor (Ph.D.)]. Université Laval.
- BOUBACAR NA-ALLAH Abdoulaye, MALAM ABDOU Moussa, INGATAN WARZAGAN Aghali, MAMADOU Ibrahim, FARAN MAIGA, Oumarou, BOUZOU MOUSSA Ibrahim et DESCROIX Luc, (2017). Efficacité du sous-solage dans la restauration des sols sahéliens dégradés : étude expérimentale sur le site de Tondi Kiboro, Niger. *Afrique SCIENCE* 13(6) (2017), 189-201.
- BOUZOU MOUSSA Ibrahim, BAHARI IBRAHIM Mahamadou, FARAN MAIGA Oumarou, HAMADOU ISSAKA, ABDOU ALOU Adam, ISSAKA LONA, Abdou, BONTIANTI, Mamadou, Ibrahim, Alio, ABDOULAYE, DESCROIX Luc, Oumarou, MALAM Issa, et Mamane, ALIKO, (2016). Changement climatique, géomorphologie et inondabilité de la plaine alluviale du fleuve Niger à Niamey (Niger). 18.
- BOUZOU MOUSSA Ibrahim, MALAM ABDOU Moussa, INGATAN WARZAGAN Aghali, BOUBACAR NA-ALLAH Abdoulaye, BAHARI IBRAHIM Mahamadou, MAMADOU Ibrahim, LUC Descroix, ERIC Le Breton, et VANDERVAERE Jean-Pierre. (2020). Dynamique hydro-érosive actuelle des bassins versants endoréiques de la région de Niamey (Sud-Ouest Du Niger). *European Scientific Journal ESJ*, 16(33). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149>
- BRÉDIF Hervé, (2021). Réaliser la terre : Prise en charge du vivant et contrat territorial. In *Réaliser la terre : Prise en charge du vivant et contrat territorial*. Éditions de la Sorbonne. <https://books.openedition.org/psorbonne/100687>
- BUTARE Innocent, ZOUNDI Jean Sibiri, ALASSANE Diallo, (2004). Leçons tirées des expériences de lutte contre la désertification au sahel : actes des travaux de l'Atelier sous-régional d'échange et de réflexion organisé par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI). 193.
- CHASE Robert et BOUDOURESQUE Eric, (1989). A Study of Methods for the Revegetation of Barren Crusted Sahelian Forest Soils. 11.
- CHIHAB Mounir, BOUZIDI Mohamed Ali, LATRECHE Ali, DIF Mustapha Mahmoud, et BOUBAKR Saidi. (2018). Caractérisation de l'habitat naturel d'une espèce de géophyte menacée (*Tulipa sylvestris* L.) dans la forêt de Bouhriz (ouest Algérien). *Acta Botanica Malacitana*, 43, 71-81. <https://doi.org/10.24310/abm.v43i0.3957>
- DAGET Philippe, POISSONET Jacques et HUGUENIN Johann. (2010). Méthodes d'étude de terrain et Interprétations.
- DANIEL-YVES Alexandre, CHARLES Becker, SYLVIE Charrier, GIORGIO Blundo, JEAN-PAUL Deléage, DAOUDA Diagne, BOUREIMA ALPHA Gado, SHELDON Gellar, DÉTOUBAB INSA Gningue, RONALD Jaubert, FRANCINE Kane, FRANCINE Kane, PAUL Ndiaye, ANTOINE N. Somé, et BERNARD Tallet. (1997). Développement durable au Sahel (KARTHALA, Sociétés, Espaces, Temps).
- GANABA Souleymane. (2005). Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en région sahélienne et nord soudanienne du Burkina Faso. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 6 Numéro 2, Article Volume 6 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4314>

- GIEC. (2020). Le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées.
- GREIGERT, Jacques. (1966). Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden : Afrique occidentale. Bureau de recherches géologiques et minières.
- GROUZIS, Michel., MAIGA, S., NIGNAN, S., (1984). Restauration des pâturages sahéliens. Effet de travail du sol et /ou de la mise en défens sur le recouvrement, la composition floristique et la biomasse herbacée (Markoye) (Centre ORSTOM). Centre ORSTOM.
- INGATAN WARZAGAN, Aghali, BOUZOU MOUSSA, Ibrahim, VANDERVAERE, Jean-Pierre, MOUSSA MALAM Abdou, BOUBACAR NA-ALLAH, Abdoulaye, et DESCROIX, Luc, (2023). Effets du sous-solage sur les propriétés physiques et le stock d'eau des sols nus de brousse tigrée de l'ouest du Niger. *Tettitoires, Sociétés & Environnement*, 55-66.
- KIEMA André et SANON Hadja Oumou, (2006). Régénération des pâturages naturels en région sahélienne par le labour et l'ensemencement d'*Alysicarpus ovalifolius*. *Cahiers Agricultures*, 15(5), Article 5. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30601>
- LÉONARD Joël et RAJOT Jean-Louis, (1998). Effets induits du paillage post-cultural d'un sol sableux encroûté au Sahel. Conséquences sur l'amélioration de son fonctionnement hydrique. *Agriculture et Développement*. <http://agritrop.cirad.fr/400924/>
- MASSUEL Sylvain. (2005). Évolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. [Thèse de doctorat en Météorologie, océanographie physique et physique de l'environnement]. Université Montpellier II.
- PASCAL Ide. (2019). La brousse tigrée du Niger, un exemple de cosmologie du don – Pascal Ide. <https://pascalide.fr/la-brousse-tigree-du-niger-un-exemple-de-cosmologie-du-don/>
- RICHARD Jean-François, (1990). La dégradation des paysages en Afrique de l'ouest. Presses Universitaires de Dakar.
- ROOSE Éric, (2012). Restauration de la productivité des sols tropicaux. In É. Roose, H. Duchaufour, & G. De Noni (Éds.), *Lutte antiérosive*. IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.12455>
- ROOSE Eric, (2015). Potentiel du paillage pour réduire l'érosion et restaurer la productivité des sols tropicaux : une revue en Afrique francophone. 10.
- SAWADOGO Hamado et KINI Janvier, (2011). *REVUE DES TECHNOLOGIES AU BURKINA FASO*.
- TRICHON Valérie, HIERNAUX Pierre, WALCKER Romain et MOUGIN Eric, (2018). The persistent decline of patterned woody vegetation: The tiger bush in the context of the regional Sahel greening trend. *Global Change Biology*, 24(6), 2633-2648. <https://doi.org/10.1111/gcb.14059>
- VANDERVAERE Jean-Pierre, JARAMILLO R. Angulo, PEUGEOT Christophe., et VAUCLIN Michel, (1994). CARACTÉRISATION HYDRODYNAMIQUE IN SITU DE SOLS ENCROUTÉS. 16.

- VISCHEL Théo, LEBEL Thierry, PANTHOU Gérémy, QUANTIN Guillaume, ROSSI Aurélien et MARTINET Maxime, (2015). Chapitre 2. Le retour d'une période humide au Sahel ? In B. Sultan, R. Lalou, M. Amadou Sanni, A. Oumarou, & M. A. Soumaré (Éds.), *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest* (p. 43-60). IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8937>
- WEILL Anne, BOUGON-RONIN Joshua, BOURNIVAL Pierre, CAYER Eve, GODWIN Dick, et SPOOR Gordon. (2015). *Comprendre et réussir le sous-solage*. 44.
- YAMEOGO Jérôme, (2006). *Étude d'impact des aménagements antiérosifs sur la régénération ligneuse sur le massif forestier de Bougou, province du Namentanga*.