

## ***Faidherbia albida* (Delile) Effets du dépérissement des arbres sur la production végétale dans les parcs agroforestiers du sud-ouest du Niger**

Abasse Tougiani (1), Moussa Massaoudou (1), Adamou Haougui (1), Amadou Laouali (1) and John C. Weber (2)

(1) Département de Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique (INRAN), BP 240 Maradi, Niger

(2) World Agroforestry Centre (ICRAF), Lima, Peru

La correspondance doit être adressée à Moussa Massaoudou ; [mmassaoudou13@gmail.com](mailto:mmassaoudou13@gmail.com)

[RECA] Le document original est en anglais. La traduction a été réalisée par le RECA à l'aide du traducteur Google Translate. Seul le document original fait foi.

*Faidherbia albida* est une espèce d'arbre agroforestier jouant un rôle agroécologique et socio-économique important dans les zones arides et semi-arides d'Afrique. Pendant de nombreuses années, les stress anthropiques et abiotiques ont été considérés comme les principales menaces pour l'espèce dans les parcs agroforestiers d'Afrique de l'Ouest. Un dépérissement considérable s'est récemment produit dans les arbres *F. albida* des parcs agroforestiers du centre-sud-ouest du Niger, et les causes sont inconnues. Les objectifs de cette étude sont (i) d'étudier l'ampleur du dépérissement des arbres *F. albida* et (ii) d'évaluer les perceptions des communautés locales sur les effets du dépérissement de *F. albida* sur la production agricole. L'état de santé et la phénologie de 213 *F. albida* ont été observés dans la zone où se produit le dépérissement. De même, un échantillon de 144 personnes, dont 86% d'agriculteurs, a été interrogé. L'incidence du dépérissement des arbres *F. albida* était de 19%, avec une mortalité de 6%. Les arbres de grand diamètre ont un dépérissement plus important que les arbres de petit diamètre. Les parties les plus touchées de l'arbre étaient les branches à 54% et les troncs à 39%. Les populations ont noté une réduction de 33 à 55% des rendements des principales cultures. Ce dépérissement des arbres *F. albida* constitue une menace sérieuse pour la survie des communautés rurales. D'autres études peuvent être menées pour identifier la cause ou la cause du dépérissement afin d'orienter les stratégies appropriées de gestion des parcs agroforestiers.

### **1. Introduction**

*F. albida*, à l'origine connu sous le nom d'*Acacia albida* tel que nommé par Delile [1], appartient à la famille des Fabacées [2]. Dans des conditions favorables, *F. albida* peut atteindre plus de 30 m de hauteur et 1,5 m de diamètre à hauteur de poitrine. La couronne est pyramidale lorsque l'arbre est jeune et devient hémisphérique avec l'âge. Les feuilles sont composées et bipennées. *F. albida* est une espèce largement distribuée dans les zones arides et semi-arides d'Afrique [3, 4]. Contrairement à la plupart des espèces ligneuses sahéliennes, *F. albida* est une espèce à phénologie inverse : il perd ses feuilles avec les premières pluies de la saison et les repousse pendant la saison sèche [5, 6]. Sur la base de l'analyse des semences, Ibrahim et al. [7] ont mis en évidence trois écotypes de *F. albida* en Afrique : l'écotype sahélien, l'écotype sud-africain et l'écotype qui chevauche les deux zones,

notamment en Ethiopie. Dans la même zone écologique, *F. albida* présente une variabilité morphologique et de croissance contrastée [8–12]. Les arbres ont longtemps été utilisés traditionnellement dans le principal système de production agricole en Afrique de l'Ouest, connu sous le nom de parcs agroforestiers. *F. albida* est une excellente espèce agroforestière pour son impact sur l'amélioration du carbone du sol et la fertilité du sol, l'augmentation de l'activité des microorganismes symbiotiques et l'amélioration des rendements et des valeurs nutritionnelles des cultures [3, 13–17]. En raison de son système racinaire profond dans les sols de dunes, la concurrence pour les ressources superficielles en eau et en nutriments entre cette espèce et les cultures environnantes est très limitée [11].

Les parcs agroforestiers à *F. albida* du centre sud-ouest du Niger sont nés de l'intervention de projets forestiers promouvant l'espèce à partir de 1981. En raison des nombreux avantages des arbres *F. albida* mentionnés ci-dessus, les projets ont pour objectif commun d'augmenter leur densité de 35 à 50 arbres / ha sur la base des investissements à faible coût de régénération naturelle gérée par les agriculteurs (RNA) et de plantation dans la mesure du possible. Des résultats concluants ont été obtenus, conduisant à la domination des parcs à *F. albida*. Par exemple, le rendement du mil cultivé sous le feuillage des arbres *F. albida* était 1,78 fois supérieur au rendement de parcelles comparables sans ces arbres [18]. Cependant, au cours des dernières années, cette espèce, qui améliore le bien-être de ces communautés locales, a subi une pression croissante non liée à l'exploitation humaine, mais à un dépérissement conduisant dans la plupart des cas à la mortalité des arbres. Des attaques similaires conduisant à la mortalité ou au dépérissement de *F. albida* jeunes et vieux dans les années 1990 ont été signalées par [18].

Le dépérissement des arbres peut être défini comme l'expression des effets immédiats de stress aigus [19]. Les causes de ce dépérissement restent inconnues. Cependant, de nombreuses études ont abordé le déclin des arbres dans les plantations, les forêts naturelles et les fermes du monde entier. Les causes sont encore discutables. Les causes les plus souvent répertoriées ont été les folivores, les infections et les stress abiotiques qui peuvent être principalement liés au climat ou aux sols [20, 21]. Le dépérissement des arbres en milieu rural pourrait être lié à des facteurs tels que le changement climatique mondial, la surutilisation des pesticides, les métaux lourds dans les sols, la surutilisation des engrais, les agents pathogènes et la fragmentation de l'habitat [22, 23]. Ces facteurs ont des effets directs sur la survie des microorganismes symbiotiques (mycorhizes) qui jouent un rôle important dans la vie des arbres. Sur la base de toutes ces causes, des théories et des modèles de dépérissement des arbres ont été développés [24–26]. L'interaction entre plusieurs facteurs, notamment biotiques, abiotiques et humains, rend l'étude du dépérissement des arbres très complexe. Ainsi, dans sa spirale de dépérissement et de mortalité des arbres, modifiée par [27, 28], les principaux groupes de causes sont présentés comme suit: (i) les facteurs de prédisposition, à savoir, la génétique des arbres, le déficit en éléments nutritifs du sol, la variabilité climatique, chimique, dégradation physique et biologique des sols et attaques chroniques d'agents pathogènes et d'insectes; (ii) les facteurs d'incitation et de contribution tels que le climat extrême, la toxicité élevée du sol, la défoliation par les insectes et la concurrence. Le dépérissement des arbres *F. albida* a été le plus souvent observé dans le département de Dogondoutchi au Niger, notamment dans les villages de la commune de Kiéché. Il est urgent de comprendre les causes et les implications du dépérissement afin que des réponses efficaces puissent être mises en place. Bien avant, il serait nécessaire de comprendre l'ampleur du dépérissement de cet arbre dans ce complexe de parcs agroforestiers. Pour contribuer à cela, nous avons posé les questions suivantes : quelle est l'ampleur du dépérissement des arbres *F. albida* dans ces parcs agroforestiers ? Quelle est la perception actuelle des communautés locales des effets de ce dépérissement sur les principaux rendements des cultures dans la zone ?

## 2. Matériels et méthodes

**2.1. Des sites.** La zone d'étude se situe à 13 ° 28 ' N et 4 ° 3 ' E avec une élévation de 311 m [29], sur la rive gauche du Dallol Maouri, large vallée fossile encadrée de grès et parfois de plateaux cuirassés

[30]. C'est une région agricole par excellence. Les données climatiques fournies par le service national de météorologie du Niger ont été utilisées pour caractériser le climat de la zone d'étude. Le climat est de type sahélien, avec une pluviométrie annuelle moyenne de  $540 \pm 98$  mm et des températures annuelles moyennes maximales et minimales de  $36,8^\circ\text{C}$  et  $23,2^\circ\text{C}$ , respectivement. La saison des pluies dure généralement de 3 à 4 mois (de juin à septembre). L'humidité annuelle moyenne maximale et minimale est de 59% et 34%, respectivement. La zone d'étude appartient à la formation terminale continentale avec une variabilité spatiale et temporelle de l'aquifère phréatique. Les fluctuations piézométriques tout au long de l'année varient de 1 m à 9 m [31]. La végétation est principalement dominée par des parcs agroforestiers enrichis depuis longtemps par des plantations d'arbres *F. albida* et la pratique de la RNA [18]. Les sites d'étude ont été choisis suite à des entretiens avec les agents de la Direction de l'Environnement de Dogondoutchi et de la Commune Rurale de Kiéché. Ce choix était également basé sur la présence de *F. albida* et la prévalence du dépérissement dans les parcs agroforestiers. Ces informations ont permis de dresser une liste de cinq villages (KalloMota, Ruda, Adoua, GarinPaydou, Tambo Gataw et GarinDianta) adaptés à l'étude et répartis dans différentes localisations géographiques de la commune.

Deux méthodes ont été utilisées : des enquêtes auprès des communautés locales et un inventaire des parcs agroforestiers des sites sélectionnés.

**2.2. Enquêtes.** Les enquêtes ont été menées en deux étapes en juillet 2018. Des discussions de groupe ont été menées dans chaque village pour saisir la perception globale du problème, et des enquêtes individuelles ont été menées pour obtenir des données quantitatives à l'aide d'un échantillonnage aléatoire. Les discussions de groupe étaient axées sur (i) l'importance et les avantages des arbres *F. albida* pour les communautés locales ; (ii) les menaces pesant sur les arbres *F. albida*; (iii) les causes de la mortalité observée chez les arbres *F. albida*; et (iv) les manifestations du dépérissement des arbres. Les enquêtes individuelles ont pris un échantillon aléatoire de 144 personnes de tous les villages dont 86% étaient des agriculteurs. Les 14% sont composés d'éleveurs, de guérisseurs traditionnels, de forgerons, etc. en raison de l'exploitation de *F. albida* pour leurs divers usages. L'âge moyen des personnes interrogées variait de 47 à 50 ans, et tous les groupes socioprofessionnels (niveau d'éducation, activités primaires et secondaires, etc.) de chaque village étaient représentés. Les enquêtes ont également examiné les effets du dépérissement des arbres de *F. albida* sur le rendement des principales cultures de la zone. Les questions posées comprenaient les estimations des agriculteurs sur les rendements des cultures avant et après la mortalité des arbres *F. albida* dans les différentes exploitations des parcs agroforestiers. Les principales cultures étaient *Pennisetum glaucum* (mil), *Sorghum bicolor* (sorgho), *Vigna unguiculata* (niébé) et *Hibiscus sabdariffa* (oseille de Guinée). Les rendements de chaque culture ont été donnés dans l'unité locale puis convertis en unité internationale (kg / ha). Il était difficile pour les répondants d'évaluer le rendement des cultures spécifiquement dans la zone sous la couronne des arbres avant et après le dépérissement. Ainsi, l'évolution du rendement a été rapportée à l'échelle de l'exploitation de chaque répondant.

**2.3. Inventaire.** L'inventaire des arbres a été réalisé en juillet 2018 pour fournir des données sur la répartition des espèces ligneuses, y compris les arbres *F. albida*, l'état de santé actuel des arbres et la prévalence du dépérissement. Les parcs agroforestiers de trois des cinq villages ont été inventoriés. Les deux autres étaient proches l'un de l'autre et n'offraient donc aucune variabilité. Un échantillonnage radial avec des transects du village dans les quatre directions géographiques a été utilisé [32, 33]. Au total, 48 parcelles ont été installées avec 16 parcelles par village. Des parcelles carrées de 50 m  $\times$  50 m ont été installées [34]. La distance entre deux parcelles était de 300 m. Dans chaque parcelle, un dénombrement exhaustif des espèces ligneuses a été effectué, y compris les arbres *F. albida*. Pour chaque arbre de *F. albida*, des observations ont été effectuées sur l'état de santé (sain, malade ou mort) et la phénologie (feuillage, floraison ou fructification). Il serait difficile par une simple observation de dissocier les arbres malades des arbres sains. Pour les arbres morts, plusieurs définitions ont été rapportées dans la littérature [35]. Cependant, pour cette étude, nous retenons des arbres morts, y compris des arbres tombés ou sur pied, lorsque sa partie aérienne (feuilles, branches et tronc) est sèche ou à la limite est pourrie alors que les arbres sont malades ou stressés lorsqu'ils

subissent des dommages agents biotiques et / ou abiotiques [36] et présentent des signes de dessèchement ou d'attaques sur au moins une de ses parties aériennes [37]. Ainsi, des observations ont été faites sur tous les arbres échantillonnés, et les arbres de diamètre moyen ont été les plus attaqués (figure 1). Des échantillons de feuilles, de branches et de racines d'arbres attaqués et de sol près des racines ont été prélevés pour analyse en laboratoire afin de détecter d'éventuels agents pathogènes. Les résultats ne sont pas présentés car ils ne font pas l'objet de cet article.

**2.4. L'analyse des données.** Les données d'enquête ont été traitées à l'aide d'un tableur Excel et du logiciel Minitab 16 pour les statistiques descriptives (moyennes, écarts types et fréquences). Le test ANOVA à un facteur a été appliqué pour déterminer la signification statistique de l'évolution des rendements des cultures en fonction des périodes avant et après la mortalité des arbres *F. albida* à 5% de signification. Ce test a été utilisé pour aborder les contraintes d'hétérogénéité et de non-normalité des données et la taille de l'échantillon [38]. Enfin, la différence de rendement selon les deux périodes a été rapportée en pourcentage.

### 3. Résultats

**3.1. Perceptions locales de l'importance des arbres *F. albida*.** Les agriculteurs étaient unanimes à dire que la présence d'arbres *F. albida* améliore la fertilité des sols, protège les cultures contre l'érosion éolienne et contrôle le mouvement du sable. L'espèce est également une source importante d'alimentation animale ; les agriculteurs ont estimé qu'un arbre *F. albida* produit, selon son âge, une moyenne annuelle de 90 kg de cosses de fruits sans branches succulentes au prix de  $14\,565 \pm 2383$  FCFA (équivalent à 24,27 dollars américains).

#### 3.2. Ampleur du dépérissement des arbres de *F. albida*.

Health status	Frequency (%)	Density (trees/ha)
Healthy	73.6	19.5
Attacked	18.9	5.0
Cut	1.4	0.4
Leaning	0.5	0.1
Dead	5.7	1.5
Total	100	26.5

Les observations sur l'état de santé des arbres *F. albida* dans les parcs agroforestiers ont donné 74% d'arbres sains contre 19% malades et 6% morts mais sur pied. Environ six arbres de *F. albida* par hectare étaient malades ou morts mais sur pied (tableau 1 ; figure 2).

Tableau 1 : Distribution de l'état de santé des arbres *F. albida*

**3.3. Perceptions locales des effets du dépérissement des arbres de *F. albida* sur les rendements des cultures.** Les populations ont reconnu la perte de populations d'arbres au cours de la dernière décennie, et cette question devient de plus en plus importante dans la région. Le dépérissement ne concerne que les arbres *F. albida* ; c'est aussi une fonction de l'âge. Selon les répondants, les rendements des principales cultures mentionnées ont été affectés par le dépérissement des arbres *F. albida* dans la région. En fait, les rendements moyens en kg / ha avant le dépérissement étaient respectivement de  $386,21 \pm 8,92$ ,  $634,65 \pm 34,90$ ,  $161,11 \pm 11,64$  et  $90,91 \pm 20,42$  pour le mil, le niébé, l'oseille de Guinée et le sorgho. Après le dépérissement, les rendements ont connu une réduction drastique allant de 33,03% à 55,47% (tableau 2).

### 4. Discussion

Les parcs agroforestiers de *F. albida* à Dogondoutchi sont nés de la volonté de relever les grands défis de la protection de l'environnement et de l'amélioration de la production agricole. Le dernier reste un défi au Niger en raison de la croissance démographique importante (3,6%), de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle, de la baisse des rendements due à la baisse de la fertilité des sols et des pressions parasitaires. Le développement de parcs agroforestiers où les arbres assurent la protection des sols et la fertilisation reste nécessaire pour la durabilité du système. Des investissements importants ont été réalisés dans le cadre de projets de développement depuis les années 80 pour

augmenter la densité des arbres *F. albida* de 35 à 50 arbres par hectare dans la zone [18]. Les populations locales conviennent que les arbres *F. albida* ont des effets positifs significatifs sur la fertilité des sols, le fourrage pour les animaux et les rendements des cultures. Une méta-analyse a montré des améliorations significatives du carbone organique du sol (augmentation de 46%), de l'azote total (augmentation de 50%), du phosphore (augmentation de 21%), du potassium (augmentation de 32%) et des rendements du maïs et du sorgho (150% et 73 %, respectivement) sous couvert forestier par rapport à la zone aride [16]. Au Niger, [14] ont signalé une amélioration du rendement du mil de 36% sous *F. albida*. Ceci est cohérent avec les perceptions des agriculteurs dans cette étude : ils ont observé une baisse de leurs rendements agricoles comprise entre 33% et 55%, selon les cultures, avec la mortalité et la disparition des arbres *F. albida*.

En général, le dépérissement des arbres a été abordé dans de nombreuses études et les liens de causalité ont été discutés [24, 25, 26, 39]. Dans la présente étude, les arbres de *F. albida* les plus affectés par le dépérissement sont ceux de grand et moyen diamètre à hauteur d'homme et avec une densité de moins de 6 arbres / ha. Cela signifie-t-il que le dépérissement serait lié à l'âge de l'arbre ? Cette affirmation est difficile à accepter, mais pas à exclure, car chez *F. albida*, la taille de l'arbre n'est pas nécessairement liée à l'âge [40]. Physiologiquement, cela pourrait s'expliquer par le fait que, dans les zones arides, lorsque les espèces ligneuses sont stressées, un compromis se fait entre sécurité et efficacité. L'arbre a tendance à favoriser ses fonctions de survie au détriment de celle de croissance ou de reproduction en éliminant les feuilles, les petites brindilles et au pire celle des grosses brindilles et du tronc [37, 40]. Les parties de l'arbre les plus touchées étaient les branches à 54% et les troncs à 39% des cas. L'une des conséquences directes de ce dépérissement sur les communautés locales a été une réduction de la fourniture de services écosystémiques par ces parcs agroforestiers. L'aspect le plus frappant était la réduction du rendement dans la zone, qui variait de 33% à 55%, selon la culture (tableau 2). Ce déclin était attribuable à la réduction du cycle des éléments nutritifs que fournissent les arbres *F. albida*.

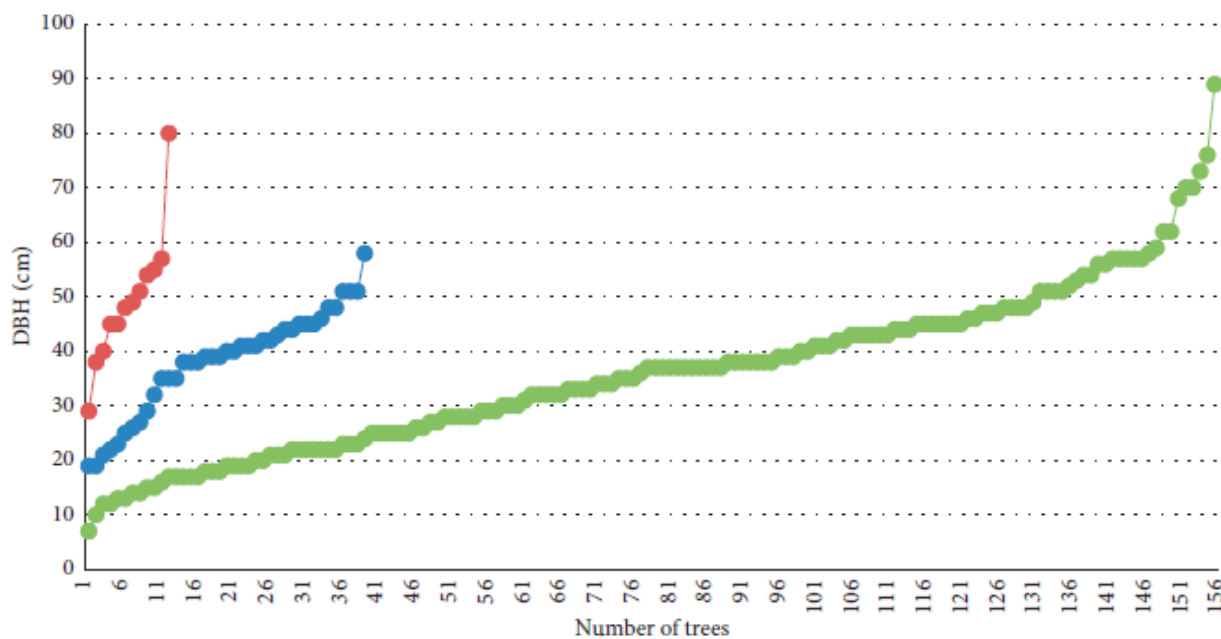


Figure 1 : Répartition de l'état de santé des arbres *F. albida* selon DBH

- Malade
- Morte
- En bonne santé

DBH : Diameter at breast height ou diamètre à hauteur de poitrine

Selon les perceptions évoquées par les communautés locales de notre zone d'étude, il existe trois causes principales de mortalité de *F. albida*: les chenilles défoliantes, les larves de coléoptères trouvées dans les troncs d'arbres morts et la montée des eaux souterraines. Ces causes se comparent

facilement à celles évoquées dans la spirale de [26, 38] qui donne un cadre théorique général où toutes les causes plausibles ont été évoquées avec des liens complexes conduisant au dépérissement et à la mort des arbres. Cette complexité réside dans l'interaction entre les facteurs biotiques (bactéries, champignons, virus, etc.), abiotiques (variabilité climatique, sols, stress hydrique, etc.) et humains (modes d'occupation du paysage, gestion des arbres, etc.) [20, 21]. Les causes mentionnées par les populations concernaient exclusivement les ravageurs et les maladies faisant partie des facteurs de la spirale.



L'analyse de ces causes données par les populations montre qu'elles ne sont que des symptômes visuels des causes, mais des interactions positives ou négatives se créent entre les différents êtres vivants (par exemple, les micro-organismes et les arbres) qui sont parfois invisibles à l'œil nu. Des interactions symbiotiques favorables aux espèces d'arbres dont les canopées de *F. albida* ont été démontrées [13].

Figure 2 : Arbres morts de *F. albida* dans un champ de niébé de la commune de Kiéché.

D'autre part, ceux qui conduisent à la mortalité des espèces d'arbres ont également été signalés. Par exemple, *Fusarium solani* a été signalé dans *Acacia nilotica* au Pakistan [41]. De même, un champignon nommé *Pseudolagarobasidiumacaciicola* a été identifié comme l'agent causal de la mortalité à 100% du peuplement d'*Acacia cyclope* en Afrique du Sud [42]. En revanche, des études menées en Namibie ont montré une mortalité de *F. albida* de 51% du peuplement, qui était liée à la variation du débit de l'eau et à la présence d'espèces envahissantes de *Prosopis* [43]. La première cause corrobore les déclarations des populations locales de notre zone d'étude, tandis que la seconde ne convient pas car *F. albida* est l'espèce dominante et coexiste avec des espèces d'arbres indigènes (non exotiques et envahissantes *Prosopis*) sur les trois sites. En revanche, les auteurs de [4] ont signalé la présence de nématodes et de chenilles défoliantes à l'origine de la mortalité, en particulier des arbres *F. albida*. En définitive, toutes les pistes doivent être explorées pour mieux détecter la maladie et / ou le ravageur de cette espèce dans la zone d'étude.

Tableau 2 : Les effets du dépérissement des arbres *F. albida* sur les rendements céréaliers des principales cultures

Crops	N	Area of farms	Yield before dieback (kg/ha)	Yield with dieback (kg/ha)	Yield reduction (%)	P value
Millet	150	5.17 ± 6.58	386.21 ± 8.92a	241.81 ± 6.38 b	33.03 ± 3.32	<0.01
Cowpea	148	5.16 ± 6.62	634.65 ± 34.90a	334.55 ± 19.75 b	47.84 ± 1.05	<0.01
Sorrel of Guinea	54	6.80 ± 8.25	161.11 ± 11.64a	75.37 ± 7.02 b	52.09 ± 2.028	<0.01
Sorghum	99	5.32 ± 6.30	90.91 ± 20.42a	39.36 ± 9.37 b	55.47 ± 1.75	0.023

N est le nombre de répondants. Les moyennes du rendement de chaque culture avant et avec dépérissement suivi de lettres différentes sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ).

Par conséquent, il est nécessaire de prendre au sérieux le problème du dépérissement pour éviter son expansion vers d'autres zones écologiques, car *F. albida* est une espèce agroforestière importante avec une large distribution dans les zones arides de l'Afrique [44].

## 5. Conclusions

Cette étude a montré que les parcs agroforestiers de Dogondoutchi, dominées par *F. albida*, étaient affectées par le dépérissement. Les arbres *F. albida* dépérissaient, avec un taux d'infestation de 19%



et un taux de mortalité de 6%. Les causes de ce dépérissement sont scientifiquement inconnues. Selon les communautés locales, ce dépérissement a réduit les rendements de leurs principales cultures de 33% à 55%. Pour explorer également les causes du dépérissement des arbres *F. albida*, il est important de prendre en compte les liens de causalité présentés par [27]. Cela implique d'analyser des échantillons prélevés sur des parties d'arbres infestés pour isoler la présence de facteurs biotiques, des échantillons de sol pour la présence plausible de métaux lourds ou de nématodes. Cette étude fournit des informations de terrain sur la dynamique actuelle des parcs agroforestiers du centre sud-ouest du Niger. Ces informations peuvent être utilisées (i) pour que les agriculteurs fassent des efforts pour assurer la régénération de cette espèce dans leur parc agroforestier et (ii) pour que les scientifiques mènent des études approfondies pour identifier les causes réelles de mortalité de *F. albida*, dont les arbres sont régulièrement attaqués, pour tester et identifier des solutions plausibles en collaboration avec les communautés locales.

**Remerciements :** Les auteurs de cet article remercient le World Resources Institute pour le soutien financier qui a permis de réaliser l'enquête, le Ministère de l'Environnement du Niger qui est le point focal de cette étude, et les Directeurs de la Protection des Végétaux, qui ont fourni un appui technique et facilité l'analyse d'échantillons des organes attaqués.

---

## Références

- [1] P. J. Wood, "The botany and distribution of *Faidherbia albida*, in West African semi-arid tropics," in Proceedings of the Workshop, R. J. Vandenbeldt, (Ed.), International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, International Centre for Research in Agroforestry, Niamey, Niger, April 1992.
- [2] APGIII (Angiosperm Phylogeny Group), "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: apg III," Botanical Journal of the Linnean Society, vol. 161, no. 2, pp. 105–121, 2009.
- [3] P. Danthu, B. Hane, P. Sagna, and Y. K. Gassama, "Restoration of rooting competence in mature *Faidherbia albida*, a Sahelian leguminous tree, through serial root sucker micrografting," New Forests, vol. 24, no. 3, pp. 239–244, 2002.
- [4] N. C. Mokgolodi, M. P. Setshogo, L.-l. Shi, Y.-j. Liu, and C. Ma, "Achieving food and nutritional security through agroforestry: a case of *Faidherbia albida* in sub-Saharan Africa," Forestry Studies in China, vol. 13, no. 2, pp. 123–131, 2011.
- [5] Y. K. Gassama-Dia, D. San'è, and M. N'Doye, "Reproductive biology of *Faidherbia albida* (del.) A. Chev. *Silva Fennica*, vol. 37, no. 4, pp. 429–436, 2003.
- [6] O. Roupsard, A. Ferhi, A. Granier et al., "Reverse phenology and dry-season water uptake by *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. in an agroforestry parkland of Sudanese west Africa," Functional Ecology, vol. 13, no. 4, pp. 460–472, 2002.
- [7] A. M. Ibrahim, C. W. Fagg, and S. A. Harris, "Seed and seedling variation amongst provenances in *Faidherbia albida*," Forest Ecology and Management, vol. 97, pp. 197–205, 1997.
- [8] O. G. Dangasuk, P. Seurei, and S. Gudu, "Genetic variation in seed and seedling traits in 12 african provenances of *Faidherbia albida* (del.) A. Chev. At lodwar, Kenya. *Agrofor syst* 37," Agroforestry Systems, vol. 37, no. 2, pp. 133–141, 1997.
- [9] C. Fredrick, C. Muthuri, K. Ngamau, and F. Sinclair, "Provenance variation in seed morphological characteristics, germination and early seedling growth of *Faidherbia albida*," Journal of Horticulture and Forestry, vol. 7, no. 5, pp. 127–140, 2015.
- [10] A. Gachuri, C. Muthuri, J. K. Muriuki, R. H. Jamnadass, and F. Sinclair, "Variations in shoot and root growth of three provenances of *Faidherbia albida* in clay and sand soil," Journal of Forestry Research, vol. 27, no. 1, pp. 59–66, 2016.
- [11] O. Roupsard, H. I. Joly, and E. Dreyer, "Variability of initial growth, water-use efficiency and carbon isotope discrimination in seedlings of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., a multipurpose tree of semi-arid Africa. Provenance and drought effects," *Annales des Sciences Forestières*, vol. 55, no. 3, pp. 329–348, 1998.

- [12] M. Moussa, L. Mahamane, A. Gebrekirstos, and T. Abasse, “Wood anatomy and response to climate variability of *Faidherbia albida* and *Prosopis africana* using dendrochronology in the Sahelian agroforestry parklands,” in *Agroforestry for Degraded Landscapes*, J. C. Dagar, S. R. Gupta, and D. Teketay, Eds., Springer, Singapore, 2020.
- [13] Z. Gnankambary, U. Ilstedt, G. Nyberg, V. Hien, and A. Malmer, “Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical parkland agroforests in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of tree canopy and fertilization,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 40, pp. 350–359, 2009.
- [14] R. M. Kho, B. Yacouba, M. Yay'e et al., “Separating the effects of trees on crops: the case of *Faidherbia albida* and millet in Niger,” *Agroforestry Systems*, vol. 52, no. 3, pp. 219–238, 2001.
- [15] F. Faye, T. Krasova-Wade, M. Thiao et al., “Controlled ectomycorrhization of an exotic legume tree species *Acacia holosericea* affects the structure of root nodule bacteria community and their symbiotic effectiveness on *Faidherbia albida*, a native Sahelian *Acacia*,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 41, no. 6, pp. 1245–1252, 2009.
- [16] G. W. Sileshi, “The magnitude and spatial extent of influence of *Faidherbia albida* trees on soil properties and primary productivity in drylands,” *Journal of Arid Environments*, vol. 132, pp. 1–14, 2016.
- [17] A. Takimoto, V. D. Nair, and P. K. R. Nair, “Contribution of trees to soil carbon sequestration under agroforestry systems in the West African Sahel,” *Agroforestry Systems*, vol. 76, no. 1, pp. 11–25, 2008.
- [18] J. T. Thomson, *Schéma d'analyse des incitations institutionnelles dans le domaine de la foresterie communautaire*, FAO, Rome, Italy, 1994.
- [19] V. Jurskis, “Eucalypt decline in Australia, and a general concept of tree decline and dieback,” *Forest Ecology and Management*, vol. 215, no. 1–3, pp. 1–20, 2005.
- [20] P. Gonzalez, C. J. Tucker, and H. Sy, “Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate,” *Journal of Arid Environments*, vol. 78, pp. 55–64, 2012.
- [21] T. Paap, N. C. Brouwers, T. I. Burgess et al., “Importance of climate, anthropogenic disturbance and pathogens (*Quambalaria coccolophylla* and *Phytophthora* spp.) on marri (*Corymbialcalophylla*) tree health in southwest Western Australia,” *Annals of Forest Science*, vol. 74, p. 62, 2017.
- [22] D. C. Close and N. J. Davidson, “Review of rural tree decline in a changing Australian climate,” *Tasforests*, vol. 15, pp. 1–18, 2004.
- [23] S. J. Sapsford, T. Paap, G. E. S. J. Hardy, and T. I. Burgess, “The “chicken or the egg”: which comes first, forest tree decline or loss of mycorrhizae?” *Plant Ecology*, vol. 218, no. 9, pp. 1093–1106, 2017.
- [24] J. Fischer, A. Zerger, P. Gibbons, J. Stott, and B. S. Law, “Tree decline and the future of Australian farmland biodiversity,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 45, pp. 19597–19602, 2010.
- [25] K. Sherren, J. Fischer, H. Clayton, A. Hauldren, and S. Dovers, “Lessons from visualising the landscape and habitat implications of tree decline and its remediation through tree planting in Australia's grazing landscapes,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 103, no. 2, pp. 248–258, 2011.
- [26] G. Whyte, K. Howard, G. E. S. J. Hardy, and T. I. Burgess, “The Tree Decline Recovery Seesaw: a conceptual model of the decline and recovery of drought stressed plantation trees,” *Forest Ecology and Management*, vol. 370, pp. 102–113, 2016.
- [27] P. D. Manion, *Tree Disease Concepts*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 2nd edition, 1991.
- [28] R. Mrkva, “Ochrana lesa: ekologické pojetí a rozvoj [Forest protection. Ecological conception and development],” *Lesnictví - Forestry*, vol. 39, pp. 357–364, 1993.
- [29] J. C. Weber and C. Sotelo Montes, “Correlations and clines in tree growth and wood density of *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile provenances in Niger,” *New Forests*, vol. 39, no. 1, pp. 39–49, 2010.
- [30] G. Jean-Michel, H. Bernard, and R. Ren'e, “Dogondoutchi, petit centre urbain du Niger,” *Journal Alp Res/R'évG'éo Alp*, vol. 56, no. 2, pp. 297–358, 1968.



- [31] B. Leduc and S. P. John, "Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate: some results of the HAPEX-Sahel hydrodynamic survey (Niger)," *Journal of Hydrology*, vol. 188-189, pp. 123–138, 1997.
- [32] M. Badji, D. Sanogo, and L. E. Akpo, "Dynamique de la végétation ligneuse des espaces sylvo-pastoraux villageois mis en défens dans le Sud du Bassin arachidier au Sénégal," *Bois For Trop*, vol. 319, no. 1, pp. 43–52, 2014.
- [33] M. Larwanou and M. Saâdou, "The role of human interventions in tree dynamics and environmental rehabilitation in the Sahel zone of Niger," *Journal of Arid Environments*, vol. 75, no. 2, pp. 194–200, 2011.
- [34] A. Thiombiano, K. R. Gl'el'e, P. Bayen, J. I. Boussim, and A. Mahamane, "Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'Ouest : état des lieux et propositions pour une harmonisation," *Artificial Neural Network Science Agriculture*, vol. 19, pp. 15–23, 2015.
- [35] J. Rondeux and C. Sanchez, "Review of indicators and field methods for monitoring biodiversity within national forest inventories," *Core Variable: Deadwood. Environ Monit Assess*, vol. 164, pp. 617–630, 2012.
- [36] R. D. Weir, M. Phinney, and E. C. Lofroth, "Big, sick, and rotting: why tree size, damage, and decay are important to Fisher reproductive habitat," *Forest Ecology and Management*, vol. 265, pp. 230–240, 2012.
- [37] S. M. Gleason, M. Westoby, S. Jansen et al., "Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species," *New Phytologist*, vol. 209, no. 1, pp. 123–136, 2016.
- [38] R. Rakotomalala, "Comparaison de populations Tests paramétriques. Version 1.2," *Université Lumière Lyon*, vol. 2, p. 109, 2013.
- [39] J. Holuřsa, "Health condition of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. stands in the Beskid Mts," *Dendrobiology*, vol. 51, pp. 11–15, 2004.
- [40] M. Moussa, A. Tougiani, R. Habou, and M. Larwanou, "Seasonal variation and modeling of leaf area growth in *Jatropha curcas* L. plants: implication for understanding the species adaptation in the Sahel of Niger," *African Journal of Plant Science*, vol. 14, no. 6, pp. 205–212, 2020.
- [41] A. Javaid and N. Akhtar, "Kikar (*Acacia nilotica*) dieback in the Punjab, Pakistan," *Pakistan Journal of Phytopathology*, vol. 18, no. 2, pp. 161–165, 2006.
- [42] D. Ward and C. Rohner, "Anthropogenic causes of high mortality and low recruitment in three *Acacia* tree taxa in the Negev desert, Israel," *Biodiversity and Conservation*, vol. 6, no. 6, pp. 877–893, 1997.
- [43] C. M. S. Douglas, M. Mulligan, X. A. Harrison, J. R. Henschel, N. Pettoirelli, and G. Cowlshaw, "Widespread dieback of riparian trees on a dammed ephemeral river and evidence of local mitigation by tributary flows," *PeerJ*, vol. 4, p. e2622, 2016.
- [44] F. Garrity, K. Akinnifesi, O. C. Ajayi et al., "Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa," *Food Secu*, vol. 2, pp. 197–214, 2016.