BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE

Rôle des ruminants dans la régénération par graines chez le Prunier d'Afrique (*Sclerocarya birrea* (A.Rich.) Hochst., *Anacardiaceae*)

Fatimata Anna Diallo[1]*, Boukary Ousmane Diallo[1], Abdoulazize Sandwidi[2], Inoussa Compaoré[3], Pauline Bationo-Kando[4]

1. Centre national de la recherche scientifique et technologique, Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Département Environnement et Forêt, BP 7047 Ouaga 03, Burkina Faso

2. Université Thomas Sankara, 12 BP 417 Ouagadougou 12, Burkina Faso

3. Université Nazi Boni, Institut de développement rural, Laboratoire de recherche et de formation en Pêche et Faune, 01 BP 1091 Bobo Dioulasso 01, Burkina Faso

4. Université Joseph Ki-Zerbo, Unité de formation et de recherche en sciences de la vie et de la terre, Laboratoire de génétique et de biotechnologie végétales, 09 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

* Auteur correspondant : annadiallofat@gmail.com

Rôle des ruminants dans la régénération par graines chez le Prunier d'Afrique (*Sclerocarya birrea* (A.Rich.) Hochst., *Anacardiaceae*)

La déprédation des graines par les rongeurs et l'herbivorie expliquent la faible régénération de *Sclerocarya birrea*. L'étude évalue l'impact de la pâture et du transit ruminal sur les indicateurs de la régénération. Une population pâturée est comparée à une non pâturée. Quatre traitements sont comparés : T1, fruits ; T2, graines dépulpées sous l'eau ; T3, graines rejetées pendant la rumination ; T4, graines nues sous les arbres. La pâture affecte la croissance aérienne et les taux de survie des plantules. Le transit ruminal protège les graines contre la déprédation, améliore la levée et la croissance des plantules.

Role of grazers in the re-seeding of the marula tree (*Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., *Anacardiaceae*)

The depredation of seeds by rodents and herbivores explains the poor regeneration of *Sclerocarya birrea*. This study evaluates the impact of grazing and ruminal digestion on signs of regeneration. A grazed population is compared to an ungrazed one. Four treatments are compared: fruits (T1), seeds pulped under water (T2), seeds rejected during grazing (T3), and bare seeds under trees (T4). Grazing affects the aerial growth and survival rate of the seedlings. Ruminal digestion protects the seeds from depredation, and improves seedling emergence and growth.

Messages clés :

- Le transit ruminal a un effet de protection des graines de *Sclerocarya birrea* contre la déprédation par les rongeurs.
- La pâture des ruminants assure la survie générationnelle des plantules à l'intérieur des forêts.

Mots clés : *Sclerocarya birrea*, ruminants, régénération, déprédation, pâture

Highlights:

- Ruminal digestion protects *Sclerocarya birrea* seeds from depredation by rodents.
- Ruminant grazing ensures the generational survival of seedlings in forests.

Keywords: *Sclerocarya birrea*, ruminants, regeneration, depredation, grazing

Citation de l'article : Diallo, F. A., Diallo, B. O., Sandwidi, A., Compaoré, I. et Bationo-Kando, P. (2024). Rôle des ruminants dans la régénération par graines chez le Prunier d'Afrique (*Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., *Anacardiaceae*). *Revue forestière française*, 75(3), 207-221. https://doi.org/10.20870/revforfr.2024.8336

Licence Creative Commons
Attribution - 4.0 International (CC BY 4.0)

Au Sahel, les ressources phytogénétiques ont été intégrées dans les programmes nationaux du secteur rural (Diallo *et al*., 2020). C'est ainsi que les fruitiers locaux sont devenus un nouveau levier de développement. En l'absence des plantations de production, la gestion *in situ* des peuplements constitue l'approche la plus répandue pour pérenniser l'approvisionnement en fruits. Cependant, la méconnaissance des interactions biologiques, à l'intérieur des forêts primaires, limite le choix du mode de gestion à appliquer aux populations spontanées. Il faut noter qu'en zone semi-aride la stratégie de mise en défens est considérée comme la forme la plus appropriée pour restaurer et maintenir le couvert végétal (Khalid *et al.*, 2015). Cette approche exclut la présence du bétail dans les écosystèmes forestiers. Pourtant, en conditions d'élevage extensif, les forêts constituent la plus grande réserve fourragère *in situ* pour le cheptel, particulièrement pour les ruminants domestiques tels que les bovins, les ovins et les caprins (Bognounou *et al*., 2004 ; Dione *et al*., 2020). De plus, les forêts sahéliennes et soudaniennes sont pâturées depuis fort longtemps par le bétail et les ongulés sauvages tels que les antilopes, les buffles et les éléphants (Tybirk, 1991). Parmi ces animaux, les ruminants constituent l'effectif le plus important (Delibes *et al*., 2019). De ce fait, il est probable que certaines espèces fourragères aient établi à travers leur fructification des relations de mutualisme avec les ruminants au cours de l'évolution. Toutefois, la nature et le degré d'un tel mutualisme sont inconnus. Une chose est pourtant sûre : ces plantes fructifient à un moment de l'année (saison sèche) où la disponibilité fourragère en herbe des pâturages est très faible (De Bie *et al*., 1998 ; Sanon *et al*., 2007 ; Zampaligré *et al*., 2020). À cette période, la consommation des fruits permet aux ruminants d'équilibrer leur régime alimentaire. Sarr *et al*. (2014) ainsi que Diallo *et al*. (2014) notent que le cycle de reproduction de ces espèces végétales est calé sur une période où la probabilité de dispersion des graines, donc des flux des gènes par les ruminants, est très élevée. Poissonnet (2002) et Diallo *et al.* (2012) soulignent que, dans les aires intégralement protégées et les forêts périurbaines où les ruminants sauvages ont disparu, la régénération naturelle par graines de certains fruitiers est compromise. En effet, les auteurs notent que les valeurs numériques de la banque de semences au sol, les taux de levée et de survie ainsi que de la croissance des plantules sont faibles. Or, celles-ci sont les indicateurs de performance de la régénération naturelle par graines. Malgré cette situation, le rôle des ruminants est mal perçu dans les processus de la régénération naturelle à l'intérieur des forêts.

Pour mettre en évidence le rôle des ruminants dans les processus de la régénération séminale, l'approche de l'impact de la pâture du bétail et celui du transit ruminal des graines chez les ovins et les caprins a été utilisée. Pour cela, *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., appelé Prunier d'Afrique, a été choisi comme espèce végétale modèle (photo 1). C'est une espèce des savanes et des steppes, endémique à l'Afrique, qui est introduite aujourd'hui dans certaines zones méditerranéennes. Elle appartient à la famille des *Anacardiaceae* (Hall *et al*., 2002 ; Arbonnier, 2009). On trouve le Prunier d'Afrique dans les forêts spontanées et dans les parcs agroforestiers. Selon Soloviev *et al*. (2004), Faye *et al*. (2011) et Bationo-Kando *et al*. (2016), ses fruits (drupes) offrent des potentialités économiques. C'est également un fruitier fourrager à travers la pulpe de ses fruits. Les graines sont disséminées d'abord par barochorie puis par endozoochorie. En effet, les fruits qui tombent par gravité (barochorie) sont consommés par les ruminants, au même titre que les primates et les éléphants qui assurent par la suite la dissémination des graines (endozoochorie). Celles-ci sont rejetées lors de la rumination ou de la défécation (Corlett, 1998 ; Hall, 2008 ; Bationo-Kando *et al*., 2012, Delibes *et al*., 2019). Cependant, notons que les amandes des graines et les plantules au premier stade sont consommées par les rongeurs. Selon Diallo *et al*. (2006), cette déprédation des graines qui se fait sous forme d'extraction de l'amande, porteuse du matériel héréditaire, diminue le potentiel de régénération par graines au sein des populations.



Photo 1 | Arbre de *Sclerocarya birrea*
© F. A. Diallo

L'objectif de cette étude est d'expliquer comment la pâture et le transit ruminal des graines peuvent affecter les indicateurs de la régénération séminale chez le Prunier d'Afrique (*Sclerocarya birrea*).

La pâture et le transit ruminal des graines joueraient un rôle majeur sur les indicateurs du succès de la régénération séminale selon quatre hypothèses :

— le transit des graines par le rumen les protègerait contre la déprédation par les rongeurs ;
— la pâture et le transit ruminal des graines auraient un impact sur les caractéristiques de la levée des plantules ;
— la pâture et le transit ruminal des graines accéléreraient la croissance aérienne des plantules ;
— la pâture et le transit ruminal des graines amélioreraient le taux de survie des plantules.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

- **Sites de collecte des fruits et des graines**

Pour mener cette étude, deux populations dans la zone nord soudanienne (Thiombiano *et al.,* 2010) et distantes de 25 km ont été choisies.

Une population, notée P1, dans la forêt classée de Gonsé (14° 06′ N ; 04° 26′ O) est située à 25 km à l'est de Ouagadougou (figure 1a). Cette population se caractérise par des arbres à génération chevauchante avec un recrutement de jeunes plantules observables. Cette forêt abrite quelques ruminants sauvages tels que les ourébis ainsi que des rongeurs comme les écureuils, les lièvres et les rats. Les éléphants et les primates sont absents de ce contexte. De plus, malgré son statut juridique, la forêt classée de Gonsé a toujours été ouverte à la pâture contrôlée par les ruminants domestiques. Sept troupeaux mixtes de 30 têtes en moyenne constitués de bovins, d'ovins et de caprins ont été recensés dans les zones riveraines de la forêt. Afin d'éviter le surpâturage, l'accès à la pâture se fait par alternance à raison d'un passage tous les deux jours par troupeau entre 7 h et 17 h GMT.

Une population, notée P2, est située dans le parc botanique du Centre national de recherche scientifique et technologique (CNRST) (figure 1b) où les ongulés sau-

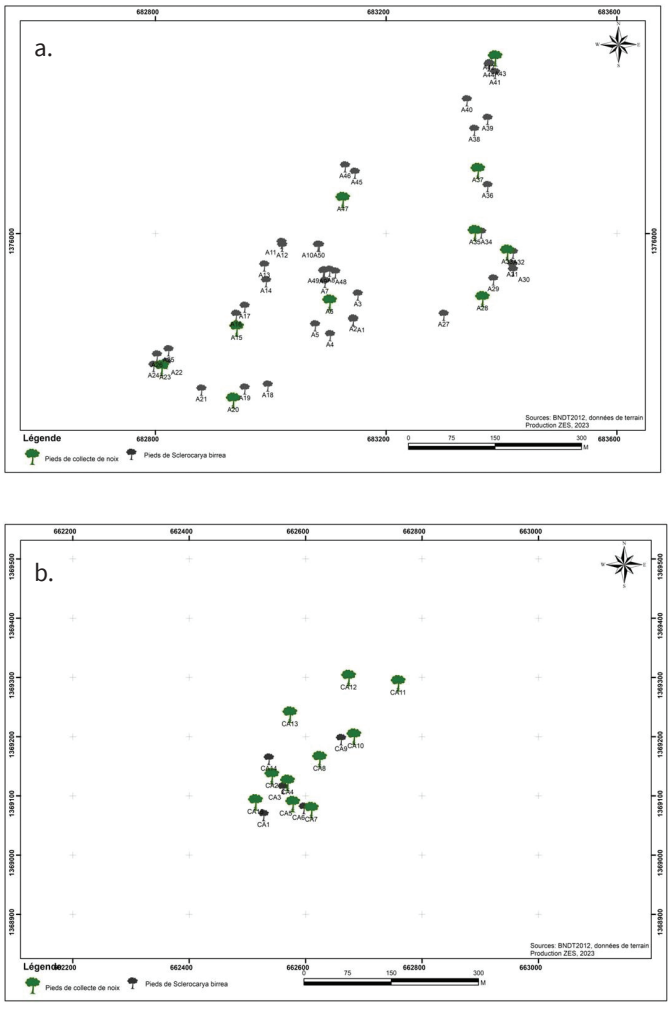


Figure 1a et b | Cartographie des populations P1 et P2

a. Population P1 de la forêt pâturée avec quelques ongulés (Forêt classée de Gonsé).

b. Population P2 de la forêt non pâturée sans ongulés (Parc botanique du CNRST).

© F. A. Diallo, A. Sandwidi

vages ont disparu depuis longtemps. Ce parc, qui se trouve à l'intérieur de la ville de Ouagadougou, a été clôturé en 1952, empêchant tout échange de matériel génétique avec l'extérieur à travers la pâture du bétail. Ce parc reste à ce jour le seul parc clôturé accessible et abritant une population du Prunier d'Afrique. La population isolée de ce parc se caractérise actuellement par des arbres adultes. L'entretien avec les populations autochtones riveraines situe l'âge de ces arbres entre 60 et 75 ans. Le recrutement des plantules est quasi inexistant. Néanmoins, on note la présence de quelques plantules sous les arbres pendant la saison des pluies qui dure de juin à septembre. La plupart de ces plantules disparaissent en novembre, en début de saison sèche.

- **Sites d'expérimentation**

Les tests sur la déprédation ont été menés dans la forêt classée de Gonsé et dans les champs à la lisière de la forêt.

Les tests de levée ont été réalisés à la pépinière expérimentale du Département Environnement et Forêts (12° 25' N ; 01° 28' O). Elle est située à proximité du barrage de Ouagadougou qui lui procure un environnement climatique relativement doux avec une température moyenne journalière de 25 à 30 °C. Le couvert végétal rappelle celui des forêts galeries soudaniennes.

- **Matériel biologique**

Dans la présente étude, les couples ruminants domestiques/graines de *Sclerocarya birrea* et rongeurs/graines de *Sclerocarya birrea* ont été utilisés comme modèles biologiques. L'intérêt de ce choix repose sur le fait que les fruits de *Sclerocarya birrea* sont consommés par les ruminants. Les amandes de ses graines sont consommées par les rongeurs tels que les écureuils, les lièvres et les rats. Cette consommation se fait sous forme d'extraction de l'amande qui laisse la coque vide (photo 2).



Photo 2 | Coques vides des graines du Prunier d'Afrique ramassées sous les arbres
© F. A. Diallo

Méthode

- **Effet protecteur du rumen contre la déprédation des graines : collecte des données et dispositif expérimental**

Pour tester l'effet protecteur du rumen contre la déprédation des graines, un total de 900 fruits et 300 graines déjà dépulpées a été ramassé « en vrac » sous plusieurs arbres de la population P1 (zone pâturée avec ruminants domestiques) en mars 2021. Les fruits ont été par la suite répartis en trois lots de 300. Ces trois lots ont subi chacun un traitement (photo 3a-d) :

— T1 : graines non dépulpées (fruits entiers). Il s'agit du témoin absolu de l'essai ;

— T2 : graines dépulpées manuellement sous l'eau. Ces graines sont recouvertes de fibres d'aspect duveteux ;

— T3 : graines issues des fruits digérés par les petits ruminants (chèvres et moutons) dans deux enclos à bétail situés près de la forêt classée de Gonsé. Ces animaux ont été maintenus en stabulation pendant 48 heures. Les graines ont été récupérées après leur rejet lors de la rumination (photo 4). Ces graines qui ont perdu leurs fibres sont recouvertes de débris végétaux et dégagent une odeur de fumier ;

— en plus des trois traitements précédents, un quatrième traitement noté T4 a été constitué à partir des 300 graines ramassées sous les arbres. Ces graines, d'éclat sombre, ont totalement perdu leurs fibres. Elles sont recouvertes de substances organiques du sol.

Il faut noter que la déprédation des graines est nocturne. Les rongeurs quittent leurs gîtes et se dispersent à travers le terroir agroforestier à la recherche de leur nourriture.

Ainsi, pour les tests de déprédation des graines, celles-ci ont été déposées dans trois types de milieu (figure 2a-c) en avril 2021, avant la saison des pluies. Ceux-ci se caractérisent par des degrés d'ouverture croissant. Le milieu fermé, codé MA, est une végétation spontanée continue non défrichée où se trouvent les gîtes des rongeurs (fourré, terrier, arbrisseaux). Le milieu semi-fermé, codé MB, est un îlot de broussaille à l'intérieur d'un champ où il n'existe que très peu de gîtes de rongeurs. Le milieu ouvert, codé MC, est un espace champêtre où il n'existe pas de gîtes de rongeurs.

Dans chaque milieu, trois zones distantes les unes des autres d'environ 50 m ont été choisies pour constituer les répétitions de chaque milieu. Dans chaque zone, 33 ou 34 graines ont été réparties. Chaque zone a été protégée avec du grillage à grandes mailles pour ne laisser passer que des animaux de la taille des rongeurs. Pour mettre en exergue l'effet du facteur traitement sur la déprédation des graines, le facteur milieu est considéré comme des blocs aléatoires. De ce fait, le croisement des milieux

T1



T2



T3



T4



Photo 3a-d l Aspect des graines des trois traitements et des fruits entiers
a. T1 : fruits entiers. b. T2 : graines dépulpées sous l'eau.
c. T3 : graines rejetées lors de la rumination. d. T4 : graines nues ramassées sous les arbres.
© F. A. Diallo

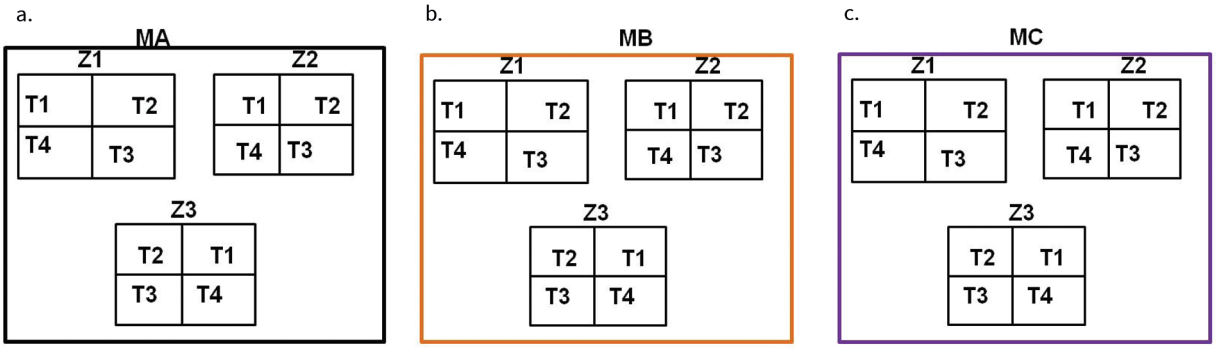


Photo 4 l Rejet des graines de *Sclerocarya birrea* par les caprins pendant la rumination
© F. A. Diallo

Figure 2a-c | Dispositif expérimental sur la déprédation des graines

a. MA : végétation spontanée continue non défrichée.
b. MB : îlot de broussaille à l'intérieur d'un champ.
c. MC : espace champêtre ; $Z_{n\,(1\text{-}3)}$: zone.
Traitements : T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées dans l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres.

© F. A. Diallo



avec les trois zones donne un total de 9 répétitions pour chaque traitement.

Durant un mois, à raison d'un passage par jour, les graines intactes restantes ont été comptées et notées. Ceci a permis de calculer la variable taux de déprédation des graines par les rongeurs (Td) (en %) qui est le rapport de la différence entre le nombre total des graines déposées et le nombre de graines intactes restantes sur le nombre total des graines déposées.

- **Effet de la pâture et du transit ruminal des graines sur la levée, la croissance et la survie des plantules : collecte des données et dispositif expérimental**

Pour conduire les tests de levée, de croissance et de survie des plantules, au sein de chaque population P1 et P2, 600 fruits et 200 graines déjà dépulpées ont été ramassées « en vrac » sous 10 arbres en mai 2021. Les 600 fruits de chaque population ont été répartis en trois lots de 200. Ces lots ont subi les mêmes traitements que ceux appliqués aux tests de déprédation. Un autre traitement noté T4 a été constitué à partir des 200 graines déjà dépulpées et ramassées sous les mêmes arbres de chaque population. Ainsi, pour le dispositif (figure 3), le croisement des quatre traitements avec les deux populations donne un total de huit modalités.

Sur les 200 graines de chaque modalité, 100 graines choisies au hasard ont été semées en mai 2021. Ces semis ont été effectués dans des conteneurs en polyéthylène à raison d'une graine par conteneur. Afin d'éviter les attaques des rongeurs, les conteneurs ont été montés sur des châssis (photo 5). Chaque châssis contient une modalité de

Figure 3 | Dispositif expérimental des semis en pépinière

Populations : P1 : population pâturée (Forêt classée de Gonsé) ; P2 : population non pâturée (Parc botanique du CNRST).

Traitements : T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées sous l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres ; $R_{n\,(1\text{-}2)}$: répétions.

© F. A. Diallo

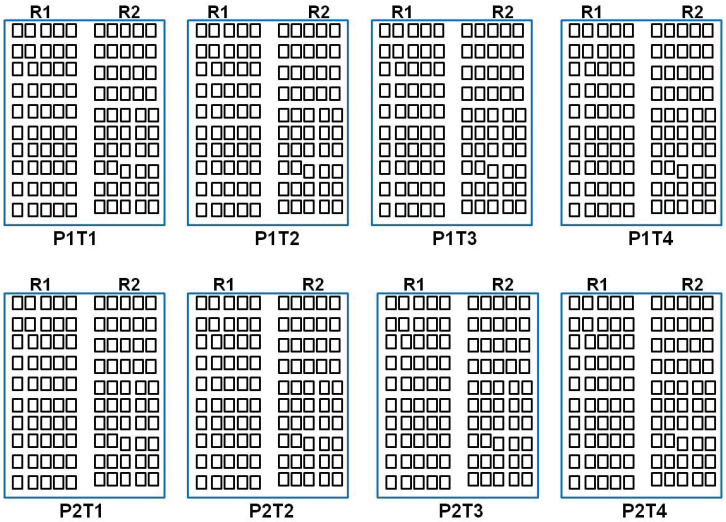




Photo 5 | Conteneur en polyéthylène monté sur des châssis : cas du traitement P1T1
© F. A. Diallo

100 graines réparties en deux répétitions de 50 graines chacune. De façon à éviter tout risque de dessiccation, les semis ont été régulièrement arrosés (une fois par jour tôt le matin) sauf en cas de pluie.

Pour évaluer l'impact de la pâture et celui du transit ruminal des graines sur les caractéristiques de la levée, des suivis quotidiens ont été effectués pour chaque modalité jusqu'au 60e jour après semis.

Au cours de ce suivi, la date de la première levée, celle de la dernière levée et le nombre de levées ont été notés. Ceci a permis de déterminer la stratégie de levée en comparant deux variables : la durée de l'étalement de la levée (El) qui est le nombre de jours qui sépare la date de la première levée et celle de la dernière levée ; le délai de 80 % de la levée (L80) qui est le nombre de jours qui sépare la date de la première levée et la date où 80 % de la levée totale est obtenu.

Deux variables ont également été calculées : le délai de la première levée (Dl), qui est le nombre de jours qui sépare la date de semis et la date d'apparition de la première plantule ; le taux de levée (Tl) (en %), qui est le rapport du nombre de plantules apparues sur le nombre total de graines semées.

Pour évaluer l'impact de la pâture et celui du transit ruminal sur les variables de croissance aérienne des plantules (hauteur de la tige [Ht] et diamètre au collet [Dc]), 90 jours après semis, des mesures ont été effectuées sur 30 plantules par modalité.

Pour évaluer leur impact sur la survie des plantules, le nombre d'individus présents à la dernière observation a été noté, 180 jours après semis, ce qui correspond au début de la saison sèche. La variable taux de survie (Ts) (en %), qui est le nombre de plantules restantes sur le nombre total de levées, a été calculée pour chaque modalité.

- **Traitements statistiques des données**

Des tests de normalité des données ont été appliqués à chaque variable. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée sur celles qui suivent une loi normale. Pour les variables présentant une différence statistique significative, des comparaisons de moyenne des deux populations et des quatre traitements ont été effectuées par le test de Tukey au seuil de 5 %.

RÉSULTATS

Impact du transit ruminal sur la déprédation des graines par les rongeurs

Le traitement et le milieu ont un effet significatif sur le taux de déprédation des graines (Td). Il existe également une interaction significative entre le facteur milieu et le facteur traitement (tableau 1).

Les déprédations les plus élevées se font sur les graines du traitement T4 (graines nues ramassées sous les arbres) et les plus faibles sur les graines des traitements T3 (graines rejetées lors de la rumination) et T1 (fruits entiers, témoin). Le traitement T2 (graines dépulpées sous l'eau) occupe une position intermédiaire (figure 4a).

Tableau 1 | Résultats de l'analyse de variance sur les taux de déprédation des graines par les rongeurs

Source	Variable	Degré de liberté	Statistique	Probabilité
Milieu	Td	2	17,88	0,029*
Traitement	Td	3	39,79	0,0001***
Milieu X Traitement	Td	6	55,73	0,0001***

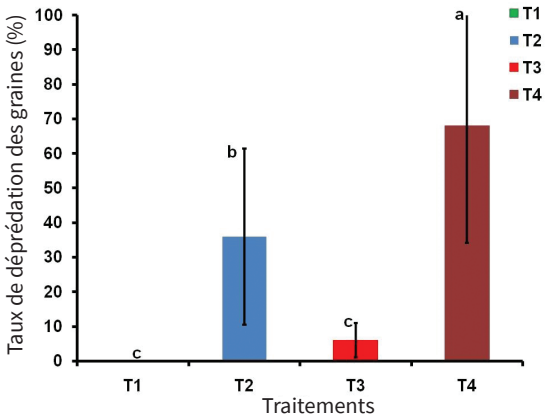
Td : Taux de déprédation des graines (%)
* : significatif au seuil de 5 % ; ** : significatif au seuil de 1 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 %

Figure 4a et b | Taux de déprédation des graines par traitement (a.) et par milieu (b.)
Traitements : T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées sous l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres.

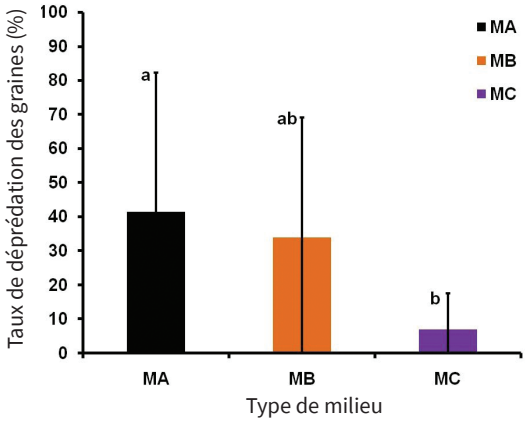
Milieux : MA : végétation spontanée continue non défrichée ; MB : îlot de broussaille à l'intérieur d'un champ ; MC : espace champêtre. Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

© F. A. Diallo

a.



b.



Concernant l'effet du milieu, l'intensité de la déprédation des graines décroît du milieu fermé (MA) au milieu ouvert (MC) (figure 4b).

Impact de la pâture et du transit ruminal des graines sur les caractéristiques de la levée

Les graphiques ci-contre (figure 5a et b) présentent les courbes de levée des différents traitements au sein des populations P1 (zone pâturée par les animaux domestiques) et P2 (parc fermé sans ongulés). Sur ces courbes sont projetées les dates de début de levée, de 80 % de levée et de fin de levée des plantules pour chaque traitement. À l'échelle de la population, la levée s'étale entre 19 et 24 jours pour P1 et entre 15 et 21 jours pour P2.

Le tableau ci-contre (tableau 2) montre les résultats des analyses de variance des variables délai de levée (Dl), étalement de la levée (El), délai de 80 % de levée (L80) et taux de levée des plantules (Tl).

Il ressort que, quelle que soit la variable considérée, il n'y a pas d'interaction significative entre le facteur population et le facteur traitement.

Pour le facteur population, il n'y a pas de différences entre P1 et P2 pour les quatre variables. Pour le facteur traitement, l'analyse de variance présente des différences entre les traitements pour les variables délai de levée (Dl) et taux de levée (Tl) des plantules. À l'inverse, il n'y a pas de différences entre les traitements pour les variables étalement de la levée (El) et délai de 80 % (L80) de levée.

Concernant le délai de la première levée (D1) et le taux de levée des plantules (T1), tous les traitements, excepté le témoin (T1), avancent la date de la première levée d'environ 10 jours (tableau 3).

Figure 5a et b | Courbes de levées en fonction des traitements

a. P1 : population pâturée (Forêt classée de Gonsé).
b. P2 : population non pâturée (Parc botanique du CNRST).

Traitements : T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées sous l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres.

© F. A. Diallo

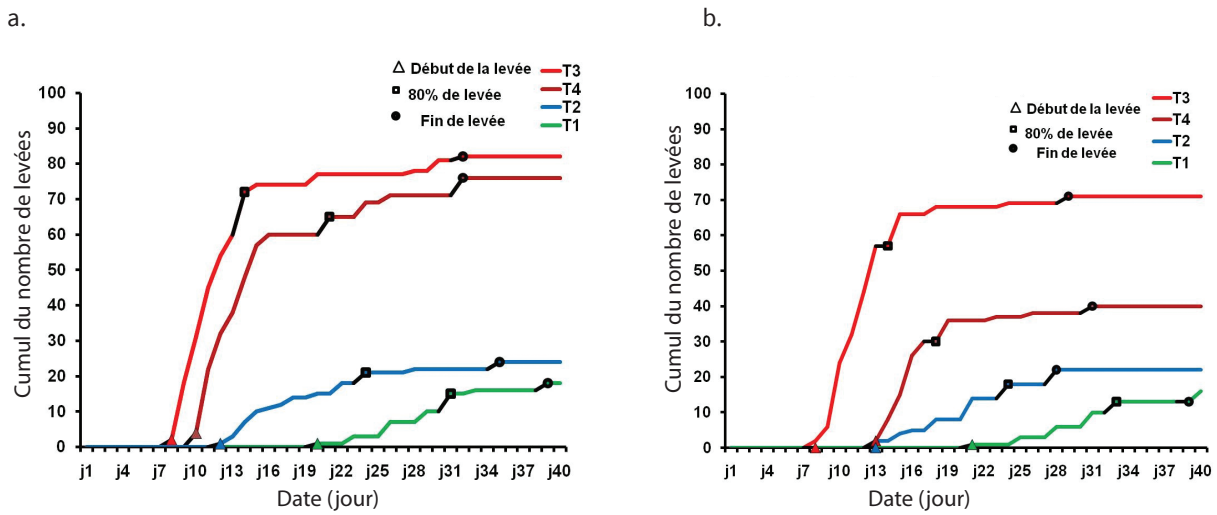


Tableau 2 | Résultats de l'analyse de variance sur les variables de la caractéristique de levée des plantules

Source	Variables	Degré de liberté	Statistique	Probabilité
Population	Dl	1	0,11	0,751 ns
	El	1	4,06	0,064 ns
	L80	1	0,28	0,608 ns
	Tl	1	0,77	0,396 ns
Traitement	Dl	3	19,99	0,0001***
	El	3	0,74	0,549 ns
	L80	3	2,37	0,122 ns
	Tl	3	13,68	0,0001***
Population X Traitement	Dl	3	0,23	0,876 ns
	El	3	0,86	0,499 ns
	L80	3	0,56	0,654 ns
	Tl	3	1,47	0,295 ns

Dl : délai de la première levée ; El : étalement de la levée des plantules ; L80 : délai de levée de 80 % de germination ; Tl : taux de levée des plantules
ET : écart-type ; ns : non significatif ; * : significatif au seuil de 5 % ; ** : significatif au seuil de 1 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 %

Pour les taux de levée, ils sont 3 à 4 fois supérieurs pour les graines rejetées lors de la rumination (T3) et les graines ramassées sous les arbres (T4) que pour les graines dépulpées sous l'eau (T2) et les fruits entiers (T1, témoin) (tableau 3).

Impact de la pâture et du transit ruminal sur la croissance aérienne et la survie des plantules

Il ressort qu'il y a une interaction significative entre le facteur population et le facteur traitement en ce qui concerne les variables de croissance (Ht et Dc). À l'inverse, il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs sur la variable taux de survie (Ts) (tableau 4).

Toutefois, il faut noter que la population d'origine influence significativement la hauteur (Ht), le diamètre au collet de la tige (Dc) et le taux de survie des plantules (Ts) (tableau 4). Concernant l'effet du traitement, seule la hauteur est influencée par celui-ci (tableau 4).

Pour les variables Ht (figure 6a) et Dc (figure 6b), les plantules issues de la forêt classée pâturée de Gonsé (P1) ont une croissance moyenne respectivement supérieure de 27 %, 23 % et 28 % à celle du parc botanique du CNRST non pâturé (P2). Cette différence est également observée sur le taux de survie des plantules avec un taux de P1 supérieur de 88 % à celui de P2 (figure 6c).

Les plantules issues des graines rejetées lors de la rumination (T3) et les graines ramassées sous les arbres (T4) sont plus grandes que celles issues des graines dépulpées sous l'eau (T2) et des fruits entiers (T1, témoin) (figure 7).

Tableau 3 | Comparaison des moyennes des traitements sur les variables de la caractéristique de levée des plantules

Traitements	Délai de la première levée	Traitements	Taux de levée des plantules
T1	20,5a ± 1,91	T3	76,5a ± 22,2
T2	12,5b ± 1,91	T4	58,0a ± 20,8
T4	11,5b ± 3,11	T2	23,00b ± 3,46
T3	8b ± 2,31	T1	17,00b ± 2,58

± Écart-type ; T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées sous l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres
Les moyennes sur une colonne portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Tableau 4 | Résultats de l'analyse de variance sur les variables de la croissance aérienne et du taux de survie des plantules

Source	Variables	Degré de liberté	Statistique	Probabilité
Population	Ht	1	53,17	0,0001***
	Dc	1	79,29	0,0001***
	Ts	1	11,6	0,004**
Traitement	Ht	3	17,9	0,0001***
	Dc	3	0,68	0,567 ns
	Ts	3	0,85	0,493 ns
Population X Traitement	Ht	3	10,98	0,0001***
	Dc	3	16,43	0,0001***
	Ts	3	3,90	0,061 ns

Dc : diamètre au collet ; Ht : hauteur de la tige ; Ts : taux de survie
ET : écart-type ; ns : non significatif ; * : significatif au seuil de 5 % ; ** : significatif au seuil de 1 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 %

Figure 6a-c | Comparaison des moyennes des populations

a. Hauteur moyenne des plantules.
b. Diamètre au collet de la tige des plantules.
c. Taux de survie des plantules.
Populations : P1 : population pâturée (Forêt classée de Gonsé) ; P2 : population non pâturée (Parc botanique du CNRST).
Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
© F. A. Diallo

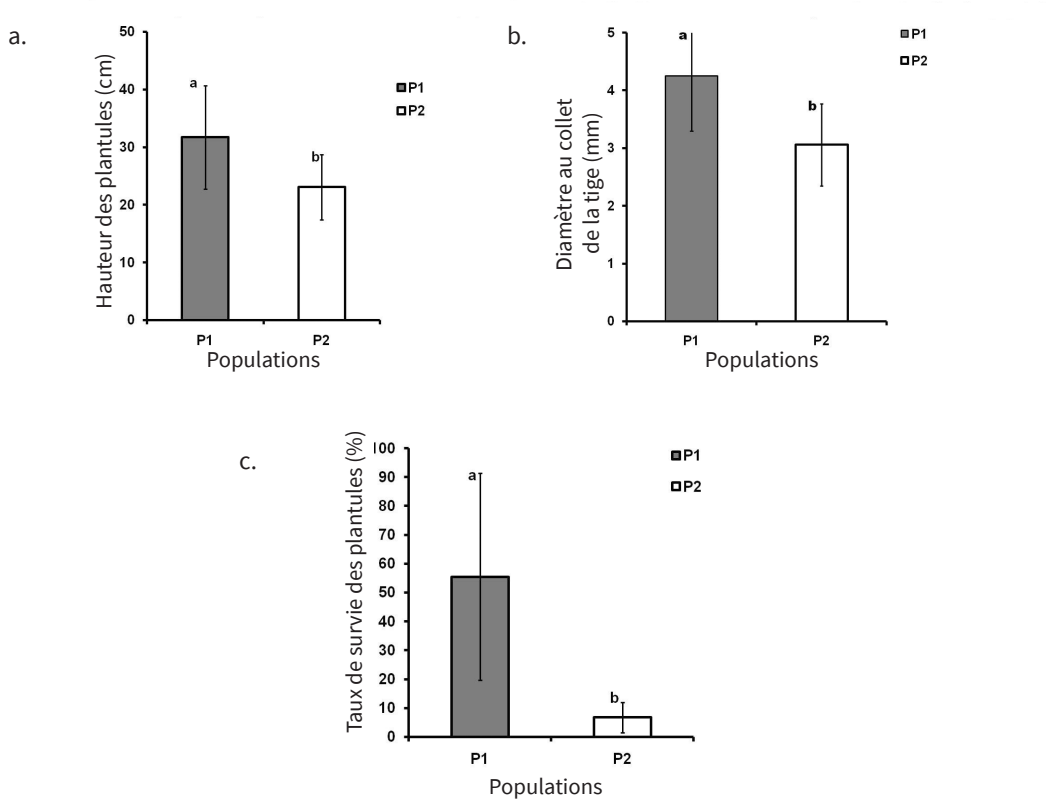
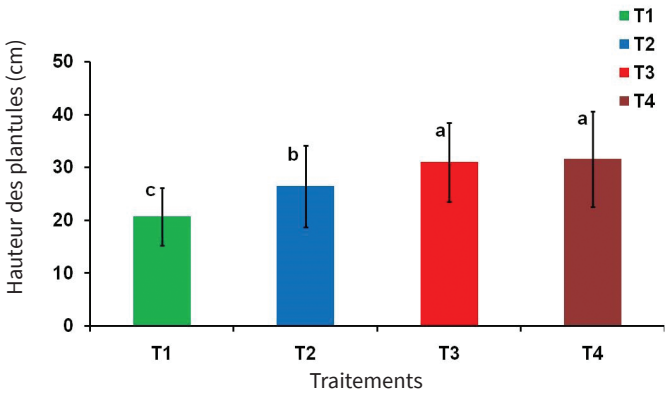


Figure 7 | Comparaison de la hauteur moyenne de la tige des plantules en fonction des traitements

Traitements : T1 : fruits entiers ; T2 : graines dépulpées sous l'eau ; T3 : graines rejetées lors de la rumination ; T4 : graines nues ramassées sous les arbres. Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
© F. A. Diallo



DISCUSSION

L'effet protecteur du rumen contre la déprédation des graines par les rongeurs est prouvé par la faible déprédation des graines issues des fruits digérés par les ruminants (T3) et la forte déprédation des graines nues T2 et T4. De ce fait, la première hypothèse est vérifiée.

Cette protection serait due à la modification de l'aspect de la graine et à l'odeur répulsive due aux sécrétions ruminales. Toutefois, l'absence de déprédation des graines issues des fruits entiers (T1) serait favorisée par le délai très long de la dépulpation qui les protège des rongeurs.

Ainsi, la déprédation élevée des graines nues ramassées sous les arbres (T4) expliquerait, en partie, le faible succès de la régénération naturelle au sein des populations des forêts intégralement protégées où les ruminants sauvages ont disparu. Une telle situation a également été évoquée dans le contexte des forêts tropicales humides (Baraloto, 2003).

De plus, la déprédation intense des graines par les rongeurs, si elle est sélective, contribuerait à l'élimination de meilleurs génotypes dont l'une des conséquences est l'écrémage génétique. Dans ce contexte, le transit ruminal, qui constitue une barrière naturelle à la déprédation, serait donc un facteur majeur pour conserver une banque de semence de bonne qualité génétique au sol.

La forte déprédation des graines observée dans le milieu fermé (MA) serait due au fait que les graines déposées se trouvent dans une zone où il y a une forte densité de gîtes des rongeurs. Cependant, la prédominance et les types de rongeurs ayant participé à la déprédation n'ont pas été formellement établis. Ceci limite l'interprétation de l'intensité de la déprédation en fonction du milieu.

En ce qui concerne l'impact de la pâture et du transit ruminal des graines sur les caractéristiques de la levée, il ressort deux situations. D'une part, l'absence de différences entre la population pâturée par les animaux domestiques (P1) et celle non pâturée (P2), quelle que soit la variable, indique que l'hypothèse n'est pas vérifiée dans le cas de la pâture. D'autre part, la différence de taux de levée (Tl) entre le groupe des graines rejetées lors de la rumination et des graines nues ramassées sous les arbres (T3 et T4) et celui des graines dépulpées sous l'eau et des fruits entiers (T2 et T1) montre que l'hypothèse est vérifiée pour cette variable dans le cas du transit ruminal. Par contre, l'hypothèse n'est pas vérifiée pour les variables délai de la première levée (Dl), étalement de la levée (El) et délai de 80 % de la levée (L80).

Il faut signaler que pour la variable délai de la première levée (Dl), la différence des trois traitements (T3, T4 et T2) avec le témoin (T1) s'explique par le délai de la dépulpation, long dans le cas des fruits entiers. Une telle observation avait été faite par Prasad *et al*. (2006). Dans ce contexte, le délai court observé au sein des trois traitements expose les plantules à l'herbivorie et au stress hydrique dû aux caractères sporadiques des pluies en début de saison pluvieuse (Niang-Diop *et al*., 2011). Ainsi, le délai de la première levée, très long, du témoin serait alors une stratégie appropriée pour permettre aux graines de germer en pleine saison pluvieuse. Ceci permet aux plantules d'échapper au broutage grâce à la saturation des besoins des herbivores, induite par les pousses d'herbe.

Pour les taux de levée, les bons taux observés pour les graines issues de fruits digérés par les ruminants et des graines issues des fruits ramassés sous les arbres (T3 et T4) seraient dus à la fragilité de l'opercule. Il s'agit d'une membrane sous forme de couvercle par laquelle se fait la germination (Gaméné *et al*., 2005). Ainsi, sa fragilité serait favorisée par les sécrétions ruminales et la dent du bétail au moment de la rumination mais également par l'action des microorganismes et de la faune du sol.

Il faut noter que la stratégie de levée est indépendante des facteurs population et traitement. Néanmoins, le maximum de levée sur une période courte d'environ 12 jours est une stratégie évolutive dont la fonction adaptative est de saturer les besoins des herbivores. En effet, Poissonnet (2002) note que les jeunes plantes de *Sclerocarya birrea* en régénération naturelle sont victimes de broutage, principalement par les petits ruminants et les rongeurs dès les deux premières semaines de levée. Celles-ci cessent de l'être dès le début de la lignification des plantules. À ce sujet, selon Diallo *et al*. (2012), dans les zones tropicales sèches, l'herbivorie constitue un facteur négatif à la régénération naturelle.

Toutefois, la poursuite de la levée sur environ 14 jours au-delà de la date de 80 % de levée est une autre stratégie qui a pour fonction adaptative de différer la germination de certaines graines sur des sols à humidité fluctuante comme ceux du Sahel (Weber *et al*., 2018 ; Sandwidi *et al*., 2019). Diallo (2001) note que ces deux types de levées combinés sont fréquemment rencontrés chez les espèces des zones tropicales semi-arides. Ceci pourrait donc être un caractère génétique en réponse à un environnement spécifique (Hebert et Vincourt, 1985).

De ce fait, une telle stratégie, combinant une levée groupée à un moment mais dont l'étalement se poursuit, assure la survie de quelques plantules à chaque cycle de reproduction. Ceci permet de maintenir des populations à générations chevauchantes chez le Prunier d'Afrique (Diallo *et al*., 2020).

En ce qui concerne l'impact de la pâture et du transit ruminal des graines sur la croissance aérienne des plantules, il ressort deux faits. L'avantage comparatif dans la croissance en hauteur (Ht) et en diamètre au collet (Dc) des plantules de la population pâturée (P1) sur celle non pâturée (P2) confirme la troisième hypothèse dans le cas de la pâture.

Le fait que les plantules issues des graines rejetées lors de rumination et des graines nues ramassées sous les arbres (T3 et T4) aient des hauteurs supérieures à celles issues des graines dépulpées sous l'eau et des fruits entiers (T2, T1) confirme la troisième hypothèse dans le cas du transit ruminal pour la variable Ht. Par contre, le fait que le diamètre des plantules au collet ne soit pas différent, quel que soit le traitement, montre que la troisième hypothèse n'est pas vérifiée pour la variable Dc.

Ainsi, la supériorité des plantules de la population pâturée par les animaux domestiques (P1) sur celles de la population non pâturée (P2) traduit l'importance de la pâture sur la croissance aérienne des plants au jeune âge. Selon les travaux de Diallo *et al*. (2020), la croissance en hauteur au jeune âge est un caractère fortement héritable chez le Prunier d'Afrique. Selon Legay et Debouzie (1985) et Diallo *et al*. (2007), pour une espèce végétale donnée, les gènes de chaque population ont été « modelés » au cours de l'évolution en réponse à des conditions environnementales spécifiques.

De ce fait, les plantules de la population P1, soumises depuis fort longtemps au broutage à chaque cycle de reproduction, ont acquis au fil du temps ce caractère adaptatif qui leur permet d'échapper à l'herbivorie par une croissance plus rapide.

Les hauteurs comparables des plantules issues des graines des fruits digérés par les ruminants et des graines issues des fruits ramassés sous les arbres (T3 et T4) suggèrent que le transit ruminal n'a pas entraîné un gain de croissance par rapport aux graines nues ramassées sous les arbres. La différence avec les plantules issues des graines dépulpées sous l'eau et avec les plantules issues des fruits entiers (T2 et T1) pourrait être expliquée par le principe du « zaï forestier ». Celui-ci consiste à enfouir les graines en présence de matières organiques (Yaméogo *et al*., 2011). En effet, les graines rejetées lors de la rumination (T3) et celles nues ramassées sous les arbres (T4) sont enrobées soit de débris végétaux ou de substances organiques en décomposition qui joueraient le rôle d'engrais vert durant les premiers mois de la vie des plantules (Walter et Calvo, 2009). De ce fait, le transit ruminal procurerait aux graines des substances organiques aussi efficaces que celles issues de la décomposition des débris végétaux sous les arbres.

En ce qui concerne l'impact de la pâture et du transit ruminal des graines sur la survie des plantules, la supériorité des taux de survie de la population pâturée (P1) sur celle non pâturée (P2) montre que la quatrième hypothèse est vérifiée dans le cas de la pâture. Par contre, l'absence de différence entre les taux de survie des quatre traitements (T3, T4, T2 et T1) montre que la quatrième hypothèse n'est pas vérifiée dans le cas du transit ruminal.

La quasi-disparition des plantules de la population du parc du CNRST (P2), non pâturée, traduit l'effet négatif que pourrait avoir la mise en défens intégrale dans les programmes de gestion des forêts. Ceci expliquerait l'absence de génération chevauchante au sein de cette population. Sina (2006) et Bationo-Kando *et al*. (2008) avaient déjà signalé respectivement chez *Parkia biglobosa* et *Sclerocarya birrea*, l'absence de régénération au sein des populations isolées. Selon Diallo (2017), chez les espèces barochores, en l'absence de disperseurs de graines, il se construit au fil du temps des cercles d'individus parentés. Cette situation, à terme, se traduit par des cercles d'individus consanguins. Ces derniers donnent des descendants écologiquement fragiles dus à l'homozygotie. Selon Nanson (2004), de telles plantules sont rapidement éliminées par la sélection naturelle dans les milieux changeants. Ceci montre l'importance de la pâture dans le maintien de la dynamique évolutive des populations du Prunier d'Afrique.

Toutefois, il aurait été souhaitable d'élargir la taille de l'échantillon en utilisant au moins deux populations pâturées et deux non pâturées.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que la bonne gestion *in situ* des populations des ligneux fourragers par leurs fruits nécessite une approche excluant toute mise en défens intégrale. Ainsi, dans le cadre d'une régénération assistée, il faut apporter des graines issues du transit ruminal par le biais de la pâture qui met en relation les forêts mise en défens et les forêts spontanées pâturées. Pour cela, il faudra aménager des aires de repos à l'intérieur de ces forêts. Ceci permettra de créer de nouvelles sous-populations grâce aux graines rejetées lors de la rumination. Cette stratégie brisera, dans le cas des espèces barochores, les cercles de consanguinité qui ont pu se construire au fil du temps autour des vieux arbres. Ceci permettra de pallier l'étranglement génétique des populations et par conséquent l'impasse évolutive. Toutefois, en conditions d'élevage extensif, il faudra concilier les effets bénéfiques annoncés et l'exportation trop importante des graines hors de l'aire naturelle de régénération, antagoniste au maintien de la diversité génétique et à la régénération *in situ.* ■

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier du Fonds national de la recherche et de l'innovation pour le développement (FONRID). À travers cet article, nous lui exprimons notre reconnaissance pour l'intérêt porté à la valorisation des fruitiers locaux au Sahel.

RÉFÉRENCES

Arbonnier, M. (2009). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest* (3e éd.). Éditions Quae-Musée national d'histoire naturelle.

Baraloto, C. (2003). Régénération forestière naturelle : De la graine à la jeune tige. *Revue forestière française*, *55*(SP), 179-187. https://doi.org/10.4267/2042/5770

Bationo-Kando, P., Zongo, J. D., Nanema, R. K. et Traoré, E. R. (2008). Étude de la variation de quelques caractères morphologiques d'un échantillon de *Sclerocarya birrea* au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Science*, *2*(4), 549-562. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v2i4.39765

Bationo-Kando, P., Bisseye, C., Nanéma, K. R., Traoré, R. E., Yé, H., Diallo, O. B., Compaoré, R. T., Simporé, J. et Zongo, J. D. (2012). Genetic diversity of *Sclerocarya birrea* subspecies *birrea* populations in Burkina Faso detected by RAPDs. *African Journal of Biotechnology*, *11*(1), 99-108. https://doi.org/10.5897/AJB11.980

Bationo-Kando, P., Zongo, J.-D. et Siljak-Yakovlev, S. (2016). First genome size assessment, heterochromatin and rDNA chromosome mapping in the genus *Sclerocarya* (*Anacardiaceae*): Insight into the new basic chromosome number. *Botany Letters*, *163*(1), 11-17. https://doi.org/10.1080/12538078.2015.1132008

Bognounou, O., Ganaba, S. et Ouadba, J. M. (2004). Plantes de construction d'habitations en région sahélienne (Burkina Faso). *Bois et Forêts des Tropiques*, *282*(4), 11-17. https://doi.org/10.19182/bft2004.282.a20215

Corlett, R. T. (1998). Frugivory and seed dispersal by vertebrates in the Oriental (Indomalayan) Region. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *73*(4), 413448. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1998.tb00178.x

De Bie, S., Ketner, P., Paasse, M. et Geerling, C. (1998). Woody plant phenology in the West Africa savanna. *Journal of Biogeography*, *25*(5), 883900. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.00229.x

Delibes, M., Castaneda, I. et Fedriani, J. M. (2019). Spitting Seeds From the Cud: A Review of an Endozoochory Exclusive to Ruminants. *Frontier in Ecology and Evolution*, *7*(265). https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00265

Diallo, B. O. (2001). *Biologie de la reproduction et évaluation de la diversité génétique chez une légumineuse :* Tamarindus indica *L. (*Caesalpinioidae*)* [thèse de doctorat, Université de Montpellier-II]. https://agritrop.cirad.fr/478838/

Diallo, B. O. (2017). *Cours de génétique appliquée aux arbres forestiers en zone soudano-sahélienne*. Université Nazi Boni-Institut de développement rural.

Diallo, B. O., Bastide, B., Poissonnet, M., Dao, M., Sanou, J. et Hossaert-McKey, M. (2006). Mise en évidence d'une androdioécie morphologique et d'une « hétérostigmatie » chez *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. *Fruits*, *61*(4), 259-266. https://doi.org/10.1051/fruits:2006023

Diallo, B. O., Joly, H. I., Hossaert-McKey, M., McKey, D. et Chevallier, M. H. (2007). Genetic diversity of *Tamarindus indica* populations: Any clues on the origin from its current distribution? *African Journal of Biotechnology*, *6*(7), 853-860. https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/56916

Diallo, B. O., Zallé, D., Noula, K., Ouadio-Lompo, O. et Viscer, P. (2012). Stratégie d'aménagement des forêts périurbaines au Burkina Faso : cas des forêts classées de Dindéresso et du Kou dans la région des Hauts Bassins. Ouagadougou [Rapport d'activités] Ministère de l'Environnement.

Diallo, B. O., Ouédraogo, M., Chevalier, M.-H., Joly, H. I., Hossaert-Mckey, M. et Mckey, D. (2014). Potential pollinators of *Tamarindus indica* L. (*Caesalpinioideae*) in sudanian region of Burkina Faso. *African journal of plant Science*, *8*(12), 528-536. https://doi.org/10.5897/AJPS12.072

Diallo, F. A., Sandwidi, A., Dao, M. E. C., Bationo-Kando, P. et Diallo, B. O. (2020). Caractérisation phénotypique des plantules de quatre populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, *344,* 33-46. https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31898

Dione, A., Sarr, O., Ngom, S., Diallo, A. et Guisse, A. (2020). Perceptions pastorales des ligneux fourragers par les agropasteurs et les transhumants au centre du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *14*(3), 772787. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.11

Faye, M. D., Weber, J. C., Abasse, T. A., Boureima, M., Larwanou, M., Bationo, A. B., Diallo, B. O., Sigué, H., Dakouo, J.-M., Samaké, O. et Diaité, D. S. (2011). Farmers' preferences for tree functions and species in the West African Sahel. *Forests, Trees and Livelihoods*, *20*(23), 113-136. https://doi.org/10.1080/14728028.2011.9756702

Gaméné, C. S., Erdey, D., Baxter, D., Motete, N. et Berjak, P. (2005). Dessication, germination and storage of *Sclerocarya birrea* seeds from Burkina Faso. Dans : M. Sacandé, D. Jøker, M. E. Dulloo, K. A. Thomsen, (éd.), *Comparative storage biology of tropical seeds* (p. 40-56). International Plant Genetics Resource Institute.

Hall, J. B. (2008). *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hocsht., *Anacardiaceae*. Dans : J. Janick et R. E. Paull (éd.), *Encyclopedia of fruits and nuts*. CAB International.

Hall, J. B., O'Brien, E. M. et Sinclair, F. L. (2002). *Sclerocarya birrea*: a monograph. Bangor, University of Wales: School of Agricultural and Forest Sciences. Number 19.

Hebert, Y. et Vincourt, P. (1985). Mesures de la divergence génétique, distances calculées sur les critères biométriques. Dans : M. Lefort-Buson et D. De Vienne (éd)., *Les distances génétiques* : *estimation et applications*. Institut national de la recherche agronomique.

Khalid, F., Benabdeli, K. et Morsli, B. (2015). Impact de la mise en défens sur la lutte contre la désertification dans les parcours steppiques : Cas de la région de Naâma (Sud-ouest

algérien). *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, *70*(1), 1631. https://doi.org/10.3406/revec.2015.1766

Legay, J. M. et Debouzie, F. A. (1985). *Introduction à la biologie des populations*. Masson.

Nanson, A. (2004). *Génétique et amélioration des arbres forestiers*. Les presses agronomiques de Gembloux.

Niang-Diop, F., Lykkee, A. M. et Sambou, B. (2011). Régénération naturelle de *Cordyla pinnata* (Lepr. Ex. A. Rich.) Milne-Redh. dans une savane au feu et au pâturage. *Sécheresse*, *22*(3), 186-191. https://doi.org/10.1684/sec.2011.0315

Poissonnet, M. (2002). *Potentialité de régénération par graine de* Sclerocarya birrea *(A. Rich) Hochst dans une forêt tropicale sèche aménagée* [mémoire de DESS, Université Paris XII].

Prasad, S., Krishnaswamy, J., Chellam, R. et Goyal, S. P. (2006). Ruminant-mediated seed dispersal of an economically valuable tree in Indian Dry forests. *Biotropica*, *38*(5), 679-682. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00182.x

Sandwidi, A., Bassole-Doignet, M. S., Diallo, B. O. et Sawadogo, M. (2019). Variabilité des caractères morphologiques des plantules de cinq ethno-variétés de karité (*Vitellaria paradoxa* c. F. Gaertn, *Sapotaceae*) au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *13*(2), 811. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.19

Sanon, H. O., Kaboré-Zoungrana, C. et Ledin, I. (2007). Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Ruminant Research*, *67*(1), 64-74. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.09.025

Sarr, O., Ngom, D., Ngaryo, F. T., Diatta, S. et Akpo, L. E. (2014). État de la végétation ligneuse dans trois unités d'utilisation des terres d'une zone agropastorale au Sénégal (région de Kaffrine). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *8*(6), 2669-2684. http://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.27

Sina, S. (2006). *Reproduction et diversité génétique chez* Parkia biglobosa *(Jacq.) G. Don* [thèse de doctorat, Université Wageningen, Pays-Bas].

Soloviev, P., Niang, T. D. et Gaye, A. (2004). Propagation par greffage du prunier d'Afrique : *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Sénégal. *Fruit*, *59*(4), 275-280. https://doi.org/10.1051/fruits:2004026

Thiombiano, D. N. E., Dibong, S. D., Lamien, N. et Boussim, I. J. (2010). État des peuplements des espèces ligneuses de soudure des communes rurales de Pobé-Mangao et de Nobéré (Burkina Faso). *Journal of Animal and Plant Sciences*, *9*(1), 1104-1116. https://www.m.elewa.org/JAPS/2010/9.1/Abstract4-siegfried.html

Tybirk, K. (1991). *Régénération des légumineuses ligneuses du Sahel*. Botanical Institute Aarhus University.

Walter, I. et Calvo, R. (2009). Biomass production and development of native vegetation following biowaste amendment of a degraded, semi-arid soil. *Arid Land Research and Management*, *23*(4), 297310. https://doi.org/10.1080/15324980903231827

Weber, J. C., Sotelo Montes, C., Soumana, I., Diallo, B. O., Abasse, T., Larwanou, M. et Bationo, B. A. (2018). Genetic and geographic variation in growth of *Balanites aegyptiaca* in Niger: Comparing results from provenance/progeny tests in the nursery and field. *New Forests*, *50*(4), 643-661. https://doi.org/10.1007/s11056-018-9686-9

Yaméogo, T. J., Hien, M., Lykke, A. M., Somé, A. N. et Thiombiano, A. (2011). Effet des techniques de conservation des eaux et des sols, zaï forestier et cordons pierreux, sur la réhabilitation de la végétation herbacée à l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Science*, *5*(1), 56-71. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i1.68085

Zampaligré, N., Kagambega, W. F., Zida, D., Traoré, C. T. et Sawadogo L. (2020). *Afrique Science*, *16*(1), 78-91. http://www.afriquescience.net