



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## **Comportement Biophysique et Écophysiolgique de Cinq Espèces Ligneuses en Plantation dans la Commune Rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali)**

*Ousmane Kassambara*

*Oumar Sénou*

*Moussa Sylla*

Délégation du Programme Ressources Forestières,  
Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba, Mali  
Institut d'Economie Rurale (IER)

*Moussa Karembé*

Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET), Faculté des Sciences et Techniques  
(FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de  
Bamako (USTTB), Mali

*Ibrahim Sambaké*

Délégation du Programme Ressources Forestières, CRRA de Sotuba, Mali

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p185](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p185)

Submitted: 23 September 2022

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Kassambara O., Sénou O., Sylla M., Karembé M. & Sambaké I. (2023). *Comportement Biophysique et Écophysiolgique de Cinq Espèces Ligneuses en Plantation dans la Commune Rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 185. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p185>

### **Résumé**

Au Mali, très peu d'études écophysiolgiques ont été menées sur les espèces ligneuses notamment à leur stade juvénile. L'objectif de cette étude était d'évaluer le comportement biophysique et écophysiolgique de cinq espèces ligneuses en plantation. Pour ce faire, les plants de trois espèces autochtones (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et deux espèces exotiques (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*) ont été produits en pépinière et plantés à l'âge de 4 mois dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher avec 4 répétitions. Par la suite, les paramètres biophysiques (taux de survie, diamètre au collet et hauteur totale des plants) ont été évalués 29 mois après plantation alors que les paramètres écophysiolgiques ou traits fonctionnels (teneur relative en eau (RWC),

surface foliaire spécifique (SLA) et teneur en matière sèche foliaire (LDMC)) ont été évalués entre 12 et 24 mois après plantation pendant 4 périodes distinctes de l'année. Comme résultats obtenus, le taux de survie des plants a varié en fonction des espèces étudiées. De même, pour la croissance en hauteur et en diamètre, il a été obtenu une différence hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les cinq espèces. Concernant les traits fonctionnels, la teneur relative en eau a varié significativement en fonction d'une part de la période de l'année et d'autre part de l'espèce alors que l'interaction des deux facteurs a eu un effet significatif sur la surface foliaire spécifique et la teneur en matière sèche foliaire des plants. En outre, tous les traits fonctionnels étudiés étaient significativement corrélés entre eux. En somme, une meilleure connaissance des paramètres biophysiques et écophysiological peut orienter le choix d'espèces appropriées pour la plantation dans les différentes zones climatiques.

---

**Mots-clés:** Espèces autochtones, espèces exotiques, plantation, croissance, traits fonctionnels

---

## **Biophysical and Ecophysiological Behavior of Five Woody Species in Plantation in the Rural Municipality of Massala (Prefecture of Segou, Mali)**

*Ousmane Kassambara*

*Oumar Sénou*

*Moussa Sylla*

Délégation du Programme Ressources Forestières,  
Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba, Mali  
Institut d'Economie Rurale (IER)

*Moussa Karembé*

Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Mali

*Ibrahim Sambaké*

Délégation du Programme Ressources Forestières, CRRA de Sotuba, Mali

---

### **Abstract**

In Mali, very few ecophysiological studies have been conducted on woody species, particularly at their juvenile stage. The objective of this study was to evaluate the biophysical and ecophysiological behavior of five woody species in plantations. To do this, the plants of three native species (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* and *Piliostigma*

*reticulatum*) and two exotic species (*Acacia auriculiformis* and *Cassia siamea*) were produced in the nursery and planted at the age of 4 months into an experimental device in Fisher blocks with 4 repetitions. Subsequently, the biophysical parameters (survival rate, collar diameter and total height of the plants) were evaluated 29 months after planting, while the ecophysiological parameters or functional traits (relative water content (RWC), specific leaf area (SLA) and leaf dry matter content (LDMC)) were evaluated between 12 and 24 months after planting during 4 distinct periods of the year. As results obtained, the survival rate of the plants varied according to the species studied. Likewise, for the growth in height and in diameter, a highly significant difference ( $P < 0.001$ ) was obtained between the five species. Regarding the functional traits, the relative water content varied significantly according to the time of year on the one hand and to the species on the other, while the interaction of the two factors had a significant effect on the specific leaf area and the leaf dry matter content of plants. Furthermore, all the functional traits studied were significantly correlated with each other. In short, a better knowledge of biophysical and ecophysiological parameters can guide the choice of appropriate species for planting in different climatic zones.

---

**Keywords:** Native species, exotic species, plantation, growth, functional traits

## Introduction

En Afrique sub-saharienne, la tendance globale des forêts, est régressive (Ariori & Ozer, 2005 ; Soulama et al., 2015). La dégradation des écosystèmes forestiers de cette zone résulte des effets conjugués des facteurs climatiques et anthropiques (Diallo et al., 2011 ; Soulama et al., 2015).

En effet, au Mali, le domaine forestier national se décline en domaines protégé et classé (incluant les plantations d'état) (Loi N°10-028 du 12 juillet 2010, déterminant les principes de gestion des ressources du domaine forestier national). Cependant, la couverture des formations ligneuses estimée à 32 millions d'hectares en 1985 n'occupe plus que 17,4 millions d'hectares du territoire national (Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD), 2011). Les plantations forestières sont minoritaires et occupent seulement une superficie de 60000 ha (Thomas & Samassékou, 2003). Exceptées ces plantations constituées essentiellement d'essences exotiques, les formations naturelles sont prédominées par les espèces autochtones à très grande valeur économique, sociale et culturelle (Loi N°10-28, 2010).

Dans la zone soudanienne nord du Mali, notamment dans le cercle de Ségou, plusieurs études ont signalé la disparition ou la raréfaction de certaines espèces qui jadis étaient fréquemment rencontrées dans les terroirs villageois du cercle (Nouvellet et al., 2003 ; Clinquart, 2010).

Face à l'augmentation de la population, à la demande en bois de plus en plus importante et à la non satisfaction des besoins de la population par la production des formations naturelles, il est donc nécessaire d'envisager une production artificielle, pour contribuer à la satisfaction des besoins de la population. Cependant, le plus souvent, très peu d'informations existent sur la biologie et les mécanismes de la régénération naturelle qui devraient orienter la sylviculture des espèces autochtones (Sanogo et al., 2013). En effet, selon Bationo et al. (2010) « en plus des contraintes biophysiques, l'insuffisance des connaissances scientifiques sur l'écologie de la régénération naturelle séminale de nombreuses espèces ligneuses des pays sahéliens ne favorisent pas la mise au point de techniques sylvicoles adaptées aux stades juvéniles de la régénération ». De ce fait, dans le contexte où le renouvellement du capital ligneux repose essentiellement sur le processus de régénération naturelle, il est nécessaire d'améliorer les connaissances sur le mode de fonctionnement de ces espèces ligneuses notamment au stade juvénile en plantation. En plus des aspects biophysiques, cette amélioration des connaissances passe également par la prise en compte du comportement écophysologique. Etant donné que, l'écophysologie ou la physiologie écologique, est un domaine de recherche où les paramètres physiologiques sont utilisés pour quantifier l'interaction entre l'environnement externe (c'est-à-dire l'écologie) et l'environnement interne de l'organisme (Ferry-Graham & Gibb, 2008).

En 2018, une enquête menée auprès de la population des communes rurales de Massala et Konodimini, a permis d'identifier les principales espèces utilisées pour la production de bois chauffe (Kassambara et al., 2022). Ainsi, de commun accord avec les paysans collaborateurs, les trois espèces autochtones les plus utilisées actuellement par la population pour la production de bois chauffe (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et deux espèces introduites (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*) ont été mises en plantation en août 2019 dans le village de Massala. Le choix de ces cinq espèces a été également motivé par l'existence de différents ouvrages et études qui soutiennent que les bois de ces espèces ont un bon pouvoir calorifique (Arbonnier, 2000 ; Gnahoua & Louppe, 2003 ; Madjimbe et al., 2018).

La présente étude a donc été conduite en vue d'évaluer le comportement biophysique et écophysologique de ces espèces au stade juvénile en plantation dans la commune rurale de Massala (cercle de Ségou). Il s'agira de chercher à savoir laquelle de ces espèces s'adapte le plus dans la zone à travers entre autres l'évaluation du taux de survie, des paramètres de croissance (le diamètre au collet et la hauteur des plants) et de quelques traits fonctionnels des plants en plantation (teneur relative en eau, surface spécifique des feuilles et teneur en matière sèche des feuilles).

## Matériel et Méthodes

### Zone d'étude

L'étude a été menée dans la commune rurale de Massala (6°30'6.84'' de longitude W et 13°16'54.84'' de latitude N). Elle relève administrativement du cercle de Ségo, le chef-lieu de la 4<sup>ème</sup> région du Mali. Elle a une superficie de 89,4 km<sup>2</sup> et est située au centre-Ouest du cercle de Ségo. Elle est limitée au Nord par la commune rurale de N'gara, au Sud-Ouest et à l'Est par celle de Konodimini (figure 1). Le climat de la commune rurale de Massala est de type soudano-sahélien caractérisé par une alternance entre une saison pluvieuse (de juin à octobre) et une saison sèche (de novembre à mai). Dans l'année, la commune reçoit en moyenne 600 à 800 mm de précipitation (Mairie de la commune de Massala, 2018). La température oscille entre 15°C en août, décembre, janvier, février et 45°C au mois de mai. La végétation présente des structures allant d'herbacée, arbustive à arborescente (Mairie de la commune de Massala, 2018).

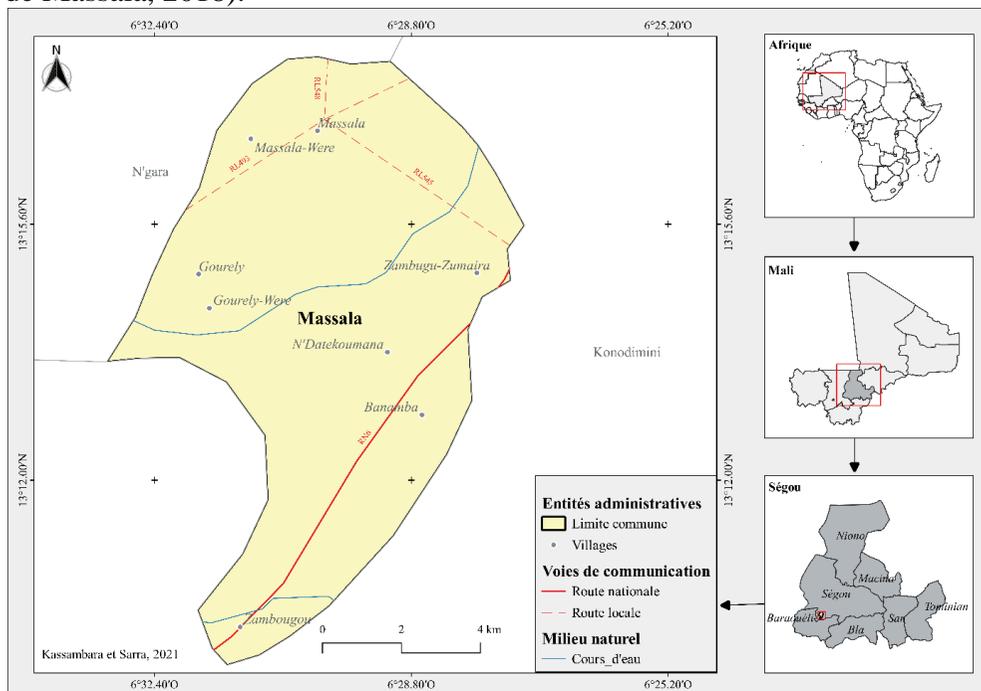
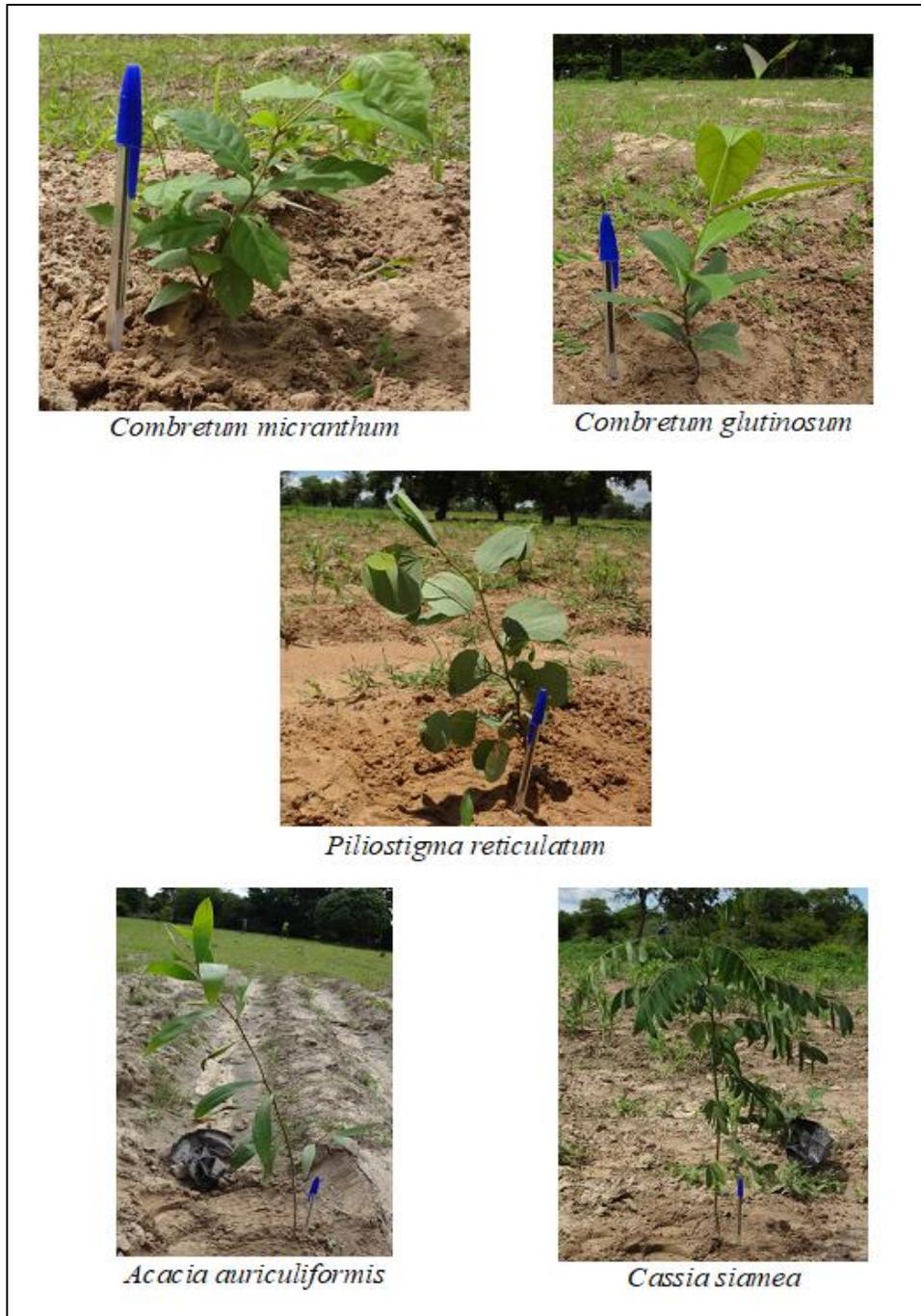


Figure 1. Localisation de la commune rurale de Massala dans le cercle de Ségo

### Matériel végétal

Le matériel végétal ayant servi à notre étude est constitué de plants de cinq espèces ligneuses (figure 2). Il s'agit de trois espèces autochtones (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et de deux espèces exotiques (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*).



**Figure 2.** Illustration des jeunes plants des cinq espèces transplantés à l'âge de 4 mois dans le village de Massala (Source: Kassambara O., Août 2019)

### Dispositif expérimental

Il a été adopté un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets (Blocs de Fisher) avec 5 traitements (les plants de 5 espèces ligneuses), en 4 répétitions représentées chacune par l'exploitation d'un paysan collaborateur. L'essai comporte 20 parcelles expérimentales (figure 3) comportant chacune 12 plants plantés en ligne, ce qui fait au total 240 plants pour l'essai. Les plants élevés en pépinière pendant 4 mois dans les pots en plastiques de dimension 13cm x 25cm ont été plantés en août 2019, selon un écartement 8m x 2m (8m entre les lignes et 2m entre les plants d'une même ligne) dans des trous de 30cm x 30cm x 30cm.

<b>Bloc I</b>	Aa	Cm	Cg	Pr	Cs
<b>Bloc II</b>	Aa	Pr	Cg	Cm	Cs
<b>Bloc III</b>	Cs	Cg	Pr	Cm	Aa
<b>Bloc IV</b>	Cs	Pr	Cg	Cm	Aa

**Légende :** Aa : *Acacia auriculiformis* ; Cm= *Combretum micranthum* ; Cg = *Combretum glutinosum* ; Pr = *Piliostigma reticulatum* ; Cs = *Cassia siamea*

**Figure 3.** Dispositif expérimental en blocs de Fisher

Dans le souci de minimiser les effets de bordure sur l'essai, il a été ajouté de part et d'autre de chaque bloc du dispositif expérimental une ligne supplémentaire constituée de 12 plants de l'espèce qui se situe à l'extrémité du dispositif. Enfin, chaque bloc (répétition) d'une superficie de 1250m<sup>2</sup> (25m x 50m) a été sécurisé avec des barres de cornières et du fil barbelé renforcé avec une haie morte.

### Evaluation de quelques paramètres biophysiques

L'évaluation du comportement biophysique a été effectuée 29 mois après plantation en décembre 2021. Les paramètres biophysiques concernés par l'étude ont été le taux de survie, le diamètre au collet et la hauteur totale des plants. En effet, sur chaque parcelle expérimentale (ligne de 12 plants), le comptage du nombre de plants vivants et les mesures des paramètres de croissances (diamètre au collet et hauteur) ont été effectuées sur les 10 plants intérieurs. Pour la mesure de la hauteur des plants une règle (perche) graduée de 8 m et un mètre ruban tailleur ont été utilisés. Pour la mesure du diamètre au collet un pied à coulisse digital a été utilisé.

## **Evaluation de quelques paramètres écophysologiques (traits fonctionnels)**

L'évaluation du comportement écophysologique des cinq espèces a été effectuée entre les 12<sup>ème</sup> et 24<sup>ème</sup> mois après plantation, pendant quatre périodes, notamment :

- en août 2020 (pleine saison des pluies), 13 mois après plantation,
- en novembre 2020 (fin de saison des pluies), 16 mois après plantation,
- en janvier 2021 (saison sèche fraîche), 18 mois après plantation,
- et en avril 2021 (saison sèche chaude), 21 mois après plantation.

Les traits fonctionnels concernés par l'étude ont été la teneur relative en eau (RWC en %), la surface spécifique des feuilles (SLA en m<sup>2</sup>/kg) et la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC en %).

En effet, sur chaque parcelle expérimentale (ligne de 12 plants) les mesures des traits fonctionnels ont été effectuées sur deux plants choisis au hasard parmi les 10 plants intérieurs.

Ainsi, sur chaque individu (plant) sélectionné par espèce, il a été prélevé une portion de branche. Ce prélèvement a été effectué entre 2h et 5 h du matin lorsque le plant est au repos. Après prélèvement, la partie sectionnée de chaque branche a été bouchée avec du coton imbibé d'eau pour limiter les échanges avec l'extérieur et tous les échantillons ont été maintenus à l'obscurité. A cet effet, les échantillons ont d'abord été mis dans des sachets noirs puis placés dans un sceau noir avec couvercle noir. Tôt la matinée, les mesures et opérations concourant au calcul des traits fonctionnels retenus en occurrence RWC, SLA et LDMC ont alors été effectuées. Les mesures et opérations ont été effectuées conformément aux protocoles standardisés (Paco, 2010 ; Perez-Harguindeguy et al., 2013). Pour chaque plant échantillonné, le trait fonctionnel RWC a été déterminé à partir des mesures effectuées sur une portion de rameau alors que les traits fonctionnels SLA et LDMC ont été déterminés à partir des mesures effectuées sur une feuille complète saine sans aucun défaut apparent.

*La teneur relative en eau* a été déterminée de la façon suivante :

$$\text{RWC (\%)} = \left[ \frac{(\text{Poids frais du rameau} - \text{Poids sec du rameau})}{(\text{Poids turgescent du rameau} - \text{Poids sec du rameau})} \right] 100$$

Après la mesure du poids de la portion de rameau à l'état frais, le poids turgescent a été obtenu en faisant séjourner la portion de rameau pendant 36 à 48 heures dans un tube PVC contenant de l'eau distillée et hermétiquement fermé avec de la paraffine puis placé dans l'obscurité à la température ambiante. Enfin le poids sec a été obtenu après un passage de la portion de rameau à l'étuve à 70°C pendant 48 heures.

*La surface foliaire spécifique* a été déterminée de la manière suivante :

Il a d'abord été déterminé la surface de la feuille prélevée après scannage à l'aide du logiciel Midebmp01. Ensuite, le poids sec de ladite feuille

a été déterminé après passage à l'étuve à la température de 70°C pendant 48 heures. Ainsi la surface foliaire spécifique a été obtenue en faisant le rapport de la surface de la feuille échantillonnée et scannée sur le poids sec des feuilles.

$$SLA (m^2 \cdot kg^{-1}) = \frac{\text{Surface de la feuille}}{\text{Poids sec de la feuille}}$$

*La teneur en matière sèche de la feuille* a été obtenue en divisant la masse de la feuille séchée à l'étuve (à 70°C pendant 48 heures) par son poids à l'état frais. Selon certains auteurs, elle s'exprime en milligramme de matière sèche par gramme de feuille fraîche (mg/g) (Perez-Harguindeguy et al., 2013) mais dans le cadre de cette étude elle a été ramenée au pourcentage de matière sèche comme présentée par Roche et al. (2004).

$$LDMC (\%) = \left[ \frac{\text{Poids sec de la feuille}}{\text{Poids frais de la feuille}} \right] 100$$

Pour la mesure du poids des différents organes végétaux (feuilles et portions de rameau) une balance électronique de précision 0,001g et de portée 450g (Marque ADAM Equipement, PGW 453) a été utilisée.

### **Analyse des données**

Le taux de survie, a été qualifié selon une échelle adaptée des travaux de la Station de Recherche sur la Biologie des Essences Autochtones (SRBEA) au Mali (Yossi et al., 1988). Ainsi, le taux de survie (TS) a été considéré comme **très élevé** (si  $TS > 80\%$ ), **élevé** (si  $60\% < TS \leq 80\%$ ), **moyen** (si  $40\% < TS \leq 60\%$ ), **faible** (si  $20\% < TS \leq 40\%$ ), ou **très faible** (si  $TS < 20\%$ ).

Pour l'analyse des données des paramètres de croissance (hauteur et diamètre à la base) et des traits fonctionnels, il a été utilisé une analyse de variance au seuil de 5% en utilisant le logiciel SPSS 21. En présence d'une différence significative ( $P \leq 0,05$ ) le test de comparaison des moyennes de Newman et Keuls a été utilisé pour classer les moyennes. Ainsi, les hauteurs moyennes et les diamètres au collet moyens des plants ont été comparés en fonction des espèces. Quant aux valeurs moyennes des traits fonctionnels (RWC, SLA et LDMC), elles ont été analysées en fonction de l'espèce et de la période de l'année. En présence d'une interaction Espèce x Période significative, le classement des moyennes n'a pas été opéré sur les effets simples de l'espèce ou de la période de l'année mais plus tôt sur leurs effets combinés (interaction). En outre, une analyse de corrélation (test de Pearson) a été effectuée pour déterminer le type d'association pouvant exister entre les traits fonctionnels des plants en plantation.

## Résultats

### Taux de survie des plants en plantation

L'évolution du taux de survie en fonction des différentes espèces en plantation est représentée sur la figure 4. Toutes espèces confondues, *Acacia auriculiformis* a obtenu le plus faible taux de survie (62,5%) alors que le taux de survie le plus élevé (100%) a été obtenu par *Cassia siamea*. Le taux moyen de survie obtenu dans l'essai après 29 mois de plantation a été de 89,5%.

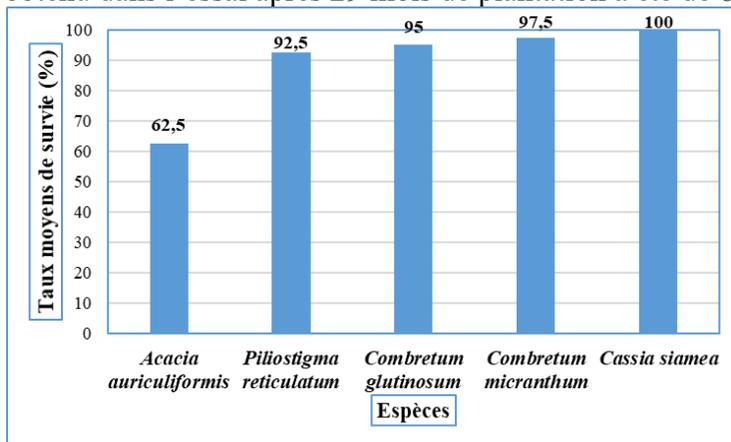


Figure 4. Evolution du taux de survie des plants en fonction des différentes espèces

Le taux moyen de survie a été qualifié comme étant « très élevé » ( $TS > 80\%$ ) pour toutes les espèces exceptée *Acacia auriculiformis* pour laquelle il a été considéré comme « élevé » ( $60\% < TS \leq 80\%$ ).

### Croissance en diamètre et en hauteur des plants en plantation

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance (diamètre au collet et hauteur totale) des espèces après 29 mois de plantation sont consignés dans le tableau 1. Toutes espèces confondues, il a été obtenu dans l'essai une croissance en hauteur moyenne de 1,63 m pour un diamètre moyen de 28,68 mm.

**Tableau 1.** Diamètre au collet moyen et Hauteur moyenne des plants de cinq espèces ligneuses après 29 mois de plantation dans la commune rurale de Massala

Espèces ligneuses	Diamètre au collet (mm)	Hauteur des plants (m)
<i>C. glutinosum</i>	12,03c	0,62b
<i>C. micranthum</i>	14,49c	0,80b
<i>P. reticulatum</i>	17,31c	0,75b
<i>A. auriculiformis</i>	44,2b	2,84a
<i>C. siamea</i>	55,36a	3,16a
Moyenne Générale	28,68	1,63
Probabilité	<0,001	<0,001
Signification	HS	HS
CV en %	68,87	76,73

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; HS= différence hautement significative ; CV= Coefficient de variation.

L'analyse de variance a mis en évidence une différence hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les espèces pour la croissance en diamètre au collet et en hauteur des plants après 29 mois de plantation. Le test de comparaison multiple des moyennes de Newman et Keuls a permis de distinguer trois groupes de moyennes (a, b et c) pour la croissance en diamètre au collet et deux groupes de moyennes (a et b) pour la croissance en hauteur. Les meilleurs paramètres de croissance ont été obtenus avec les plants de *Cassia siamea* alors que les plus faibles paramètres de croissances ont été obtenus avec les plants de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum* et de *Piliostigma reticulatum*.

### Teneur relative en eau (RWC,%) des plants en plantation

Dans le tableau 2 est présenté la teneur relative en eau des plants en fonction des différentes espèces et des périodes de l'année. En moyenne dans la plantation, la teneur relative en eau des plants a été de 82,81%.

**Tableau 2.** Valeurs moyennes de la teneur relative en eau des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	94,65	94,14	86,84	68,60	<b>86,06a</b>
<i>C. glutinosum</i>	94,59	91,08	76,01	54,03	<b>78,93b</b>
<i>C. micranthum</i>	97,00	83,81	76,43	64,11	<b>80,34b</b>
<i>C. siamea</i>	97,27	96,23	86,57	65,88	<b>86,49a</b>
<i>P. reticulatum</i>	95,70	92,81	84,13	56,40	<b>82,26ab</b>
Moyenne par période	<b>95,84a</b>	<b>91,61b</b>	<b>82,00c</b>	<b>61,80d</b>	
Moyenne générale			82,81		
Facteur Espèce (F1)	Probabilité=0,003		Signification : HS		
Facteur Période (F2)	Probabilité<0,001		Signification : HS		
Interaction F1xF2	Probabilité=0,117		Signification : NS		
CV (%)			19,73		

Les moyennes marginales en gras dans une même colonne (moyenne par espèce) ou sur une même ligne (moyenne par période), accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; HS= différence hautement significative ; NS= différence non significative ; CV=Coefficient de variation.

L'analyse de variance n'a pas révélé l'existence d'une influence de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année sur la teneur relative en eau des plants en plantation ( $P=0,117$ ). Cependant, l'analyse a mis en évidence une variation hautement significative ( $P<0,01$ ) de la teneur relative en eau (RWC) des plants en fonction d'une part de l'espèces et d'autre part de la période de l'année.

En effet, toutes périodes de l'année confondues, deux groupes de moyenne (a et b) de teneur relative en eau ont été retrouvés en fonction des espèces. Les plants de *Cassia siamea*, *Acacia auriculiformis* et *Piliostigma reticulatum* ont obtenu les teneurs les plus élevées (groupe a) alors que ceux de *Combretum glutinosum* ont enregistré la plus faible teneur relative en eau (groupe b).

Toutes espèces confondues, quatre groupes de moyenne (a, b, c et d) de teneur relative en eau ont été retrouvés en fonction des périodes de l'année. La teneur relative en eau la plus élevée (95,84%) a été enregistrée en août en pleine saison de pluies et la plus faible (61,80%) a été enregistrée en avril en pleine saison sèche chaude.

### Surface foliaire spécifique (SLA, m<sup>2</sup>/kg) des plants en plantation

Les valeurs moyennes de la surface spécifique des feuilles des plants en plantation en fonction des espèces et des périodes de l'année sont présentées dans le tableau 3. En moyenne dans la plantation, la surface foliaire spécifique a été estimée à 1,83 m<sup>2</sup>/kg.

**Tableau 3.** Valeurs moyennes de la surface spécifique des feuilles des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	<b>2,2abc</b>	<b>1,1bc</b>	<b>1,4bc</b>	<b>3a</b>	1,9
<i>C. glutinosum</i>	<b>1,5bc</b>	<b>1,4bc</b>	<b>1,4bc</b>	<b>1,8abc</b>	1,5
<i>C. micranthum</i>	<b>2,1abc</b>	<b>2,1abc</b>	-	-	2,1
<i>C. siamea</i>	<b>2,6ab</b>	<b>2,5ab</b>	<b>2,2abc</b>	<b>0,8c</b>	2
<i>P. reticulatum</i>	<b>2,6ab</b>	<b>1,5bc</b>	<b>1,5bc</b>	<b>1,2bc</b>	1,7
Moyenne par période	2,2	1,7	1,6	1,7	
Moyenne générale					1,83
Facteur Espèce (F1)	Probabilité=0,177		Signification : NS		
Facteur Période (F2)	Probabilité=0,053		Signification : NS		
Interaction F1xF2	Probabilité<0,001		Signification : HS		
CV (%)					53,63

Les valeurs moyennes matricielles en gras (interaction Espèce x Période) accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; NS = différence non significative ; HS = différence hautement significative ; (-) = paramètre non évalué en cette période de l'année chez l'espèce à cause de la senescence ou la chute totale des feuilles ; CV=Coefficient de variation.

La surface spécifique des feuilles des plants n'a pas connu une variation significative ( $P>0,05$ ) en fonction de l'espèce ou de la période de

l'année. Par contre, elle a varié significativement en fonction de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année ( $P < 0,001$ ). Le test de comparaison multiple a permis de distinguer trois groupes (a, b, et c) de surfaces foliaires spécifiques des plants en plantation. Ainsi, en avril, les plants de *Acacia auriculiformis* ont réalisé la SLA la plus élevée (groupe a) alors que ceux de *Cassia siamea* ont enregistré la plus faible SLA (groupe c) pendant la même période (avril).

### Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC, %) des plants en plantation

Les valeurs moyennes de la teneur en matière sèche des feuilles des plants en plantation en fonction des espèces et des périodes de l'année sont présentées dans le tableau 4. En moyenne dans la plantation, la teneur en matière sèche foliaire obtenue a été de 42,31%.

**Tableau 4.** Valeurs moyennes de la teneur en matière sèche des feuilles des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	<b>34,3ef</b>	<b>36,6def</b>	<b>40,5cde</b>	<b>52,6b</b>	41,00
<i>C. glutinosum</i>	<b>40,7cde</b>	<b>41,6cde</b>	<b>47,6bcd</b>	<b>57,8ab</b>	46,93
<i>C. micranthum</i>	<b>40cde</b>	<b>49,9bc</b>	-	-	44,95
<i>C. siamea</i>	<b>31,4ef</b>	<b>35def</b>	<b>37,7def</b>	<b>65,5a</b>	42,40
<i>P. reticulatum</i>	<b>25,4f</b>	<b>34,9def</b>	<b>35,4def</b>	<b>54,7b</b>	37,60
Moyenne par période	34,36	39,60	40,30	57,65	
Moyenne générale			42,31		
Facteur Espèce (F1)	Probabilité <0,001		Signification : HS		
Facteur Période (F2)	Probabilité <0,001		Signification : HS		
Interaction F1xF2	Probabilité=0,022		Signification : S		
CV (%)			29,54		

Les valeurs moyennes matricielles en gras (interaction Espèce x Période) accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; (-) = paramètre non évalué en cette période de l'année chez l'espèce à cause de la senescence ou la chute totale des feuilles ; S = différence significative ; HS = différence hautement significative ; CV=Coefficient de variation.

La teneur en matière sèche foliaire a connu une variation hautement significative en fonction d'une part de l'espèce et d'autre part de la période de l'année. Elle a également varié significativement en fonction de l'interaction Espèce x Période. De ce fait, il a été distingué six groupes de moyenne de LDMC (a, b, c, d, e, f) en fonction de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année. La plus grande teneur en matière sèche foliaire (groupe a) a été enregistrée chez les plants de *Cassia siamea* en avril et la plus petite teneur (groupe f) a été obtenue avec les plants de *Piliostigma reticulatum* en août.

## Relation entre traits fonctionnels

Globalement tous les traits fonctionnels étudiés sont associés entre eux (tableau 5).

**Tableau 5.** Matrice de corrélation entre traits fonctionnels

	RWC	SLA	LDMC
RWC	1		
SLA	0,215**	1	
LDMC	-0,746**	-0,369**	1

\*\* = Corrélation significative au seuil 1%.

En effet, il a été retrouvé une corrélation linéaire positive ( $R > 0$ ) et significative entre la teneur relative en eau (RWC) et la surface spécifique des feuilles (SLA). Dans cette forme d'association (corrélation linéaire positive) toute augmentation de l'un des traits tend proportionnellement à augmenter l'autre et vice versa.

Par ailleurs, il a également été retrouvé une corrélation linéaire négative ( $R < 0$ ) et significative d'une part entre la teneur relative en eau (RWC) et la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) et d'autre part entre la teneur en matières sèches des feuilles (LDMC) et la surface spécifique des feuilles (SLA). Dans cette forme d'association (corrélation linéaire négative) toute augmentation de l'un des traits cités (exemple : la teneur relative en eau) tend proportionnellement à diminuer l'autre (exemple : la teneur en matière sèche des feuilles) et vice versa.

## Discussion

### Taux de survie des plants

En plantation, le taux de survie des plants est susceptible de varier en fonction du milieu et des espèces. Dans cet essai, quelle que soit l'espèce autochtone (*C. glutinosum*, *C. micranthum* ou *P. reticulatum*) utilisée le taux de survie reste supérieur à 92%. Cependant, la plus grande variabilité a été observé chez les espèces exotiques, *A. auriculiformis* a enregistré le plus faible taux de survie 62,5% alors que *Cassia siamea* a obtenu le taux de survie le plus élevé (100%). Dans une étude de sélection d'espèces en plantation, menée à Madagascar (station de Antsanitia), Rakoniaina (1993) a obtenu après trois mois de plantation un taux de reprise de 47% chez *A. auriculiformis* et 61% chez *C. siamea*. Pour ces deux espèces, ces taux de reprise laissent supposer à âge égale de plantation à Madagascar, des taux de survie bien inférieurs aux résultats de la présente étude. Par ailleurs, au Mali, Kelly & Cuny (2000) ont obtenu des taux de survie d'espèces forestières locales sur sol hydromorphe après 7 années de plantation variant en moyenne entre 32,6% (*Faidherbia albida*) et 95,1% (*Anogeissus leiocarpus*). En outre au Burkina Faso, il a été signalé par Thiombiano et al. (2003) que certaines espèces de Combretaceae (*Combretum aculeatum* et *Combretum micranthum*) présentent de bons taux

de survie après 3 années d'essais de plantation. Elles ont des taux de survie de l'ordre de 70 à 90 % dans les parcelles protégées. Toutefois, au Niger après 31 mois de plantation, Amani et al. (2021) ont observé des taux de survie encore plus faibles chez quatre espèces de Combretaceae (*Guiera senegalensis* (66,5 %), *Combretum glutinosum* (60,5 %), *Combretum micranthum* (52,5%) et *Combretum nigricans* (31,5%)).

### **Croissance en diamètre et en hauteur des plants**

Après 29 mois de plantation, les espèces exotiques (*Cassia siamea* et *Acacia auriculiformis*) ont globalement obtenu les meilleurs paramètres de croissance (hauteur et diamètre au collet) comparativement aux espèces autochtones (*C. glutinosum*, *C. micranthum* et *P. reticulatum*). En effet, à Madagascar, après une année de plantation, Rakoniaina (1993) a obtenu une hauteur moyenne de 60 cm et 82,6 cm chez *Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*. Ces résultats obtenus à Madagascar à seulement une année de plantation démontrent les potentialités de croissance de ces deux espèces exotiques. En ce qui concerne les espèces autochtones, en comparaison avec d'autres études dans la zone soudano-sahélienne, il est à noter qu'au Niger, après 31 mois de plantation, Amani et al. (2021) ont obtenu chez *C. glutinosum* et *C. micranthum* des diamètres moyens (15,02 mm et 12,28 mm) statistiquement identiques aux valeurs obtenues par cette étude. Cependant, ils ont trouvé respectivement chez les deux espèces des hauteurs moyennes (40,58 cm et 41,33 cm) bien inférieures à celles de la présente étude. Ailleurs, au Burkina Faso, après 36 mois de plantation dans une parcelle témoin protégée, Thiombiano et al. (2003) ont trouvé respectivement chez *C. glutinosum* et *C. micranthum* une hauteur moyenne de 21,3 cm et 53,2 cm. Ces hauteurs sont également inférieures à celles obtenues dans cette étude pour les 2 espèces après 29 mois de plantation. Cette différence pourrait s'expliquer en partie par les différences de conditions écologiques des sites d'expérimentation. En outre, selon Thiombiano et al. (2003) : « la faible croissance enregistrée chez *C. glutinosum* s'expliquerait par une croissance racinaire dans les premières années de la plantule au détriment de la croissance aérienne ». Ce type de croissance des plantules a également été observé chez *Balanites aegyptiaca* par Abdou Habou et al. (2019) au Niger. Il convient de signaler également que certains auteurs ont remarqué l'abscission précoce des parties aériennes des jeunes plantules de certaines espèces autochtones à l'image de *Detarium microcarpum* où l'on remarque que pendant les premières années de plantation, la partie souterraine reste en vie, tandis qu'il y a un renouvellement continu de la partie aérienne pendant la saison des pluies (Bationo et al., 2001 ; Kouyaté, 2005). En somme, le comportement des espèces autochtones en plantation est fort variable, au Mali, Kelly & Cuny (2000) ont obtenu un accroissement en hauteur après 3 années de plantation

de 65 cm pour *Faidherbia albida*, 84 cm pour *Tamarindus indica*, 76 cm pour *Khaya senegalensis*, 107 cm pour *Prosopis africana*, 94 cm pour *Parkia biglobosa* et de 128 cm pour *Anogeissus leiocarpa*.

### Traits fonctionnels des plants

Les résultats sur les paramètres écophysiological nous orientent de prime à bord vers les notions de stratégies végétales ou écologiques abordées entre autres par (Lavorel et al., 1997 ; Westoby, 1998 ; Westoby et al., 2002 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Il apparaît qu'en plantation dans un même milieu, les espèces ligneuses ont réagi différemment face au changement des conditions du milieu. En fonction de certains attributs ou prédispositions génétiques certaines espèces arrivent à adopter des postures leur permettant de résorber les effets d'un changement des conditions du milieu. Pour Larcher (2003), les plantes présentent différents types d'adaptation, pouvant être regroupés en adaptation modulatrice (flexibilité fonctionnelle), adaptation modificatrice (plasticité phénotypique) et adaptation évolutive (plasticité génétique). Il s'agit donc des réponses à court et à long terme, de l'acclimatation et de l'évolution des génotypes.

Dans la présente étude, la teneur relative en eau (RWC) a certes varié significativement en fonction de l'espèce mais le contraste le plus significatif a été sa variation en fonction de la période de l'année, entre les mois d'août (pleine saison des pluies) et d'avril (saison sèche chaude). La teneur relative en eau a connu une diminution de l'ordre de 34% entre les deux périodes. Il a été admis que la RWC est un paramètre clé permettant de nous renseigner sur le statut hydrique de la plante (Lowlor & Cornic, 2002 ; Sanders & Arndt, 2012 ; Querejeta et al., 2022). Outre cela, différentes études ont montré qu'elle est susceptible de varier entre autres en fonction de la disponibilité en eau du sol (Albouchi et al., 2003 ; Farooq et al., 2012), de l'état sanitaire des plantes (Aref et al., 2013), de la salinité du sol et des saisons (Ly, 2015). Or, il a été souligné par Cornic (2008) que toute diminution de la RWC chez une plante correspond à une augmentation du déficit hydrique de même ordre chez la plante. Ainsi, dans la présente étude, lors de la diminution de la RWC, les observations sur le comportement (la physiologie) des plants ont révélé entre autres la chute partielle des feuilles chez *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* entre les mois de janvier et d'avril, la senescence précoce (à partir de novembre) et la chute totale des feuilles (dès janvier) chez *Combretum micranthum*, une induction de l'inclinaison vers le bas de la disposition des feuilles chez *Cassia siamea* dans le but de minimiser la surface absorbante. En effet, dans la commune de Massala, la senescence des feuilles a été observée chez les individus adultes de *C. micranthum* à partir de janvier-février et la chute des feuilles a été observée à partir de mars pour finir en avril-mai (Sidibé, 2021). La phénologie de la feuillaison de ces espèces au

stade juvénile montre bien que ces espèces ont manifesté des stratégies d'évitement. Selon Son (2010) et Huc (2011), en présence de déficit hydrique la première stratégie d'adaptation des plantes consiste à « éviter » tout stress hydrique (stratégie d'esquive) et la deuxième est la capacité à le « tolérer ». Par ailleurs, la concordance de la chute des feuilles avec la diminution de la RWC dans cette étude, confirme les conclusions de Ly (2014) sur la corrélation entre les deux événements chez certaines espèces.

Par rapport à la surface foliaire spécifique (SLA) qui indique la quantité de surface de feuille réalisée par gramme de matière sèche (Gross, 2007), elle a varié en fonction de l'interaction espèce x période. Sa plus grande valeur a été enregistré chez *A. auriculiformis* en pleine saison sèche chaude (avril), une période où la disponibilité en eau du sol ainsi que la teneur relative en eau des plantes ont considérablement chuté. Cette situation n'est pas sans conséquence car une forte SLA est également synonyme d'une plus grande activité photosynthétique (Gross, 2007 ; Bernard-Verdier, 2008 ; Querejeta et al., 2022). Dans de telles conditions, l'espèce *A. auriculiformis* se retrouve en face d'une contrainte supplémentaire. D'ailleurs, une partie de l'explication du taux de mortalité plus élevé chez l'espèce que chez les autres, pourrait résider dans cet état de fait. En effet, exceptée une seule espèce (*C. micranthum*) les autres ont porté les feuilles pendant les quatre périodes d'études. Elles peuvent donc être classées parmi les espèces sempervirentes. Différents travaux confirment bien cette hypothèse. Sidibé (2021) a observé l'état de la feuillaison en toutes les périodes de l'année chez les individus adultes spontanés de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* dans le cercle de Ségou. De même, Gnahoua & Louppe (2003) ont souligné que *A. auriculiformis* est une espèce sempervirente, ayant une période de chute de feuilles située entre août et décembre. Enfin, Arbonnier (2000) a évoqué le caractère persistant du feuillage de *C. siamea*. A l'opposé des trois autres espèces à feuillages persistants, *A. auriculiformis* a été la seule chez laquelle la valeur de la SLA a significativement augmenté en saison sèche chaude. En somme, étant donné que la SLA est une mesure de la quantité de surface foliaire absorbant la lumière par unité de matière sèche investie (Liu et al., 2009 ; Larcher, 2003), une très grande SLA pourrait donc être synonyme de la présence de jeunes feuilles en pleine expansion. Il a effectivement été observé dans cette étude chez la plupart des espèces la présence de nouvelles feuilles lors des pics de SLA.

En ce qui concerne la teneur en matière sèche foliaire (LDMC), elle indique la quantité de matériau structural de la feuille. Elle constitue un indice de conservatismisme dans le cycle biologique (Pierce et al., 2013). En effet, la teneur moyenne en matière sèche peut également être corrélée à la production de biomasse ou à la qualité du fourrage (Garnier & Navas, 2012 ; Michaud et al., 2014). Elle constitue également un trait clé qui pourrait être utilisé lorsque

des espèces provenant d'habitats ombragés sont impliquées dans les comparaisons (Wilson et al., 1999 ; Garnier & Navas, 2012). Dans cette étude, l'interaction Espèce x Période de l'année a eu un effet significatif sur sa valeur moyenne qui a varié entre 25,4% en août chez *Piliostigma reticulatum* et 65,5% en avril chez *Cassia siamea*. Quel que soit l'espèce, la plus forte LDMC a été obtenue pendant la période moins humide où la RWC a diminué. Ceci dénote également la sensibilité de ce paramètre mesuré sur des jeunes plants en plantation à la disponibilité en eau du sol.

### **Relations entre les traits fonctionnels étudiés**

L'ensemble des traits fonctionnels étudiés (RWC, SLA et LDMC) sont significativement corrélés entre eux. Ainsi il est possible de prédire les uns en fonction des autres. Des résultats similaires ont été obtenus ailleurs par Wilson et al. (1999), Garnier et al. (2001), Roche et al. (2004), Li et al. (2005), Liu et al. (2008). Tout comme dans la présente étude, toutes espèces confondues, ces auteurs ont trouvé une corrélation significative et négative entre la teneur en matière sèche foliaire (LDMC) et la surface foliaire spécifique (SLA).

### **Conclusion**

A l'exception de *Acacia auriculiformis* toutes les autres espèces ont eu un taux de survie très élevé (>92%). Le diamètre au collet et la hauteur totale des plants ont varié significativement en fonction des espèces. La teneur relative en eau des plants a varié significativement en fonction de l'espèce et de la période de l'année. Quant à la surface foliaire spécifique et à la teneur en matière sèche foliaire, elles ont varié significativement en fonction l'effet combiné de l'espèce avec la période de l'année (interaction Espèce x Période). L'état hydrique du sol a été prépondérante à la survie et à la croissance des plants au stade juvénile. Entre la saison des pluies (août) et la saison sèche chaude (avril), le changement du statut hydrique du sol s'est matérialisé par la diminution de l'ordre de 34% en moyenne de la teneur relative en eau des plants chez l'ensemble des espèces. Celles qui avaient des prédispositions ou des attributs particuliers sont arrivées à ajuster certains de leurs paramètres écophysologiques à l'image de la surface foliaire spécifique ou à adopter des stratégies d'évitement telles que la défoliation totale (chez *Combretum micranthum*), la défoliation partielle (chez *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) ou l'inclinaison des feuilles (chez *Cassia siamea*) pour amenuiser leurs activités foliaires. En somme, les résultats des études sur les traits fonctionnels (ou écophysologiques) des espèces au stade juvénile peuvent constituer des baromètres orientant le choix des espèces à des fins de plantation.

## Conflits d'intérêts

Il n'y a aucun conflit d'intérêt lié à la publication de cet article.

## References:

1. AEDD. (2011). *Politique Nationale sur les Changements Climatiques (PNCC). Rapport final* (Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD)).
2. Abdou Habou, M. K., Rabiou H., Abdou L., Abdourahamane Illiassou, S., Sanoussi Issoufou, A. A. E., Soumana, A., & Mahamane A. (2019). Germination et croissance des plantules d'une espèce fruitière indigène au Niger : *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2) : 693-703. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.10>
3. Albouchi, A., Béjaoui, Z., & El Aouni, M. H. (2003). Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la Croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. *Sécheresse*, 14(3), 137-142.
4. Amani, A., Ichaou, A., Karim, S., & Mahamane, A. (2021). Impacts d'une technique de restauration de terre dégradée sur la survie et la croissance des plants de quatre espèces de combretaceae en zone sahélienne du Niger. *European Scientific Journal*, 17(43), 134-157. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134>
5. Arbonier, M. (2000). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD/MNHN/UICN.
6. Aref, I., El Atta, H., El Obeid, M., Ahmed, A., Khan, P., & Iqbal, M. (2013). Effect of water stress on relative water and chlorophyll contents of *Juniperus procera* Hochst. Ex Endlicher in Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 10(4), 681-685.
7. Ariori, S. L., & Ozer, P. (2005). Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29, 61-68.
8. Bationo, B. A., Ouedraogo, J. S., Alexandre, D.-Y., & Guinko, S. (2001). Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(2), 87-94.
9. Bationo, B. A., Some, N. A., Ouedraogo, S. J., & Kalinganire, A. (2010). Croissance comparée des plantules de cinq espèces ligneuses soudaniennes élevées en rhizotron. *Sécheresse*, 21(3), 196-202.
10. Bernard-Verdier, M. (2008). *Histoire évolutive de deux traits fonctionnels de plantes* [Rapport de stage, M2 Ecologie, Biodiversité et Evolution]. Université Paris Sud 11. ENS AgroParisTech.
11. Clinquart, P. (2010). *Représentations et usages des espèces ligneuses : Une approche par les traits fonctionnels pour une ingénierie des*

- systèmes agroforestiers en zones arides et semi-arides. Cas des parcs agroforestiers de la zone de Tiby au Mali* [Mémoire de fin de fin d'études pour obtenir le diplôme d'Ingénieur en Agriculture]. Ecole d'ingénieurs de Purpan.
12. Cornic, G. (2008). *Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire : De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc* [Cours d'écophysologie]. Université Paris Sud 11.
  13. Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., Vranken, I., Maiga, M., & Bogaert, J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(2), 97-107.
  14. Farooq, M., Hussain, M., Abdul Wahid, & Siddique, K. H. M. (2012). Drought Stress in Plants : An Overview. In *Plant responses to drought stress* (Aroca R., p. 1-33). Springer-Verlag.
  15. Ferry-Graham, L. A., & Gibb, A. C. (2008). Ecophysiology. *Encyclopedia of Ecology*, 2(3), 346-349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00531-X>
  16. Garnier, E., Laurent, G., Bellmann, A., Debain, S., Berthelie, P., Ducout, B., Roumet, C., & Navas, M.-L. (2001). Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New phytologist*, 152(1), 69-83.
  17. Garnier, E., & Navas, M.-L. (2012). A trait-based approach to comparative functional plant ecology : Concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 365-399. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0036-y>
  18. Gnahoua, G.-M., & Louppe, D. (2003). *Acacia auriculiformis : Fiche technique* (p. 2). CIRAD-Forêt.
  19. Gross, N. (2007). *Mécanismes de structuration des prairies subalpines : Apport des traits fonctionnels* [Thèse de doctorat]. Université J. FOURIER.
  20. Huc, R. (2011). Les réponses des arbres aux contraintes climatiques : Aspects écophysologiques. *Forêt méditerranéenne*, 32(2), 167-172.
  21. Kassambara, O., Sylla, M., Sénou, O., Karembé, M., Sidibé, S., & Sarra, M. (2022). Identification des espèces de plantes autochtones utilisées pour la production de bois de chauffe dans la zone soudanienne nord du Mali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(5): 1992-2008. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.14>

22. Kelly, B. A., & Cuny, P. (2000). Plantation d'espèces forestières locales sur sol hydromorphe. Bilan d'une expérimentation sylvicole au sud du Mali. *Revue forestière française*, 52(5), 453-466.
23. Kouyaté, A. M. (2005). *Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de Detarium microcarpum Guill. Et Perr. Au Mali*. Thèse de doctorat, Université de Ghent.
24. Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology : Ecophysiology and stress physiology of functional groups* (4th éd.). Springer Science & Business Media.
25. Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J., & Forbes, T. D. A. (1997). Plant functional classifications: From general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(12), 474-478. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(97\)01219-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01219-6)
26. Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275-294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
27. Li, Y., Johnson, D. A., Su, Y., Cui, J., & Zhang, T. (2005). Specific leaf area and leaf dry matter content of plants growing in sand dunes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 127-134. <https://doi.org/10.7016/BBAS.200504.0127>
28. Liu, J., Zeng, D., Lee, D. K., Fan, Z., & Zhong, L. (2008). Leaf traits and their interrelationship of 23 plant species in southeast of Keerqin Sandy Lands, China. *Frontiers of Biology in China*, 3(3), 332-337. <https://doi.org/10.1007/s11515-008-0050-x>
29. Liu, T., Zhang, C., Yang, G., Wu, J., Xie, G., Zeng, H., Yin, C., & Liu, T. (2009). Central composite design-based analysis of specific leaf area and related agronomic factors in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, 111(1-2), 92-96. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.11.001>
30. Loi N°10-028. (2010). *Loi déterminant les principes de gestion des ressources du domaine forestier national* (p. 34). Assemblée Nationale du Mali.
31. Ly, M. O. (2014). *Physiologie de la germination des graines et traits fonctionnels de plants de Jatropha curcas L. introduits en milieux salés* [Thèse de Doctorat]. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
32. Madjimbe, G., Goalbaye, T., Belem, M. O., & Ngarikla, B. (2018). Evaluation des ressources ligneuses et leur exploitation comme bois de chauffe et de service dans le Département de Barh-kôh au sud du

- Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6), 2856-2870. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.30>
33. Mairie de la commune de Massala. (2018). *Monographie sommaire de la commune rurale de Massala* (p. 6). Mairie de la commune de Massala.
  34. Michaud, A., Plantureux, S., Pottier, E., & Baumont, R. (2015). Links between functional composition, biomass production and forage quality in permanent grasslands over a broad gradient of conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 153(5), 891-906. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000653>
  35. Nouvellet, Y., Sylla, M. L., & Kassambara, A. (2003). La production de bois d'énergie dans les jachères au Mali. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 276(2), 5-15.
  36. Paco, F. P. (2010). *Protocole de mesure des caractéristiques liées à la tolérance à la sécheresse, version française, Document de travail du Projet FunciTree* (p. 14). Institut d'Economie Rurale (IER).
  37. Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 61, 167-234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
  38. Pierce, S., Brusa, G., Vagge, I., & Cerabolini, B. E. (2013). Allocating CSR plant functional types : The use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants. *Functional Ecology*, 27(4), 1002-1010. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12095>
  39. Querejeta, J. I., Prieto, I., Armas, C., Casanoves, F., Diémé, J. S., Diouf, M., Yossi, H., Kaya, B., Pugnaire, F. I., & Rusch, G. M. (2022). Higher leaf nitrogen content is linked to tighter stomatal regulation of transpiration and more efficient water use across dryland trees. *New Phytologist*, 235, 1351-1364. <https://doi.org/10.1111/nph.18254>
  40. Rakotoniaina, P. (1993). *Rapport de campagne 1992-1993 sur la convention FOFIFA-Projet DEF/GPF, volet « Recherche à Mahajanga »*. CENRADERU-FOFIFA (p. 15). CENRADERU-FOFIFA.
  41. Roche, P., Díaz-Burlinson, N., & Gachet, S. (2004). Congruency analysis of species ranking based on leaf traits : Which traits are the more reliable? *Plant Ecology*, 174(1), 37-48.
  42. Sanders, G. J., & Arndt, S. K. (2012). Osmotic Adjustment Under Drought Conditions. In *Plant Responses to Drought Stress* (Aroca R., p. 199-229). Springer-Verlag.

43. Sanogo, S., Sacandé, M., Van Damme, P., & NDiaye, I. (2013). Caractérisation, germination et conservation des graines de *Carapa procera* DC.(Meliaceae), une espèce utile en santé humaine et animale. *BASE*, 17(2), 321-331.
44. Sidibé, L. (2021). *Etude de quelques traits fonctionnels d'espèces ligneuses autochtones productrices de bois de chauffe dans la commune rurale de Massala (Cercle de Ségou) : Cas de Combretum micranthum G. Don, Combretum glutinosum Perr. Ex DC et Piliostigma reticulatum (D.C.) Hochst* [Mémoire de Master]. Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB).
45. Son, D. (2010). *Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (Sesamum indicum L.)* [Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA)]. Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).
46. Soulama, S., Kadeba, A., Nacoulma, B. M. I., Traoré, S., Bachmann, Y., & Thiombiano, A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87, 8047-8064. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.6>
47. Thiombiano, A., Wittig, R., & Guinko, S. (2003). Conditions de la multiplication sexuée chez des Combretaceae du Burkina Faso. *Revue d'écologie (Terre Vie)*, 58, 361-379.
48. Thomas, I., & Samassekou, S. (2003). *Rôle des plantations forestières et des arbres hors forêt dans l'aménagement forestier durable en République du Mali. Rapport par pays*. FAO.
49. Westoby, M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and soil*, 199(2), 213-227.
50. Westoby, M., Falster, D. S., Moles, A. T., Vesk, P. A., & Wright, I. J. (2002). Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual review of ecology and systematics*, 33, 125-159.
51. Wilson, P. J., Thompson, K. E. N., & Hodgson, J. G. (1999). Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 143(1), 155-162.
52. Yossi, H., Niamaly, N., Dembélé, B., & Sanogo, M. (1988). *Projet arbres Autochtones* (p. 120) [Rapport technique final]. INRZH/DRFH/SRBEA.