

Effet du rythme d'arrosage sur le comportement des plants de *Combretum micranthum* G. Don, *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. et *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. en pépinière

Ousmane KASSAMBARA^{1*}, Moussa SYLLA¹, Oumar SENOU¹, Moussa KAREMBE²,
Abach COULIBALY¹ et Lassine SIDIBE¹

¹ Institut d'Economie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba,
Délégation Programme Ressources Forestières, BP 262 Bamako, Mali

² Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Faculté des Sciences et
Techniques (FST), Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET), Bamako, Mali

(Reçu le 22 Octobre 2025 ; Accepté le 02 Décembre 2025)

* Correspondance, courriel : ousmikass2@yahoo.fr

Résumé

Au Mali, en zone soudano-sahélienne, en plus des pressions anthropiques, l'eau est un facteur limitant de la régénération et de la productivité végétale des ligneux. Malgré leurs multiples usages, ces espèces ligneuses sont en diminution dans les terroirs villageois. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude. Elle a pour objectif d'évaluer le comportement des plantules de *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* soumises à différents régimes hydriques. Les paramètres évalués ont porté sur le taux de survie, l'accroissement en hauteur, l'accroissement en diamètre au collet, l'épaisseur des feuilles et la teneur relative en eau (RWC) des plantules. Pour ce faire, il a été adopté un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 3 traitements répétés 3 fois. Les traitements étaient : arrosage quotidien (T1), arrosage 2 fois par semaine (T2) et arrosage 1 fois par semaine (T3). Chaque unité expérimentale était constituée de 15 plantules âgées de deux mois. Après trois mois d'application des trois traitements en saison sèche (de février à avril 2021), les résultats montrent chez les trois espèces, une diminution hautement significative du taux de survie, de l'accroissement en hauteur et de l'accroissement en diamètre au collet des plantules arrosés une fois par semaine en comparaison aux plantules arrosés quotidiennement. Toutefois, la teneur relative en eau a diminué significativement uniquement chez les plantules de *C. glutinosum* alors que l'épaisseur des feuilles a diminué significativement uniquement chez les plantules de *P. reticulatum*. En conclusion, le rythme d'arrosage a induit une certaine variabilité des paramètres morpho-physiologiques des plantules des trois espèces. En perspective, cette étude doit être approfondie en tenant compte du type de substrat et en l'élargissant à d'autres espèces ligneuses à usages multiples.

Mots-clés : *contrainte hydrique, espèces ligneuses, traits fonctionnels, croissance, Mali.*

Abstract

Effect of watering rhythm on the behaviour of *Combretum micranthum* G. Don, *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. and *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. seedlings in the nursery

In Mali, in Sudano-Sahelian zone, in addition to human pressures, water is a limiting factor for the regeneration and productivity of woody plants. Despite their multiple uses, these woody species are declining in village areas. It is in this context that the present study is situated. Its objective is to evaluate the behaviour of *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* and *Piliostigma reticulatum* seedlings subjected to different water regimes. The parameters assessed were survival rate, height increment, collar diameter increment, leaf thickness and relative water content (RWC) of the seedlings. For this purpose, a randomized complete block design was adopted with 3 treatments repeated 3 times. The treatments were: daily watering (T1), watering twice a week (T2) and watering once a week (T3). Each experimental unit consisted of 15 two-month-old seedlings. After three months of application of the three treatments in the dry season (February to April 2021), the results show in all three species, a highly significant reduction in survival rate, height increment and collar diameter increment of seedlings watered once a week, compared to seedlings watered daily. However, the relative water content decreased significantly only in *C. glutinosum* seedlings, while leaf thickness decreased significantly only in *P. reticulatum* seedlings. In conclusion, the watering rhythm induced a certain variability in the morpho-physiological parameters of seedlings of the three species. In the future, this study should be further developed, taking into account the type of substrate and extending it to other multipurpose woody species.

Keywords : *water stress, woody species, functional traits, growth, Mali.*

1. Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, le déficit hydrique impacte considérablement la distribution, la croissance et le développement des espèces forestières [1, 2]. Face à ce déficit, le comportement des plantes change d'une espèce à une autre à travers des modifications d'ordre morphologique, physiologique ou biochimique [3, 4]. En Afrique, la littérature abonde d'études sur les réponses des plantes cultivées (mil, niébé, maïs, blé, etc.) aux contraintes hydriques [5 - 9]. Par contre, elle reste peu fournie sur le comportement des espèces ligneuses en réponse à une contrainte hydrique [2, 10]. La présente étude porte sur trois espèces ligneuses autochtones à usages multiples (*C. micranthum*, *C. glutinosum*, *P. reticulatum*) fortement exploitées au Mali [11]. En effet, elles font parties des espèces encore fréquemment rencontrées dans les paysages soudanien-nord et sahélien du Mali malgré la rudesse du climat [11-14]. Toutefois, en milieu naturel, étant donné que le renouvellement du capital ligneux se fait essentiellement par la régénération naturelle [15], qui est influencée par les irrégularités de la pluviométrie et la disponibilité en eau du sol [2, 16], il importe d'approfondir les connaissances sur le comportement des espèces ligneuses autochtones face à la contrainte hydrique notamment à leur stade juvénile. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le comportement (la survie, l'accroissement en hauteur et en diamètre au collet, l'épaisseur des feuilles et la teneur relative en eau) des plantules de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* soumises à différents régimes hydriques.

2. Matériel et méthode

2-1. Matériel

2-1-1. Présentation du site d'étude

L'étude a été menée dans la pépinière de la Délégation du Programme Ressources Forestières du Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba (latitude $12^{\circ}39'18.99''$ N et longitude $7^{\circ}55'41.10''$ O), dans le district de Bamako au Mali (**Figure 1**). Le site est caractérisé par une alternance de saisons sèche et pluvieuse. La production des plants et la conduite des essais ont été effectuées entre les mois de novembre 2020 et avril 2021 en pleine saison sèche. Quelques paramètres climatiques (température et humidité relative) du site sont résumés dans le **Tableau 1**. Sur le site, durant la période d'étude, la température a varié entre 16,4 et 40,9°C alors que l'humidité relative de l'air a varié entre 17,1 et 73 %.

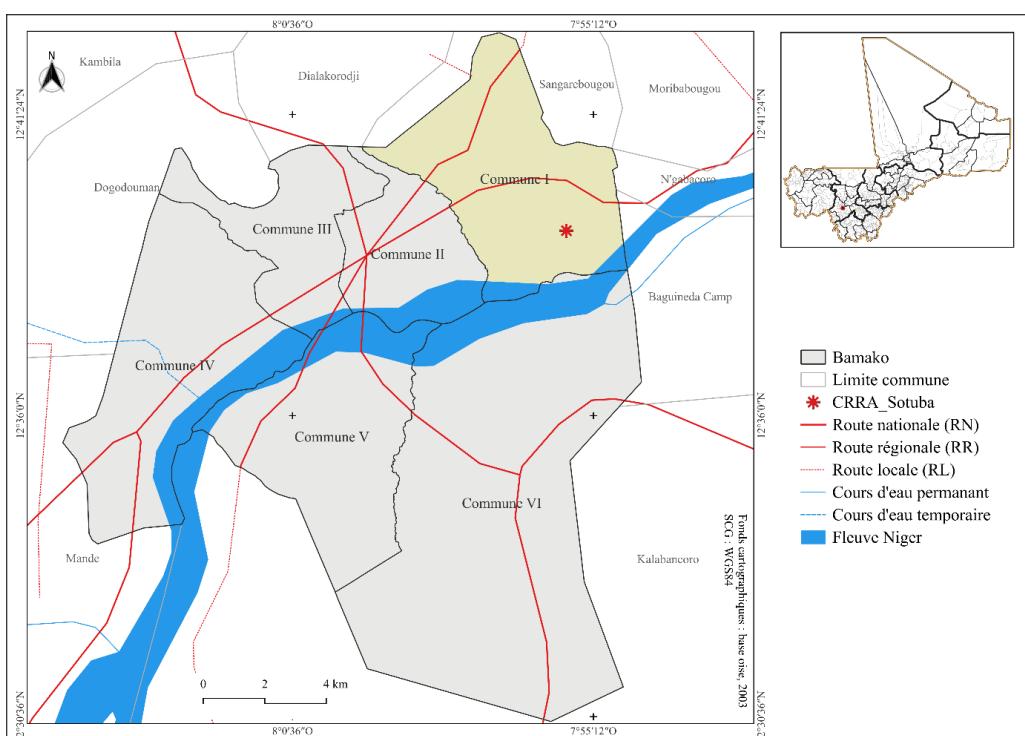


Figure 1 : Localisation du site d'expérimentation dans la commune I du district de Bamako

Tableau 1 : Quelques paramètres climatiques du site d'expérimentation

Paramètres	Novembre 2020	Décembre 2020	Janvier 2021	Février 2021	Mars 2021	Avril 2021
T min. (°C)	16,4	16,9	16,8	18,7	23,4	24,8
T max. (°C)	34,3	34,7	35	36,3	38,4	40,9
HR min. (%)	30,7	21,1	17,1	18,7	19,4	22,3
HR max. (%)	73	63,4	47	48,3	42,3	54,2

T : Température ; min. : minimale ; max. : maximale ; HR : Humidité relative.

Données fournies par l'Unité Agro-climatologie du CRRA de Sotuba.

2-1-2. Matériel végétal

Au cours de cette étude le matériel végétal utilisé était constitué de plants de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* âgés de deux mois.

2-1-3. Matériel technique

Comme matériel technique, l'étude a eu recours entre autres à : une règle graduée pour la mesure de la hauteur totale des plants, un pied à coulisse numérique pour la mesure du diamètre au collet et de l'épaisseur des feuilles, une balance électronique de précision 0,001g pour la mesure du poids des portions de tiges.

2-2. Méthodes

2-2-1. Production des plants des trois espèces ligneuses en pépinière

Avant la mise en place du dispositif expérimental, une quantité suffisante de plants des trois espèces a été produite dans des pots de dimensions 13 cm x 25 cm. Les semences des trois espèces ont été collectées sur des semenciers sains et matures dans les communes rurales de Konodimini et Massala (cercle de Ségou). Les graines ont subi un prétraitement spécifique conformément aux recommandations du Centre National de Semences Forestières (CNSF) du Burkina Faso [17], dans le but de lever la dormance tégumentaire et d'obtenir une germination rapide et homogène. A cet effet, les graines de *C. micranthum* et *C. glutinosum* ont été trempées dans l'eau ordinaire pendant 24 heures. Quant aux graines de *P. reticulatum*, elles ont subi un trempage dans l'acide sulfurique (98 %) pendant 30 minutes, suivi d'un trempage dans l'eau ordinaire pendant 24 heures. Après les prétraitements, les graines ont été semées en mi-novembre 2020 dans les pots remplis avec un substrat (mélange de 2 volumes de terreau pour un volume de sable). L'échelonnement de la germination des 3 espèces, a été suivi pendant deux semaines. A la fin de la germination, les plants des 3 espèces ont été arrosés quotidiennement (matin et soir) de décembre 2020 à janvier 2021.

2-2-2. Mise en place du dispositif de l'essai

Il a été constitué un essai avec chacune des trois espèces. Pour ce faire, il a été adopté pour chaque essai un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 3 répétitions et un facteur (rythme d'arrosage) à 3 niveaux de variation (T1 ; T2 ; T3) :

- T1 = Arrosage quotidien (matin et soir) ;
- T2 = Arrosage 2 fois par semaine (matin et soir), dans un intervalle de 4 à 5 jours, en l'occurrence les lundis et les jeudis ;
- T3 = Arrosage 1 fois par semaine (matin et soir), dans un intervalle de 8 jours, en l'occurrence les lundis.

Chaque répétition était composée de 3 unités expérimentales de 15 plants âgés de deux mois. La quantité d'eau appliquée par séance d'arrosage a été de 2 litres d'eau par unité expérimentale. L'attribution des traitements a été effectuée de façon aléatoire par répétition. Ainsi, pour chaque espèce, le dispositif était constitué de 9 unités expérimentales contenant chacune 15 plants. En somme, chaque essai était constitué de 45 plants par traitement soit de 135 plants pour tous les rythmes d'arrosage confondus. Les unités expérimentales ont été séparées de 50 à 60 cm afin de faciliter l'application des différents traitements et d'éviter la remontée capillaire de l'humidité pouvant survenir dans les pots des unités expérimentales non arrosées après l'application quotidienne du traitement T1. L'application des traitements hydriques a duré 3 mois (février à avril 2021). Les valeurs moyennes de la croissance initiale (diamètre au collet et hauteur) des plants soumis aux différents traitements sont consignées dans le **Tableau 2**. Les plans de masse des trois dispositifs expérimentaux sont présentés sur la **Figure 2**. Quelques images d'illustration des plants des trois espèces soumis aux différents régimes hydriques sont présentées sur la **Figure 3**.

Tableau 2 : Hauteur et diamètre au collet moyens des plants des 3 espèces soumis aux traitements T1, T2 et T3

Traitements	<i>C. micranthum</i>		<i>C. glutinosum</i>		<i>P. reticulatum</i>	
	D _{00i} (mm)	Hi (cm)	D _{00i} (mm)	Hi (cm)	D _{00i} (mm)	Hi (cm)
T1	1,57±0,3	6,33±1,3	1,16±0,2	5,65±1,9	2,08±0,3	12,03±2,8
T2	1,58±0,3	6,34±1,5	1,15±0,2	5,65±1,8	1,99±0,3	11,43±3,1
T3	1,50±0,3	6,42±1,6	1,21±0,2	5,84±1,6	2,10±0,4	11,07±3,2

D_{00i}: Diamètre au collet initial mesuré avant l'application des différents traitements. Hi : hauteur totale initiale mesurée avant l'application des différents traitements. Dans le tableau, les valeurs moyenne sont présentées sous forme Moyenne ± Ecart type.

Bloc I	<i>C. micranthum</i> -T2	<i>C. micranthum</i> -T3	<i>C. micranthum</i> -T1
Bloc II	<i>C. micranthum</i> -T1	<i>C. micranthum</i> -T3	<i>C. micranthum</i> -T2
Bloc III	<i>C. micranthum</i> -T3	<i>C. micranthum</i> -T2	<i>C. micranthum</i> -T1
Essai 1 : Dispositif expérimental de l'effet du rythme d'arrosage sur <i>C. micranthum</i> .			
Bloc I	<i>C. glutinosum</i> -T3	<i>C. glutinosum</i> -T2	<i>C. glutinosum</i> -T1
Bloc II	<i>C. glutinosum</i> -T1	<i>C. glutinosum</i> -T3	<i>C. glutinosum</i> -T2
Bloc III	<i>C. glutinosum</i> -T1	<i>C. glutinosum</i> -T2	<i>C. glutinosum</i> -T3
Essai 2 : Dispositif expérimental de l'effet du rythme d'arrosage sur <i>C. glutinosum</i> .			
Bloc I	<i>P. reticulatum</i> -T3	<i>P. reticulatum</i> -T2	<i>P. reticulatum</i> -T1
Bloc II	<i>P. reticulatum</i> -T3	<i>P. reticulatum</i> -T1	<i>P. reticulatum</i> -T2
Bloc III	<i>P. reticulatum</i> -T2	<i>P. reticulatum</i> -T3	<i>P. reticulatum</i> -T1
Essai 3 : Dispositif expérimental de l'effet du rythme d'arrosage sur <i>P. reticulatum</i> .			
Légende : T1, T2, T3= les trois traitements hydriques appliqués aux plantules des trois espèces.			

Figure 2 : Plans de masse des dispositifs expérimentaux de l'effet du rythme d'arrosage sur les plantules de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*

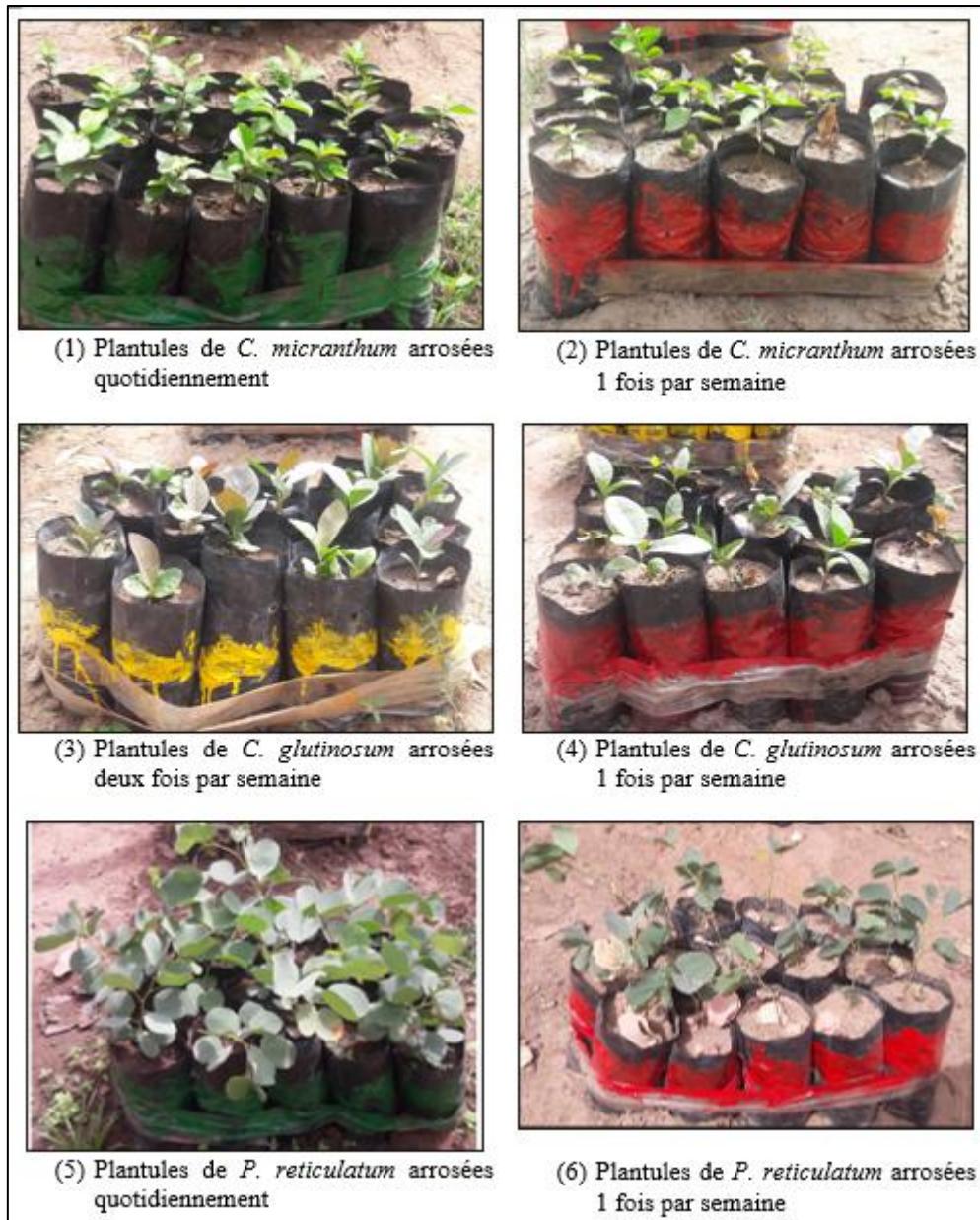


Figure 3 : Quelques images d'illustration des plantules de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* soumises aux différents régimes hydriques (1 mois après le début de l'expérimentation)

2-2-3. Paramètres collectés

2-2-3-1. Taux de survie (Ts en %)

Pour chaque espèce, le taux de survie a été calculé par traitement hydrique et par répétition suivant la **Formule 1** [18].

$$Ts = (NPV / NTP) * 100 \quad (1)$$

NPV : Nombre de plants vivants dans l'unité expérimentale à la fin de l'expérimentation.

NTP : Nombre total de plants constituant l'unité expérimentale au début de l'expérimentation.

2-2-3-2. Accroissement en hauteur (AH en cm)

Au début et à la fin de l'expérimentation, la hauteur totale des plants constituant chaque essai a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. L'accroissement en hauteur attribuable à un traitement hydrique donné correspond à la différence entre le niveau de croissance observé après 3 mois de traitement hydrique et la croissance initiale. Il a été calculé pour chaque plantule vivante à la fin de l'expérimentation selon la **Formule 2**[19].

$$AH = H_f - H_i \quad (2)$$

H_f : hauteur totale finale de la plantule mesurée après trois mois d'application des différents traitements ;
H_i : hauteur totale initiale de la plantule mesurée avant l'application des différents traitements.

2-2-3-3. Accroissement du diamètre au collet (AD₀₀ en mm)

Avant et après l'application des différents traitements, le diamètre au collet des plants constituant chaque essai a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse numérique. L'accroissement du diamètre au collet a été calculé pour chaque plantule vivante à la fin de l'expérimentation selon la **Formule 3**[19].

$$AD_{00} = D_{00f} - D_{00i} \quad (3)$$

D_{00f} : Diamètre au collet final de la plantule mesuré après trois mois d'application des différents traitements ;
D_{00i} : Diamètre au collet initial de la plantule mesuré avant l'application des différents traitements.

2-2-3-4. Traits fonctionnels : épaisseur des feuilles et teneur relative en eau des plants

Après trois mois d'application des différents traitements hydriques, un échantillon de 3 plants par unité expérimentale a été choisi au hasard. Au total, 9 plants ont été prélevés par traitement soient 27 plants dans chaque essai. Les plants sélectionnés ont été sacrifiés et leurs tiges ont été sectionnées au niveau du collet. Le prélèvement a été effectué entre 2h et 5h du matin dans le but d'éviter la perte d'eau des plantes par transpiration [20]. Après prélèvement, la partie de la tige sectionnée 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 à l'évaluation de l'épaisseur des feuilles et la teneur relative en eau ont été effectuées.

- Teneur relative en eau (RWC en %)

Pour chaque plant échantillonné, la teneur relative en eau a été calculée à partir des mesures effectuées sur une portion de tige selon la **Formule 4**[21] :

$$RWC = [(PF - PS) / (PT - PS)] * 100 \quad (4)$$

PF : poids frais de la portion de tige ; PS : poids sec de la portion de tige (séchée à l'étuve à 70 °C pendant 48h) ;
PT : poids turgescent de la portion de tige (saturée d'eau après 36 à 48h de trempage).

- Epaisseur des feuilles (mm)

Pour chaque plant échantillonné, une feuille sans défaut apparent a été choisie. L'épaisseur de chaque feuille a été mesurée en 3 points différents, à l'aide d'un pied à coulisse numérique tout en évitant les nervures. La moyenne des trois mesures effectuées correspond à l'épaisseur des feuilles du plant sélectionné. Les mesures et opérations ont été effectuées conformément au protocole standardisé [22].

2-2-4. Analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance à un facteur au seuil de 5 % avec le logiciel SPSS 21. En présence d'une différence significative le test de Newman et Keuls a été utilisé pour classer les moyennes. Avant l'analyse du taux de survie, les données ont subi une transformation angulaire [23].

3. Résultats

3-1. Taux de survie des plants

Quelle que soit l'espèce, l'analyse de variance a mis en évidence un effet hautement significatif ($P < 0,01$) du rythme d'arrosage sur la survie des plants (Figure 4). Le taux de survie le plus élevé a été observé chez les plants arrosés quotidiennement alors que le plus faible taux de survie a été observé chez les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir).

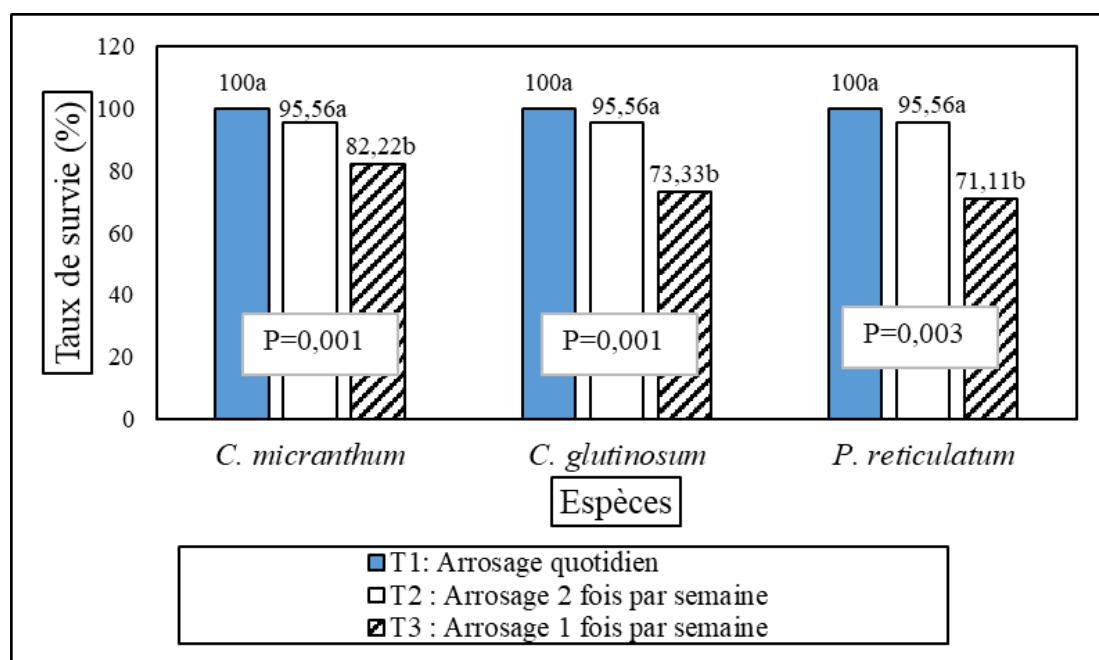


Figure 4 : Évolution du taux de survie (%) des plants de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* en fonction de différents régimes hydriques

3-2. Accroissement en hauteur des plants

Le rythme d'arrosage a eu un effet statistiquement significatif ($P < 0,001$) sur l'accroissement en hauteur des plantules des trois espèces après trois mois de traitement hydrique (Tableau 3). Quelle que soit l'espèce, l'arrosage quotidien (matin et soir) des plants a induit l'accroissement moyen en hauteur le plus important tandis que le plus faible accroissement moyen en hauteur a été obtenu avec les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir).

Tableau 3 : Accroissement moyen en hauteur (cm) des plants soumis à différents régimes hydriques

Traitements hydriques	Accroissement en hauteur (cm)		
	<i>C. micranthum</i>	<i>C. glutinosum</i>	<i>P. reticulatum</i>
Moyenne \pm Ecart type			
T1 : Arrosage quotidien	12,17 \pm 6,62a	4,05 \pm 2,51a	8,85 \pm 5,54a
T2 : Arrosage 2 fois par semaine	3,79 \pm 2,31b	3,51 \pm 2,07a	2,86 \pm 4,05b
T3 : Arrosage 1 fois par semaine	1,28 \pm 1,45c	1,46 \pm 1,26b	1,12 \pm 2,36b
Probabilité	<0,001	<0,001	<0,001
Signification	HS	HS	HS

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de 5 % ; HS : différence hautement significative ($P < 0,01$).

3-3. Accroissement du diamètre au collet des plants

Le rythme d'arrosage a eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$) sur l'accroissement du diamètre au collet des plantules des trois espèces (**Tableau 4**). Après trois mois de traitement hydrique, quelle que soit l'espèce, l'accroissement moyen du diamètre au collet le plus important a été obtenu avec les plants arrosés quotidiennement (matin et soir) tandis que le plus faible accroissement moyen du diamètre au collet a été obtenu avec les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir).

Tableau 4 : Accroissement moyen du diamètre au collet (mm) des plants soumis à différents régimes hydriques

Traitements hydriques	Accroissement en diamètre au collet (mm)		
	<i>C. micranthum</i>	<i>C. glutinosum</i>	<i>P. reticulatum</i>
Moyenne \pm Ecart type			
T1 : Arrosage quotidien	1,94 \pm 0,90a	0,74 \pm 0,54a	1,07 \pm 0,59a
T2 : Arrosage 2 fois par semaine	0,73 \pm 0,47b	0,33 \pm 0,38b	0,83 \pm 0,79ab
T3 : Arrosage 1 fois par semaine	0,13 \pm 0,40c	0,15 \pm 0,35b	0,56 \pm 0,59b
Probabilité	<0,001	<0,001	0,002
Signification	HS	HS	HS

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de 5 % ; HS : différence hautement significative ($P < 0,01$).

3-4. Teneur relative en eau des plants

La teneur relative en eau des jeunes plants a connu une variation hautement significative ($P=0,002$) chez *C. glutinosum* en fonction du rythme d'arrosage. Toutefois, chez *C. micranthum* et *P. reticulatum*, le régime hydrique n'a pas eu d'effets statistiquement significatifs sur la teneur relative en eau des plants (**Tableau 5**). Chez les trois espèces, la plus faible teneur relative en eau a été obtenue avec les plants arrosés une fois par semaine alors que la plus forte teneur relative en eau a été obtenue avec les plants arrosés quotidiennement.

Tableau 5 : Teneur relative en eau (%) des plants soumis à différents régimes hydriques

Traitements hydriques	Teneur relative en eau (%)		
	Moyenne \pm Ecart type		
	<i>C. micranthum</i>	<i>C. glutinosum</i>	<i>P. reticulatum</i>
T1 : Arrosage quotidien	87,33 \pm 7,19a	87,65 \pm 3,94a	81,39 \pm 5,95a
T2 : Arrosage 2 fois par semaine	83,58 \pm 2,88a	86,61 \pm 5,78a	77,92 \pm 4,21a
T3 : Arrosage 1 fois par semaine	82,17 \pm 5,23a	72,62 \pm 13,68b	75,18 \pm 9,63a
Probabilité	0,145	0,002	0,227
Signification	NS	HS	NS

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de 5% ; NS : différence non significative ; HS : différence hautement significative ($P < 0,01$).

3-5. Épaisseur des feuilles des plants

Le rythme d'arrosage n'a pas eu d'effet significatif sur l'épaisseur des feuilles des jeunes plants de *C. micranthum* et *C. glutinosum*. En revanche, chez *P. reticulatum* l'épaisseur des feuilles a varié significativement en fonction du traitement hydrique (Tableau 6). Chez cette dernière espèce, la plus grande épaisseur foliaire a été enregistrée chez les plants soumis à un arrosage quotidien (matin et soir) alors que la plus petite épaisseur foliaire a été obtenue chez les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir).

Tableau 6 : Épaisseur des feuilles (mm) des plants soumis à différents régimes hydriques

Traitements hydriques	Épaisseur des feuilles (mm)		
	Moyenne \pm Ecart type		
	<i>C. micranthum</i>	<i>C. glutinosum</i>	<i>P. reticulatum</i>
T1 : Arrosage quotidien	0,14 \pm 0,02a	0,17 \pm 0,02a	0,21 \pm 0,04a
T2 : Arrosage 2 fois par semaine	0,13 \pm 0,02a	0,17 \pm 0,02a	0,19 \pm 0,03ab
T3 : Arrosage 1 fois par semaine	0,13 \pm 0,01a	0,17 \pm 0,03a	0,16 \pm 0,03b
Probabilité	0,625	0,976	0,025
Signification	NS	NS	S

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de 5% ; NS : différence non significative ($P > 0,05$) ; S : différence significative ($P \leq 0,05$).

4. Discussion

4-1. Survie, Accroissement en hauteur et en diamètre au collet des plants

L'eau est l'élément vital pour la croissance et le développement des plantes. Elle permet le transport des substances nutritives, d'éléments issus du métabolisme et des déchets, la photosynthèse, la régulation de la température, la turgescence, etc. [24]. Pour les auteurs [24, 25], il y a un stress chez la plante quand l'état hydrique perturbe le métabolisme. Cela sous-entend qu'il y a des répercussions directes plus ou moins rapides sur la croissance des organes et leur développement [24, 25]. L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de croissance végétative en particulier le système foliaire [7]. Dans notre étude, il est indéniable que le rythme d'arrosage a induit une contrainte hydrique chez les trois espèces. Cette contrainte (déficit) a provoqué une réduction de l'accroissement en hauteur et de celui du diamètre au collet ainsi qu'une augmentation des cas de mortalité des plants. Plus l'intensité du déficit hydrique était élevée plus le contraste était grand. En effet, les plants arrosés une fois par semaine ont montré les plus faibles

accroissements en hauteur et en diamètre au collet ainsi qu'une plus forte mortalité à l'opposé des plants arrosés quotidiennement ainsi que ceux arrosés deux fois par semaine. Ces résultats vont dans le même sens que les trouvailles antérieures de certains auteurs [1, 4, 26 - 29] sur l'effet d'une contrainte hydrique sur différentes espèces ligneuses. En effet, il a été remarqué une réduction significative de la croissance en hauteur des plants de *Casuarina glauca* Sieb. et de manière proportionnelle à l'intensité du stress hydrique appliqué [26]. De même, il a été rapporté une réduction de la croissance en hauteur des jeunes plantules de *Populus cathayana*, *Albizia* sp. et *Eucalyptus microtheca* soumises à un stress hydrique [27]. Dans une étude au Burkina Faso [28], il a été trouvé qu'en pépinière, le déficit hydrique induisait une réduction du taux de survie et de la croissance végétative (hauteur et production de feuilles) chez *Combretum micranthum*, *Acacia senegal*, *Faidherbia albida*, *Jatropha curcas* et *Pterocarpus lucens*. Tout comme dans notre étude, en Algérie, plusieurs auteurs [1, 4, 29], ont constaté que le stress hydrique a entraîné la diminution de la croissance de la tige respectivement chez les plantules de *Argania spinosa* [1], *Robinia pseudoacacia* [4] et *Pistacia atlantica* [29]. Selon certains auteurs [29, 30], la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress hydrique. Toutefois, dans notre étude, nous pouvons noter que les trois espèces n'ont pas eu les mêmes comportements en fonction des différents traitements hydriques (rythmes d'arrosage). Face à un rythme d'arrosage de 2 fois par semaine (matin et soir) dans un intervalle de 4 à 5 jour, *C. glutinosum* a été la seule espèce à avoir une croissance en hauteur statistiquement similaire à celle obtenue avec un rythme d'arrosage quotidien (matin et soir). En revanche, *P. reticulatum* a été la seule espèce à avoir une croissance en diamètre au collet statistiquement similaire avec ces deux régimes hydriques (arrosage quotidien et arrosage 2 fois par semaine). En effet, la réduction de la hauteur de la tige pourrait s'expliquer par un retard dans la croissance végétative à la suite d'une baisse de divisions cellulaires induite par un déficit hydrique qui empêche l'absorption de l'eau par les racines [29]. Le fait que *C. glutinosum* est moins sensible à un stress modéré (arrosage 2 fois par semaine) pourrait aussi s'expliquer par son mécanisme de germination qui est épigé cryptogé et qui fait qu'au stade juvénile l'espèce privilégie la croissance racinaire aux dépens de la croissance caulinaire [18]. Un mécanisme qui pourrait conférer à l'espèce une certaine aptitude à supporter un stress modéré [18].

4-2. Teneur relative en eau des plants

La première manifestation du stress hydrique chez une plante est le flétrissement mais des recherches ont montré qu'on ne peut se baser sur le flétrissement du feuillage pour détecter le stress, car les fonctions métaboliques sont affectées chez une plante stressée avant que le stress ne soit visible. Il faut avoir recours à des mesures au niveau de la plante, du sol ou à des estimations [25]. La teneur relative en eau d'une plante rend compte de son statut hydrique et aussi de sa capacité à incorporer l'eau, particulièrement en situation de contrainte hydrique [5]. Chez *C. micranthum* et *P. reticulatum* la teneur relative en eau n'a pas connu une variation significative en fonction de l'intensité du rythme d'arrosage. Elle a varié de 87,33 à 82,17 % chez *C. micranthum* et de 81,39 à 75,18 % chez *P. reticulatum* respectivement chez les plants arrosés quotidiennement (matin et soir) et ceux arrosés une fois par semaine (matin et soir). En revanche, chez *C. glutinosum*, la teneur relative en eau a varié de manière significative en fonction de l'intensité du rythme d'arrosage. Elle a varié de 87,65 % chez les plants arrosés quotidiennement (matin et soir) à 72,62 % chez les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir). Des résultats comparables ont été obtenus avec *A. spinosa* [1], *P. atlantica* [29] et *R. pseudoacacia* [4], où l'on a noté une diminution de la teneur relative en eau en fonction de l'intensité du déficit hydrique. En effet, lors d'un déficit hydrique, la plante essaie de réguler son niveau d'alimentation en eau et de maintenir son volume cellulaire constant afin de poursuivre sa croissance [10]. Dans notre étude, la teneur relative en eau a évolué certes de manière différente chez les trois espèces mais elle est restée élevée ($> 72\%$) chez l'ensemble des espèces quel que soit le traitement hydrique appliqué, malgré des conditions climatiques rudes avec des températures et humidités relatives de

l'air atteignant respectivement 40,9°C et 18,7 %. Cela dénote que *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* disposent de la faculté de supporter la contrainte hydrique. En effet, la teneur relative en eau est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse [1, 31 - 33]. D'autres études ont rapporté des capacités similaires chez *P. atlantica* [29], *Ziziphus mauritiana* [1, 34] et *R. pseudoacacia* [4]. Il a été souligné que dans des conditions de stress hydrique modéré les plantules de *P. atlantica* gardent la faculté d'elever leur teneur relative en eau, en gardant l'état de turgescence [29]. Il a aussi été rapporté que *Z. mauritiana* est capable de maintenir sa teneur relative en eau élevée à hauteur de 75 % lors d'un stress hydrique sévère [1, 34]. Enfin, l'aptitude de *R. pseudoacacia* à garder une teneur relative en eau élevée à hauteur de $78,13 \pm 4,53\%$ après trois semaines d'arrêt d'arrosage a également été souligné [4].

4-3. Épaisseur des feuilles des plants

L'épaisseur des feuilles est un paramètre clé utilisé pour connaître les stratégies d'acquisition des ressources en eau des espèces ligneuses [35]. Dans cette étude, les différents traitements hydriques n'ont pas eu d'effet significatif sur l'épaisseur des feuilles de *C. micranthum* et *C. glutinosum*. Toutefois, l'épaisseur des feuilles de *P. reticulatum* a varié significativement en fonction du rythme d'arrosage. Au fur et à mesure que la contrainte hydrique s'accentuait, les feuilles de *P. reticulatum* devenaient de moins en moins épaisses. Cette espèce à l'opposé de *C. micranthum* et *C. glutinosum* a eu à moduler sa structure foliaire. En effet, il a été rapporté que la structure des feuilles est susceptible de varier en fonction de la nature et la durée de la contrainte hydrique [27, 36]. En outre, la littérature nous renseigne qu'un stress modéré induit au niveau des feuilles une diminution de l'épaisseur de l'épiderme supérieur et inférieur tandis qu'un stress sévère a un impact négatif sur l'épaisseur du mésophylle et du parenchyme palissadique [10].

5. Conclusion

Le rythme d'arrosage a induit une certaine variabilité des paramètres morpho-physiologiques des plantules de *C. micranthum*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*. Quelle que soit l'espèce, le taux de survie, l'accroissement en hauteur et l'accroissement en diamètre au collet ont diminué significativement chez les plants arrosés une fois par semaine (matin et soir) en comparaison aux plants arrosés quotidiennement (matin et soir). En ce qui concerne la teneur relative en eau des plants arrosés une fois par semaine, elle a diminué de manière significative uniquement chez *C. glutinosum*. Quant à l'épaisseur des feuilles des plants arrosés une fois par semaine, elle a connu une réduction significative uniquement chez *P. reticulatum*. Toutefois, cette étude a permis de révéler que dans des conditions climatiques où la température maximale et l'humidité relative minimale de l'air peuvent atteindre respectivement 36,3 à 40,9°C et 18,7 à 22,3 %, les plants des trois espèces arrosées une fois par semaine sont capables d'avoir un taux de survie satisfaisant (71,11 à 82,22 %) et de maintenir une teneur relative en eau élevée (72,62 à 82,17 %). Avec un rythme d'arrosage de deux fois par semaine (matin et soir), le taux de survie a augmenté à hauteur de 95,5 %. Ce qui dénote que ces espèces disposent de la faculté de tolérer un certain seuil de déficit hydrique. Ces espèces peuvent donc être utilisées dans les campagnes de reboisement au Mali pour la restauration des terres dégradées de la zone soudano-sahélienne. Un rythme d'arrosage de 2 fois par semaine (matin et soir) dans un intervalle de 4 à 5 jours, peut-être recommandé pour assurer un taux de survie satisfaisant et une croissance acceptable des plants de ces espèces.

Références

- [1] - S. BERKA et F. AÏD, "Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique", *Sécheresse*, Vol. 20, N°3 (2009) 296 - 302
- [2] - F. W. KAGAMBEGA, R. NANA, P. BAYEN, A. THIOMBIANO et J. I. BOUSSIM, "Tolérance au déficit hydrique de cinq espèces prioritaires pour le reboisement au Burkina Faso", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, Vol. 23, N°4 (2019) 245 - 56
- [3] - S. CHAFAI, "Etude de l'effet du stress hydrique sur une collection de lignées de *Medicago truncatula*", Mémoire de Magister en Biotechnologies Végétales, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Alger, (2012)
- [4] - M. TOUMI, S. BARRIS, S. BERKA et F. AÏD, "Effets du stress hydrique sur la physiologie et la morphologie de plants du robinier, *Robinia pseudoacacia*, d'Algérie", *Bois et Forêts des Tropiques*, 354 (2022) 7 - 17
- [5] - L. RADHOUANE, "Caractéristiques hydriques du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en présence de contraintes hydriques", *Comptes Rendus Biologies*, Vol. 331, N°3 (2008) 206 - 14
- [6] - F. AZZOUZ, "Les réponses morpho physiologiques et biochimiques chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) soumis à un stress hydrique", Mémoire de Magister, spécialité : Biologie végétale, Option : Ecophysiologie végétale, Université d'Oran, Algérie, (2009)
- [7] - S. CHAHBAR and M. BELKHODJA, "Water deficit effects on morpho-physiologicals parameters in durum wheat", *J. Fundam. Appl. Sci.*, Vol. 8, N°3 (2016) 1166 - 1181
- [8] - A. K. TOUDOU DAOUDA, S. ATTA, M. M. INOUSSA et Y. BAKASSO, "Mécanisme de tolérance à la sécheresse du niébé pendant la phase végétative", *Journal of Applied Biosciences*, 117 (2017) 37 - 43
- [9] - A. SI MERABET, "Effet du déficit hydrique sur la structure de la feuille et sa relation avec l'élaboration du rendement chez le blé dur", Mémoire de Master, Spécialité : génétique moléculaire et amélioration des plantes, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie, (2019)
- [10] - B. FAVREAU, "Impact du stress hydrique sur l'anatomie et la teneur en polyphénols des feuilles de 2 génotypes d'*Eucalyptus* au champ", Mémoire de Master, Spécialité : Biologie Fonctionnelle des plantes, Université Montpellier 2, France, (2012)
- [11] - O. KASSAMBARA, M. SYLLA, O. SENOU, M. KAREMBE, M. SARRA et S. SIDIBE, "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.*, Vol. 16, N°5 (2022) 1992 - 2008
- [12] - Y. NOUVELLET, M. L. SYLLA et A. KASSAMBARA, "La production de bois d'énergie dans les jachères au Mali", *Bois et Forêts des Tropiques*, Vol. 276, N°2 (2003) 5 - 15
- [13] - M. DIOP, B. KAYA, A. NIANG et A. OLIVIER, "Les espèces ligneuses et leurs usages : préférences des paysans dans le cercle de Ségou, au Mali", World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, (2005)
- [14] - P. CLINQUART, "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 d'études pour obtenir le diplôme d'Ingénieur en Agriculture, Ecole d'ingénieurs de Purpan, Toulouse, France, (2010)
- [15] - O. KASSAMBARA, O. SENOU, M. SYLLA, M. KAREMBE et I. SAMBAKE, "Comportement biophysique et écophysiologique de cinq espèces ligneuses en plantation dans la commune rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali)", *European Scientific Journal*, Vol. 19, N°6 (2023) 185 - 207
- [16] - A. A. BOUBACAR, S. DOUMA, A. DIOUF, M. D. AGÚNDEZ, R. ALIA et A. MAHAMANE, "Effets du stress hydrique et de la température sur la germination de quatre ligneux alimentaires prioritaires du Niger", *Afrique Science*, Vol. 14, N°3 (2018) 28 - 41

- [17] - CNSF, "Catalogue de semences forestières (forest seed catalog) 2012-2015", Centre National de Semences Forestières (CNSF), Burkina Faso, (2015)
- [18] - O. KASSAMBARA, "Etude écophysiologique de trois espèces forestières autochtones les plus utilisées pour la production de bois de chauffe dans le cercle de Ségou : cas des communes rurales de Konodimini et Massala en zone soudanienne nord du Mali", Thèse de doctorat, Spécialité : écophysiologie forestière, EDSTM, Mali, (2023)
- [19] - A. COULIBALY, "Effet du rythme d'arrosage sur le comportement de quelques espèces ligneuses productrices de bois de chauffe dans le Cercle de Ségou. Cas de *Combretum micranthum* G. Don, *Combretum glutinosum* Perr. ex DC, et *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst", Mémoire de fin de cycle Ingénieur, Spécialité : Eaux et Forêts, IPR/IFRA de Katibougou, Mali, (2019)
- [20] - I. AREF, H. EL ATTA, M. EL OBEID, A. AHMED, P. KHAN and M. IQBAL, "Effect of water stress on relative water and chlorophyll contents of *Juniperus procera* Hochst. ex Endlicher in Saudi Arabia", *Life Science Journal*, Vol. 10, N°4 (2013) 681 - 5
- [21] - D. W. LAWLOR and G. CORNIC, "Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants", *Plant, Cell & Environment*, Vol. 25, N°2 (2002) 275 - 94
- [22] - N. PEREZ-HARGUINDEGUY, S. DIAZ, E. GARNIER, S. LAVOREL, H. POORTER, P. JAUREGUIBERRY, M. S. BRET-HARTE, W. K. CORNWELL, J. M. CRAINE, D. E. GURVICH, C. URCELAY, E. J. VENEKLAAS, P. B. REICH, L. POORTER, I. J. WRIGHT, P. RAY, L. ENRICO, J. G. PAUSAS, A. C. DE VOS, N. BUCHMANN, G. FUNES, F. QUETIER, J. G. HODGSON, K. THOMPSON, H. D. MORGAN, H. TER STEEGE, M. G. A. VAN DER HEIJDEN, L. SACK, B. BLONDER, P. POSCHLOD, M. V. VAIERETTI, G. CONTI, A.C. STAVER, S. AQUINO and J. H. C. CORNELISSEN, "New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide", *Australian Journal of botany*, 61 (2013) 167 - 234
- [23] - P. DAGNELIE, "Théorie et méthodes statistiques : application agronomique", vol. 2, Ed. Les Presses agronomique de Gembloux, Gembloux, Belgique, (1980)
- [24] - D. SON, "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), Burkina Faso, (2010)
- [25] - A. PINDARD, "La relation stress hydrique-rendement du maïs en Bresse : quelle perspective de spatialisation ? Utilisation d'un simulateur de culture (STICS)", Mémoire d'ingénieur, Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon, France, (2000)
- [26] - A. ALBOUCHI, Z. BEJAOUI et M. H. EL AOUNI, "Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la Croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb.", *Sécheresse*, Vol. 14, N°3 (2003) 137 - 42
- [27] - H. B. SHAO, L. Y. CHU, C. A. JALEEL and C. X. ZHAO, "Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants", *Comptes Rendus Biologies*, Vol. 331, N°3 (2008) 215 - 25
- [28] - F. W. KAGAMBEGA, "Restauration des sols dégradés par afforestation : étude des réponses de cinq espèces ligneuses au stress hydrique et aux techniques de CES/DRS en zone Soudano-sahélienne du Burkina Faso", Thèse de doctorat, Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, (2013)
- [29] - F. Z. OUKARA, C. CHAOUIA et F. Z. BENREBIHA, "Contribution à l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantules du pistachier de l'atlas *pistacia atlantica* DESF", *Revue Agrobiologia*, Vol. 7, N°1 (2017) 225 - 32
- [30] - W. G. HOPKINS, "Physiologie végétale", Editions De Boeck Université, (2003)
- [31] - J. LEVIT, "Responses of Plants to Environmental Stresses", 2nd ed., vol. II, Ed. Academic Press, New York, (1980)

- [32] - M. MATIN, J. H. BROWN and H. FERGUSON, "Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in Barley", *Agronomy Journal*, Vol. 81, N°1 (1989) 100 - 5
- [33] - H. CHAFIKA, N. NSARELLAH, E. KELTOUM, M. SAID et S. UDUPA, "Effet du stress hydrique sur les critères physiologiques et biochimiques chez neuf génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum* L.)", *Revue "Nature & Technologie" B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, Vol. 11, (2013) 8 - 16
- [34] - S. C. CLIFFORD, S. K. ARNDT, J. E. CORLETT, S. JOSHI, N. SANKHLA, M. POPP and H. G. JONES, "The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.)", *Journal of Experimental Botany*, Vol. 49, N°323 (1998) 967 - 77
- [35] - M. SYLLA, "Contribution à l'étude de quelques traits fonctionnels d'espèces ligneuses à usages multiples dans les Communes Rurales de Dioro et de Farakou Massa, Région de Ségou (Mali)", Mémoire de Master en Sciences (Msc), Mention : Sciences Biologiques Appliquées, Option : Ecologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques (FST/USTTB), Bamako, Mali, (2017)
- [36] - S. A. ANJUM, X. Y. XIE, L. C. WANG, M. F. SALEEM, C. MAN and W. LEI, "Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress", *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 6, (2011) 2026 - 32