

Réponses au déficit hydrique de quatre espèces forestières du genre *Acacia* (*A. sieberiana*, *A. senegal*, *A. polyacantha* et *A. seyal*) utilisées dans les programmes de reboisement de la zone soudano-sahélienne du Cameroun

Chimène ABIB FANTA^{1*}, Robinson TCHOUMO TEBAYA¹, Mathias Julien HAND¹
et Adamou IBRAHIMA²

¹ Université de Maroua, Faculté des Sciences, Département des Sciences Biologiques, BP 814,
Maroua, Cameroun

² Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Département des Sciences Biologiques, BP 454,
Ngaoundéré, Cameroun

(Reçu le 25 Octobre 2024 ; Accepté le 16 Décembre 2024)

* Correspondance, courriel : abibfany3@gmail.com

Résumé

Ce travail vise à contribuer à la sélection et la production des espèces ligneuses adaptées aux contraintes climatiques de la Région de l'Extrême-Nord Cameroun pour les programmes d'afforestation. L'expérimentation s'est déroulée sous serre dans un milieu semi contrôlé. L'induction du stress a consisté à soumettre des jeunes plants des 4 espèces d'Acacia (*A. sieberiana*, *A. senegal*, *A. polyacantha* et *A. seyal*) d'un mois à divers fréquences d'arrosage (3 jours, 5 jours et 7 jours), suivant un dispositif en bloc factoriel dans un essai sous serre. Les performances de croissance, le comportement physiologique et les indices de tolérance des plants soumis au stress ont été mesurés pour chaque traitement. Les résultats montrent que les paramètres de croissance mesurés (hauteur, diamètre du collet, nombre de feuille et surface foliaire) sont négativement influencés par le déficit hydrique excepté la croissance racinaire qui augmente avec le stress hydrique. De même, le déficit hydrique a entraîné la baisse de l'assimilation nette du carbone et la transpiration chez les 4 espèces. La baisse de ces différents paramètres est plus marquée chez *A. polyacantha* et *A. sieberiana* d'où leur très faibles indices de tolérance en condition de stress sévère. *A. senegal* et *A. seyal* se sont avérées plus performantes du fait de leur faible sensibilité au déficit hydrique (25 %) et de leur taux de survie élevé (85 %). Ces deux dernières espèces constituent donc un matériel prometteur pour le reboisement des milieux soumis fréquemment à des déficits hydriques, comme l'Extrême-Nord du Cameroun.

Mots-clés : déficit hydrique, tolérance à la sécheresse, acacia, reboisement, zone semi-aride.

Abstract

Responses to water deficit of four forests species of the genus *Acacia* (*A. sieberiana*, *A. senegal*, *A. polyacantha* and *A. seyal*) highly valued in reforestation programmes in the Sudano-Sahelian zone of Cameroon

This work aims to contribute to the selection and production of woody species adapted to the climatic constraints of the Far North Region of Cameroon for afforestation programs. Experimentation took place in a semi-controlled green-house environment. Stress induction involved subjecting one-month-old seedlings of 4 *Acacia* species (*A. sieberiana*, *A. senegal*, *A. polyacantha* and *A. seyal*) to various watering frequencies (3 days, 5 days and 7 days), following a factorial block design in a green-house trial. Growth performance, physiological behavior and tolerance indices of stressed plants were measured for each treatment. The results showed that the growth parameters measured (height, crown diameter, number of leaves and leaf area) were negatively affected by water deficit, except for root growth, which increased with water stress. Similarly, water deficit led to a drop in net carbon assimilation and transpiration in all 4 species. The drop in these parameters was more marked in *A. polyacantha* and *A. sieberiana*, hence their very low tolerance indices under severe stress. *A. senegal* and *A. seyal* performed better due to their low sensitivity to water deficit (25 %) and high survival rate (85 %). These last two species therefore represent promising material for reforestation in environments frequently subject to water deficits, such as the Far North of Cameroon.

Keywords : *water deficit, drought tolerance, acacia, reforestation, semi-arid zone.*

1. Introduction

L'augmentation de la population couplée à la forte variabilité climatique observée ces dernières décennies a sérieusement affecté les grands équilibres écologiques [1] surtout ceux des savanes sèches [2]. De façon spéciale, dans la Région de l'Extrême-Nord du Cameroun, la surexploitation des espèces du genre *Acacia* a conduit à la raréfaction des peuplements naturels de ces essences [3] surtout celle de *A. sieberiana*, *A. polyacantha*, *A. senegal* et *A. seyal* à cause de leurs importances socio-économiques considérables [4]. En effet, ces espèces sont très prisées à cause de leur bois, gomme arabique (très recherchées sur le marché mondial), feuillages (très appréciés par les petits ruminants) et leur usage dans la pharmacopée [5 - 8]. La régénération naturelle de ces espèces est très faible à cause de la dormance tégumentaire de leurs graines et le piétinement des animaux. Dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun, plusieurs programmes de reforestation ont essayé de reconstituer les peuplements de ces espèces sans succès [9], l'une des raisons avancées est le fort taux de mortalité des plants après transplantation [10], ceci à cause de la canicule ressentie au cours de la longue saison sèche et la raréfaction d'eau entraînant de ce fait un état de stress hydrique chez les jeunes plants [11, 12]. Le stress hydrique est le résultat d'une période de sécheresse plus ou moins prolongée, cette dernière constitue un problème majeur dans les régions arides et semi-arides [13]. Les dégâts produits par le stress hydrique se manifestent tant sur le plant morphologique que physiologique [14, 15]. En effet, il affecte plusieurs variables dans la physiologie de la plante, telles que la régulation de la température foliaire [16], la conductance stomatique et la surface foliaire [17], ainsi que la photosynthèse [18] avec pour conséquence une limitation dans les processus de fixation du dioxyde de carbone [19]. Le stress hydrique affecte aussi l'expression de nombreux gènes [20]. L'objectif du présent travail vise à une analyse du comportement de quatre (04) espèces de *Acacia* (*A. sieberiana*, *A. polyacantha*, *A. senegal* et *A. seyal*) soumises à un stress hydrique, en effectuant une étude comparative de quelques mécanismes de tolérance afin de proposer des espèces à plants vigoureux pour la réussite des programmes de reforestation dans la zone sahélienne du Cameroun.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le présent travail a été réalisé dans la ville de Maroua, chef-lieu du Département du Diamaré dans la Région de l'Extrême-Nord du Cameroun (**Figure 1**). Le climat qui se vit est de type Soudano-Sahélien, dominé par deux saisons : une longue saison sèche (octobre à mai) et une courte saison des pluies (juin-septembre). La température moyenne annuelle oscille autour de 25°C - 28°C par ans selon l'année avec un pic à 45°C ressenti le plus souvent entre le mois de mars et avril. Cette zone à une pluviométrie qui varie entre 700 et 900 mm par ans. La végétation primitive de cette zone à quasiment disparu sur toute l'étendue du Département suite aux activités anthropiques [21]. C'est un peu plus loin dans les périphéries qu'on peut apercevoir une diversité végétale parsemée d'arbre et d'arbuste dominée par les épineux du genre *Acacia* et bien d'autres espèces tels que *Balanites aegyptiaca*, *Parkia biglobosa*, *Poupartia birrea*, *Anogeissus leiocarpus* [3].

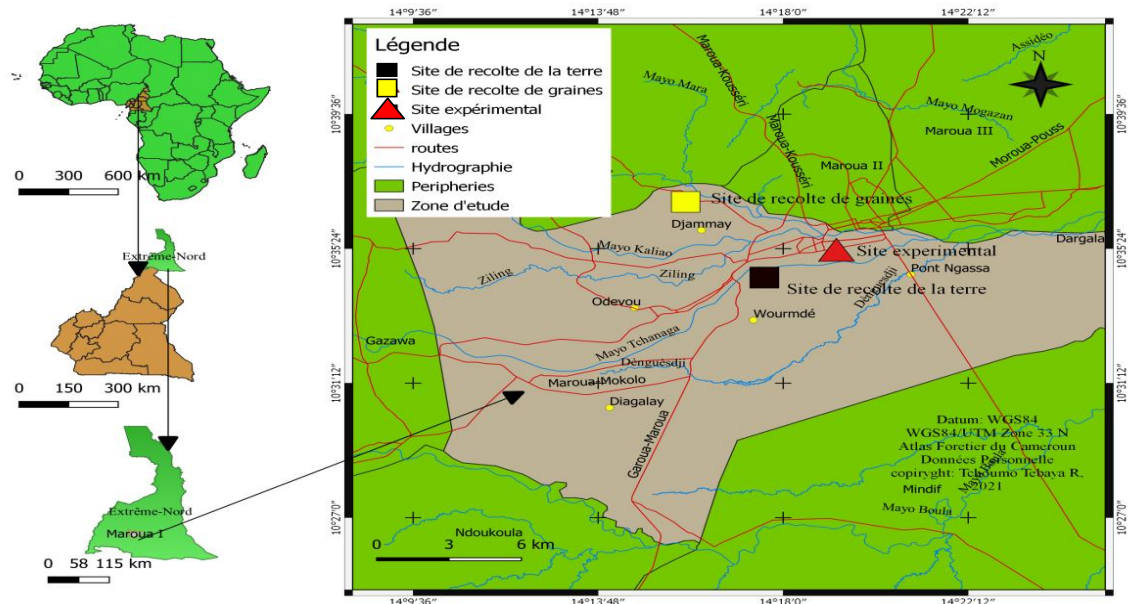


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude

2-2. Matériel végétal

L'expérience a porté sur des plants d'un mois d'âge des quatre espèces d'*Acacia* (*A. sieberiana*, *A. senegal*, *A. polyacantha* et *A. seyal*). Les plants sont issus de graines récoltées manuellement à la périphérie de Maroua (**Figure 1**) sur 10 pieds pour chaque espèce. L'expérimentation a été conduite sous serre à la station expérimentale de l'IRAD (Institut de la Recherche Agricole pour le Développement) de Maroua (antenne forêt).

2-3. Préparation des pots de semis et prétraitement des graines

Le substrat de culture est un sol riche en litière donc en matière organique récolté à 50 cm des pieds de manguiers mélangé au sable à 30 %. Ce mélange a ensuite été chargé dans des pots en plastique (de 35 cm de hauteur et 20 cm de diamètre) au 2/3 de leur capacité soit 2 kg de substrat. Le substrat utilisé est de type limono-argilo-sableux et est riche en matière organique et en nutriment (**Tableau 1**). Ce type de substrat a été choisi pour sa bonne capacité de rétention d'eau et également parce qu'il permet un bon

déploiement du système racinaire [22]. Dans un sol, il est également important de caractériser la capacité de rétention d'eau et la réserve utile (RU) qui est la quantité d'eau disponible cumulée pour les arbres sur toute la profondeur d'enracinement [23]. Dans la présente étude, la RU a été déduite de la différence entre les teneurs à la capacité au champ (pF 2,5) et au point de flétrissement permanent (pF 4,2) après analyse du substrat, afin de mieux catégoriser les niveaux d'induction du stress [24, 25].

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du substrat de sol utilisé pour l'expérience

Paramètre	Quantité
Propriétés physiques	
Argile (%)	30,27 ± 0,49
Limons (%)	37,21 ± 0,18
Sables (%)	32,52 ± 0,13
Densité apparente (g.cm ⁻³)	41,96 ± 0,11
pF 4,2 (%)	15,22 ± 0,015
RU	
Propriétés chimiques	
Matière organique totale (g.kg ⁻¹)	19,20 ± 0,38
Azote total (g.kg ⁻¹)	0,61 ± 0,05
Phosphore (cmol.kg ⁻¹)	51,26 ± 3,31
Potassium (cmol.kg ⁻¹)	39,18 ± 1,32
CEC (meq/100g)	8,63 ± 0,84
pH (H ₂ O)	6,57 ± 0,92

Avant semis, les graines ont subi un prétraitement pour lever la dormance tégumentaire. Ce prétraitement consistait à faire bouillir les graines pendant 20 minutes puis laisser refroidir et emballer les graines dans une serviette humide jusqu'apparition de la radicule. Les graines ainsi germées ont été portées en pots, soit deux par pot. Après un mois de culture, avant la stimulation du stress hydrique, dans chaque pot, le plant le moins vigoureux a été déraciné afin de réduire tout effet de compétition.

2-4. Dispositif expérimental

Les pots contenant les graines levées des quatre espèces ont été aléatoirement disposés dans quatre blocs et chaque bloc était subdivisé en casiers. Chaque casier contenait une espèce et dans chaque casier il y avait 3 pots donc 12 plants par espèces. La disposition des pots a été faite suivant un dispositif en bloc factoriel avec deux facteurs : variétés (04) et niveaux de stress (04) avec comme répétitions, les différents blocs (04). Ainsi, le dispositif comportait 192 plants (4 espèces x 4 niveaux d'arrosage x 4 blocs x 3 pots) et chaque unité expérimentale était constituée de plantules (3) de chaque casier. La durée du traitement hydrique a été de 90 jours elle a consisté à soumettre les plants à divers régimes d'arrosage définis comme suit :

- T0 : traitement témoin avec un arrosage régulier (chaque jour) à 100 % de la capacité au champ ;
- T3 : traitement avec un arrosage tous les 3 jours lors que 50 % de la réserve utile d'eau était perdue ;
- T5 : traitement qui a consisté à un arrosage tous les 5 jours lors que 75 % de la réserve utile d'eau était perdue,
- T7 : traitement qui a consisté à un arrosage tous les 7 jours lors que 90% de la réserve utile d'eau était perdue.

2-5. Mesure des paramètres de croissance

Trois mois après semi (90 jas), la hauteur des plants a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban et le diamètre du collet, à l'aide d'un pied à coulisse. Le nombre de feuille par plant a été manuellement compté et la surface foliaire quant à elle a été obtenue après avoir scanné les feuilles complètes (3 par plant), et

analysées les images par le logiciel Win-Rhizo (2002c Régent Instruments INC. Canada). La longueur des racines a été mesurée par un mètre ruban après avoir délicatement nettoyer les racines à l'eau de robinet. Les biomasses aériennes (BA) et racinaires (BR) ont été mesurées sur les plants précédemment déracinés, la partie aérienne est séparée de la partie racinaire au niveau du collet puis les différentes parties sont séparément ensachées dans des sacs en papier pour être séchées à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Une fois sortie de l'étuve, la masse sèche (Biomasse) a été déterminée par pesée.

2-6. Mesure des paramètres physiologiques

Au cours de cette étude, deux variables physiologiques importantes, qui renseignent sur l'état physiologique des plantes ont été mesurés au niveau des feuilles. Il s'agit du potentiel photosynthétique ou assimilation nette du carbone (Anet) et la transpiration foliaire (E) qui ont été mesurés à l'aide d'un analyseur de CO₂ LCi moderne portatif modèle CI-340.

2-7. Mesure des indices de performances.

Les indices de performance des espèces, tels que le taux de survie (TS) et l'indice de sensibilité à la sécheresse (ISS), ont été calculés à la fin de l'expérience (90j) pour le stress sévère (T7) suivant les différents traitements ; ceci en vue de caractériser et de comparer les degrés de tolérance des différentes espèces au déficit hydrique. Le taux de survie pour les différents traitements est calculé pour chaque espèce par la **Formule 1** :

$$TS(\%) = 100 \times \frac{NO - Nv}{NO} \quad (1)$$

avec, NO, le nombre de plantes au début de l'expérience (soit 10 pour tous les traitements) et Nv, le nombre de plantes vivantes à la fin de l'expérience.

Dans cette étude, l'indice de sensibilité à la sécheresse, a été déterminé à partir de la hauteur des plants par la **Formule 2** :

$$ISS(\%) = 100 \times \frac{PMT - PMS}{PMT} \quad (2)$$

avec, PMT, les valeurs de la hauteur sur les plantes témoins et PMS, celles mesurés sur les plantes stressées.

2-8. Analyses statistiques

Afin de pouvoir caractériser les différences qui existent entre les espèces étudiées concernant les différents paramètres mesurés, nous avons calculé certains paramètres statistiques à l'aide du logiciel d'analyse Statgraphic 0.8 et, à chaque fois qu'il existe des différences significatives, les moyennes ont été séparées et classées par le test Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) au seuil de 5 %.

3. Résultats

3-1. Effet du déficit hydrique sur la croissance

L'analyse de variance a révélé que de façon générale, la croissance des plants est significativement ($p < 0,05$) influencée par les traitements hydriques chez les quatre espèces (**Figure 2**).

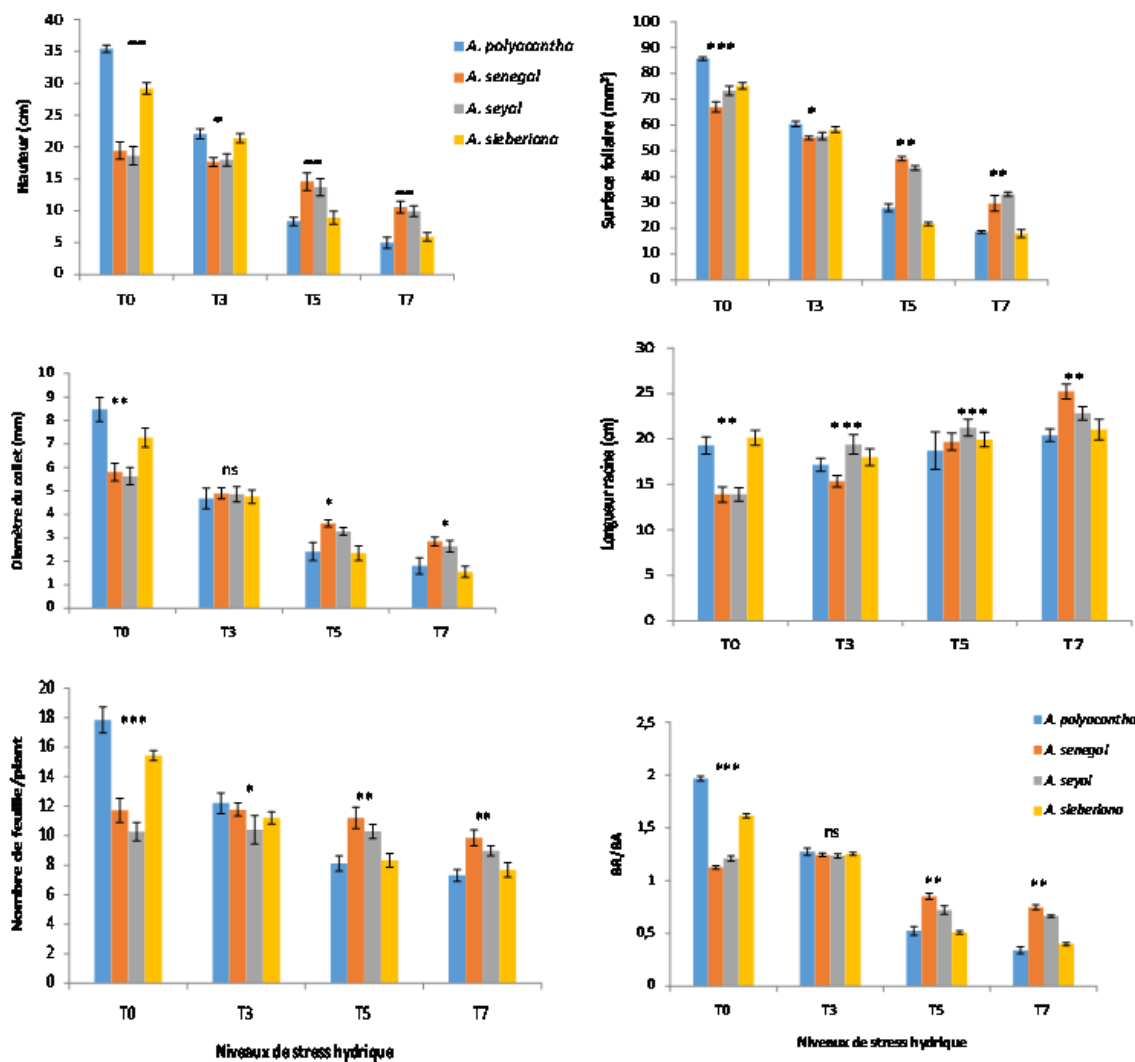


Figure 2 : Effet du traitement hydrique sur la croissance (hauteur, diamètre du collet, nombre de feuille, surface foliaire, longueur racinaire et rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne (BR/BA) des plants 90 jours après semis). T0.T7 représente les différents traitements hydriques

En effet, les valeurs de hauteurs sont plus élevées (35,43 ; 18,46 ; 16,64 et 26,21 cm respectivement pour *A. polyacantha*, *A. senegal*, *A. seyal* et *A. sieberiana*) chez le témoin (T0) suivi de celles du traitement T3, puis le traitement T5, et plus faibles chez les plants des traitements à stress hydrique sévère (T7) où il a été observé un taux de réduction de la hauteur d'environ 54 % chez *A. polyacantha* et 58 % chez *A. sieberiana*, contre seulement 38 % chez *A. senegal* et 25 % chez *A. seyal* par rapport à celles des plants témoins. Les tendances ainsi notées pour la hauteur des plants (Hp) sont similaires à celles observées pour le diamètre du collet (DC), le nombre de feuilles (NF) et la surface foliaire (SF) pour toutes les espèces. Toutefois, il est à relever que pour le niveau de stress très élevés (T7), les valeurs de ces paramètres ont été en général plus élevées chez *A. senegal* et *A. seyal*, et les plus faibles valeurs ont été notées chez *A. sieberiana* et *A. polyacantha*. Contrairement aux autres paramètres, la longueur des racines est positivement influencée par le stress hydrique. En effet, les plus faibles longueurs de racines ont été observées en absence de stress (T0), soit environ 19 cm pour *A. polyacantha* et *A. sieberiana* ; 14 cm pour *A. senegal* et *A. seyal*. Ces valeurs augmentent au fur et à mesure que le niveau de stress augmente car les valeurs obtenues à T0 sont passées à plus de 25 cm pour *A. senegal* et *A. seyal* ; à environ 21 cm pour *A. polyacantha* et *A. sieberiana*.

3-2. Effet du déficit hydrique sur le comportement physiologique des plants

De façon générale, l'assimilation nette du carbone (A_{net}) et la transpiration (E) sont significativement ($p < 0,05$) influencées par le niveau de stress chez les 4 espèces étudiées (**Tableau 2**). A_{net} est passée d'environ 15 (T0) à 7 $\mu\text{molCO}_2/\text{S}$ (T7) par contre, pour *A. senegal* et *A. sieberiana*, cette baisse est lente car A_{net} est passée d'environ 13 (T0) à 10 $\mu\text{molCO}_2/\text{S}$ (T7). Les mêmes observations ont été faites pour la Transpiration (E) où en absence de stress, *A. polyacantha* et *A. sieberiana* sont celles qui transpirent le plus avec respectivement 9,92 g/h et 8,31 g/h. *A. senegal* et *A. seyal* transpirent le moins mais cette transpiration est supérieure à celles de *A. polyacantha* et *A. sieberiana* pour les niveaux de stress hydriques élevés (T5 et T7).

Tableau 2 : Variation de l'assimilation nette du carbone (A_{net}) et de la transpiration (E) des quatre espèces en fonction du niveau de stress hydrique

Espèces	Traitement hydrique	A_{net} ($\mu\text{molCO}_2/\text{S}$)	E (g/h)
<i>A. polyacantha</i>	T0	15,16 ± 1,37d	9,92 ± 0,55c
	T3	13,18 ± 0,95c	9,87 ± 0,50c
	T5	10,08 ± 0,79b	6,15 ± 0,68b
	T7	06,84 ± 0,80a	3,25 ± 0,45a
P		0,0036	0,0028
<i>A. senegal</i>	T0	12,71 ± 0,61c	7,17 ± 0,54a
	T3	11,54 ± 0,52b	6,77 ± 0,26a
	T5	10,28 ± 0,24a	6,67 ± 0,26ab
	T7	10,15 ± 0,61a	5,46 ± 0,55b
P		0,0001	0,0017
<i>A. seyal</i>	T0	12,50 ± 0,53b	7,08 ± 0,33a
	T3	12,40 ± 0,52b	6,64 ± 0,10a
	T5	11,25 ± 0,63a	5,48 ± 0,05b
	T7	10,19 ± 0,34a	5,44 ± 0,13b
P		0,0011	0,0025
<i>A. sieberiana</i>	T0	14,65 ± 0,96d	8,31 ± 0,07a
	T3	11,47 ± 2,03c	7,20 ± 0,15a
	T5	09,43 ± 1,09b	5,52 ± 0,25b
	T7	06,82 ± 1,09a	3,45 ± 0,49b
P		0,0002	0,0041

3-3. Variation des indices de performance selon les traitements hydriques

En considérant uniquement les traitements au stress hydrique sévère (T7), l'analyse de variance montre une variation hautement significative de l'ISS ($p = 0,0001$) et de TS ($p = 0,0003$) suivant les espèces étudiées (**Figure 3**). Sous ces conditions, la sensibilité à la sécheresse estimée à partir de la hauteur des plants a varié significativement ($p < 0,05$) suivant les espèces, ainsi que les taux de survie. En effet, *A. polyacantha* et *A. sieberiana* ont l'ISS le plus élevé (soit environ 89 %) et TS le plus faible (environ 20 %). Ce résultat nous amène à dire que ces deux espèces sont moins résistantes au stress hydrique que *A. senegal* et *A. seyal*.

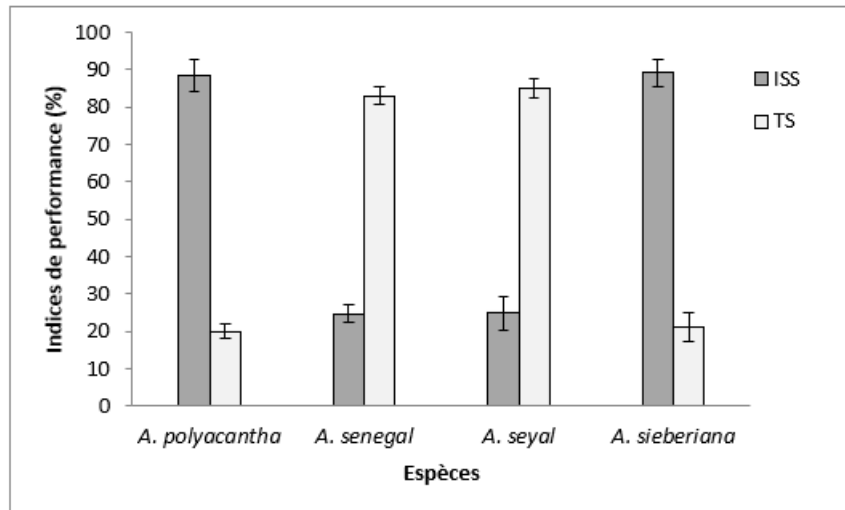


Figure 3 : Performance des quatre espèces dans les traitements à stress hydrique sévère en fin d'expérimentation

4. Discussion

Les résultats obtenus ont montrés des effets réducteurs sur la croissance des plantes quel qu'en soit le niveau de contrainte hydrique. Ce résultat a aussi été relevé sur les espèces forestières comme *A. nilotica* [12], *Faidherbia albida*, *Acacia senegal*, *Jatropha curcas*, *Combretum micranthum* et *Pterocarpus lucens* [26] et même sur les espèces cultivées comme le niébé [27] et la tomate [28]. Cette baisse de la croissance serait la résultante de nombreuses modifications tant physiologie que morphologie observées au niveau du système foliaire car l'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est la réduction du système foliaire [29]. Ceci confirme bien nos résultats où le nombre de feuilles et la surface foliaire ont été très réduits en présence du stress hydrique. Cette grande sensibilité du système foliaire au stress hydrique viendrait du fait que la feuille est le siège de la plus part des réactions métaboliques de la plante en occurrence la photosynthèse [30] et c'est aussi par la feuille que les plantes régulent leur alimentation hydrique grâce à la transpiration [29]. Nos résultats sont en accord avec cette affirmation car l'assimilation nette du CO₂ (Anet) et la transpiration (E) ont rapidement baissées au fur et à mesure que le niveau de stress augmente. En effet, la diminution du potentiel hydrique foliaire est la cause de la réduction du rendement photosynthétique [31]. Contrairement à la partie caulinare, le système racinaire a été positivement affecté par le stress hydrique. Ce résultat a été relevée par plusieurs auteurs [31 - 33]. Cette faible sensibilité du système racinaire au stress hydrique a entraîné une augmentation du rapport système racinaire/partie aérienne. La croissance soutenue du système racinaire en condition de stress serait un facteur de résistance au stress hydrique [34]. Ce phénomène s'expliquerait par le fait que le sol s'asséchant à la surface, les racines s'enfoncent plus dans le sol à la recherche de l'eau pour le maintien de ces activités métaboliques. Ceci explique pourquoi *A. senegal* et *A. seyal* ce sont montrés plus tolérantes au stress hydrique que *A. polyacantha* et *A. sieberiana*. Ceci ce confirme par leurs faibles indices de sensibilité et leurs taux de survie élevés en condition de stress. Par contre, l'espèce *A. polyacantha* et *A. siebériana*, ont présenté des indices de sensibilités élevés et des taux de survie faibles conduisant ainsi ces deux espèces à une moindre tolérance au déficit hydrique.

5. Conclusion

En présence du stress hydrique, *A. senegal* et *A. seyal* se sont avérées plus tolérantes que *A. polyacantha* et *A. sieberiana*. En réponse au stress hydrique, tous ces espèces ont réduit leur croissance caulinare et plus rapidement celui du système foliaire par contre, ont maintenu leur développement racinaire. Ainsi, la stimulation de la croissance racinaire semble être une stratégie développée par ces 4 espèces plus spécialement *A. senegal* et *A. seyal* pour limiter les effets du stress hydrique. *A. senegal* et *A. seyal* seraient donc les mieux indiquées pour les programmes de reboisement des savanes sèches de la zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun.

Références

- [1] - M. LARWANOU, I. OUMAROU, L. SNOOK, I. DANGUIMBO et O. EYOG-MATIG, Pratiques sylvicoles et culturales dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicultura*, 28 (2) (2010) 115 - 122
- [2] - K. SQUARE, FC. ABIB, BD. WADJOU and A. IBRAHIMA, Floristic composition of woodyspecies and potentialcarbonstorage in reforested sites of Sudano-Sahelian Zone of Cameroon. *International Journal Science and Research Management*, 8 (7) (2020) 171 - 181, <https://doi.org/10.18535/ijprm/v8i07.fe01>
- [3] - C. BAYE-NIWAH, G. TODOU, SQUAREKONSALA, A. ABASSI, B. SAKITAI et E. ATEM, Diversité et usages des plantes ligneuses des agrosystèmes périphériques de la ville de Maroua (Extreme-Nord Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 14 (3) (2020) 966 - 982
- [4] - P. SOLOVIEV, G. C. ZERBO, D. LOMPO, L. B. YODA, D. JACQUES et A. DIALLO, *Acacia senegal* au Burkina Faso: état de la ressource et potentiel productif. *Bois et Forêts des Tropiques*, 300 (2) (2009) 15 - 25
- [5] - N. OUATTARA et D. LOUPPE, Aménagement des terroirs ruraux et sécurisation des exploitations agricoles et pastorales au nord de la Côte d'Ivoire. In : Floret C., Pontanier R. (eds), La jachère en Afrique tropicale - rôles, aménagement, alternatives. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999. Paris, *John Libbey Eurotext*, (2000) 721 - 732
- [6] - A. SÉRÉMÉ, J. M. RASOLOUDIMBY, S. GUINKO et N. MOUHOSSINE, Concentration en Tanins des Organes de Plantes Tannifères du Burkina Faso. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 25 (2008) 55 - 61
- [7] - A. EGERU, E. KATEREGGA and G. J. MWANJALOLO MAJALIWA, Coping with Firewood Scarcity in Soroti District of Eastern Uganda. *Open Journal of Forestry*, 4 (1) (2014) 70 - 74, DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2014.41011>
- [8] - M. ALHAJI HAJI, M. ABDULLAHISABO, E. NGOZI OPARAH, H. BIRTUS, A. RAGAI and H. RIGIT, Production on tannins from *Acacia nilotica* Pods for the leather manu facturing industry-extraction, characterization, and optimization using design of experiment. *Bio Resources*, 15 (2) (2020) 2212 - 2226
- [9] - Y. M'SADAK, I. SAAD et D. SAIDI, Suivi et analyse thermiques du processus de co-compostage sylvicole dans une pépinière forestière moderne (Tunisie). *Journal des Sciences Fondamentales et Appliquées*, 5 (1) (2013) 1 - 12
- [10] - DOUDOU KAPI, C. ABIB FANTA, TOUA VROUMSIA and ADAMOU IBRAHIMA, Biomass and carbon stock assessment in the savannah of Laflocality (Far Nord Region of Cameroon). *Arabian Journal of Geosciences*, (2024) 17 - 28
- [11] - C. TUNK, H. HOEFSLOOT et J. MOUGOU, Evaluation du potentiel de restauration des paysages forestiers au Cameroun, Rapport final, (2016) 35 p.

- [12] - C. ABIB FANTA, I. T. NDJEPEL YETNASON, KONSALA SQUARE, and ADAMOU IBRAHIMA, Study of the watering frequency of young seedlings of *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Del. (Mimosaceae) in the nursery on recovery after field transplanting in Maroua, Cameroon. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 17 (2) (2023) 407 - 416
- [13] - S. PONTON, J. L. DUPOUEY, N. BREDA and E. DREYER, Comparison of water-use efficiency of seedlings from two sympatric oak species: genotype \times environment interactions. *Tree Physiology*, (22) (2002) 413 - 422
- [14] - B. F. QUIRINO, Y.-S. NOH, E. HIMELBLAU and R. M. AMASINO, Molecular aspects of leaf senescence. *Trends in Plant Science*, 5 (2000) 278 - 282
- [15] - T. N. BUCKLEY, The control of stomata by water balance. *The New phytologist*, 168 (2005) 275 - 92
- [16] - D. LUQUET, A. VIDAL, J. DAUZAT, A. BEGUE, A. OLIOSO and P. CLOUVEL, Using directional tir measurements and 3^d simulations to assess the limitations and opportunities of water stress indices. *Remote Sensing of Environment*, 90 (1) (2004) 53 - 62
- [17] - D. LOWLOR and W. CORNIC, Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher. *Plant cell and Environment*, 25 (2002) 275 - 294
- [18] - G. YUAN, Y. LUO, X. SUN and D. TANG, Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the north china plain. *Agricultural Water Management*, 64 (1) (2004) 29 - 40
- [19] - F. TARTIEU and T. SIMONEAU, Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand : modelling isohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 4 (1998) 409 - 432
- [20] - L. GAUFICHON, J. L. PRIOUL et B. BACHELIER, Perspectives d'amélioration des plantes tolérantes à la sécheresse. *Fondation pour la ruralité dans le monde*, (novembre 2010) 30 - 31
- [21] - M. M'BIANDOUN, A. L. DONGMO, O. BALARABE et I. NCHOUTNJI, Systèmes de culture sur couverture végétale en Afrique centrale : conditions techniques et socioéconomique pour son développement. Actes du colloque « Savanes africaines en développement : innover pour durer », Garoua, Cameroun (20-23 avril 2009) 15 p.
- [22] - R. NANA, Z. TAMINI et M. SAWADOGO, Effets d'un stress hydrique intervenu pendant le stade végétatif et la phase de floraison chez le gombo, *International Journal of Biological and Chemical Science*, 3 (2010) 1161 - 1170
- [23] - N. BREDA, Y. LEFEVRE et V. BADEAU, Réservoir en eau des sols forestiers tempérés : spécificité et difficultés d'évaluation. *Houille Blanche*, 3 (2002) 24 - 32
- [24] - J. C. COMBRES, L. MEZO LE, M. METE et B. BOURJON, Réserve utile et mesures d'humidité : Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. *Agricultural Development*, 24 (1999) 39 - 47
- [25] - V. BADEAU et N. BREDA, Modélisation du bilan hydrique : étape clé de la détermination des paramètres et des variables d'entrée. *Rendez-vous Technique ONF*, (2008) 111 - 114
- [26] - F. WENEMI KAGAMBEGA, RASMATA NANA, P. BAYEN, ADJIMA THIOMBIANO et J. ISSAKA BOUSSIM, Tolérance au déficit hydrique de cinq espèces prioritaires pour le reboisement au Burkina Faso. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 23 (4) (2019) 245 - 256
- [27] - MAWULI AZIADEKEY AYAYIATAYI et KOMI ODAH ABALO-ESSO MAGAMANA, Etude de l'influence du stress hydrique sur deux lignées de niébe. *European Scientific Journal*, 10 (2014) 1857 - 7881
- [28] - G. KOCH, Effet du stress hybride sur la croissance de la tomate. Une étude multi-échelle : de la cellule à la plante entière pour une meilleure compréhension des interactions entre les échelles. Thèse Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, (2018) 244 p.
- [29] - A. THAMEUR, A. FERCHICHI and M. LOPEZ-CARBONELL, Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. *Science direct. South African Journal of Botany*, 77 (2011) 222 - 228

- [30] - R. MOTZO, G. PRUNEDDU and F. GIUNTA, The role of stomatal conductance for water and radiation use efficiency of durumwheat and triticale in a Mediterranean environment. *Science direct. European Journal of Agronomy*, 44 (2013) 87 - 97
- [31] - ATTIA, Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne *Vitisvinifera* L.: étude de cinq cépages autochtones de Midi- Pyrénées Thèse de doctorat Université de Toulouse. France, (2007) 194 p.
- [32] - A. ALBOUCHI, Z. BEJAOUI et M. H. EL AOUNI, Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Cassuar in aglaucasieb*. *Sécheresse*, 14 (3) (2003) 137 - 142
- [33] - S. CHAHBAR and M. BELKHODJA, Water deficit effects on morpho-physiologicals parameters in durumwheat. *Journal Fundamental and Applied Science*, 8 (3) (2016) 1166 - 1181
- [34] - M. SAWADOGO, G. ZOMBRE et D BALMA, Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschuseculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison. *Biotechnologie, Agronomies, Société et Environnement*, 10 (1) (2006) 43 - 54