



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ziane Achour-DJELFA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Biologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

Contribution à l'étude de la croissance du sparte (*Lygeum spartum*
Loefl. ex L.) sous conditions de stress hydrique

Soutenu le : 30 /06 /2026

Présenté par :
BENAISSA Khadîdja

Devant le jury composé de :

Président : M. HACHI Mohamed

Promoteur : M. TOUATI Mostefa

CO-Promoteur : M. BENAMARA Nail

Examineur : M. BENZIANE ADLI

Examineur : M. BOUGOUTAIA Youcef

Pr UZA Djelfa

MCA UZA Djelfa

Dr UZA Djelfa

MCA UZA Djelfa

MCA UZA Djelfa

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

Avant tout, je tiens à remercier Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience pour accomplir ce travail et réaliser mon rêve que j'attendais depuis des années. Bien que ce travail soit individuel, il a été rendu possible grâce au soutien de personnes qui m'ont entourée et encouragée, et je tiens à leur exprimer toute ma gratitude.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à mon honorable encadrant M, TOUATI Mostefa, qui n'a pas été seulement un directeur de recherche, mais aussi un modèle et un enseignant tout au long de mon parcours universitaire. Je le remercie pour tous ses efforts, ses orientations et ses conseils, des mots qui restent insuffisants pour exprimer ma reconnaissance.

Je remercie également mon cher enseignant, M. BENAMMARA Nail, qui a été présent à chaque moment, pour ses précieux conseils, ses orientations, ainsi que pour sa gentillesse, sa modestie et son grand intérêt porté à notre travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux membres du jury, en particulier le professeur Adli, qui m'a encadré tout au long de mes années d'études, pour ses conseils et ses orientations, ainsi qu'aux autres membres du jury Pr.Hachi.M et Dr. BOUGOUTAIA.Y pour avoir accepté d'évaluer et de juger ce travail.



Dédicace

Je dédie ce travail :

À la lumière de mon cœur, source de mon inspiration, de mon bonheur et du secret de ma réussite ; ma chère mère.

À mon modèle dans la vie, mon compagnon de route et mon soutien, celui qui s'est toujours sacrifié pour moi et pour ma réussite, mon cher papa.

À mes chères sœurs qui m'ont soutenue, qui ont toujours été à mes côtés et qui m'ont encouragée, mes sœurs Meriem et Belkis.

*À tous mes professeurs, en particulier mon estimé professeur M. Touati et mon honorable professeur Nail Ben Amara,
je vous remercie pour tous vos efforts, et je vous exprime ma gratitude pour la formation que vous m'avez assurée ainsi que pour votre soutien et vos encouragements tout au long de mon parcours scolaire.*

*À tous mes amis, en particulier : Racha Thamri,
avec tout mon respect et mon amour pour vous.
Et particulièrement à mon proche A qui m'a accompagné depuis le début de mon parcours scolaire, je lui exprime toute ma gratitude*

Enfin, je dédie ce travail à toute ma promotion, un par un, ainsi qu'à tous mes proches.



SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Première partie : Généralités sur le sparte (*Lygeum spartum*)

I-Présentation de l'espèce.....	2
1. <i>Lygeum spartum</i> :	2
2. Systématique de l'espèce :	2
3. Description morphologique du sparte :	3
4. Distribution géographique et écologique :	4
5. Intérêt économique :	5

Deuxième partie : Généralités sur le stress hydrique

II- Généralités sur le stress hydrique.....	7
1.Définition de stress :	7
2. Types de stress :	7
2.1. Stress biotique :	7
2.2. Stress abiotique :	7
3.Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques :	8
4. Stress hydrique :	9
5. Paramètres affectés par le stress hydrique :	9
5.1. Effet du stress hydrique sur la croissance de la plante :	9
5.2. Effet du stress hydrique sur les sucres solubles totaux :	10
5.3. Effet du stress hydrique sur la proline :	10
5.4. Effet du stress hydrique sur perméabilité membranaire :	11
6. Les mécanismes d'adaptation de plante au stress hydrique :	11
6.1. Stratégie d'esquive :	12
6.2. Stratégie d'évitement :	12
6.3. Stratégie de tolérance :	12

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Objectif.....	16
2. Matériel	16
2.1-Matériel végétal :	16
2. 2. Matériel utilisé :	16
3. Méthodologie de travail :	17
3.1. Préparation du sol de plantation :	17

3.2. Mise en culture :.....	17
3.3. Application du stress hydrique :.....	19
3.4. Dispositif expérimental :	20
4. Les Paramètres étudiés :.....	21
4.1. Le poids frais (PF):.....	21
4.2. Le poids sec (PS) :.....	21
4.3. Teneur en eau (TE) :.....	21
4.4. Mesure de la Perméabilité membranaire :.....	22
4.5. Dosage des sucres totaux solubles :	23
5. Etude statistique :	23

Chapitre III : Résultats et Discussion

II. Résultats et discussion	26
Résultats :	26
Discussion :	34
Conclusion	38
Références bibliographiques	40

Liste des abréviations

PTI:	Pattern-Triggered Immunity
ETI :	Effector-Triggered Immunity
ROS :	Espèces réactives de l'oxygène
SOD :	Superoxyde dismutase
CAT :	Catalase
POD :	Peroxidase
MDA :	Malondialdéhyde
BF :	Biomasse fraîche
BS :	Biomasse sèche
TE :	Teneur en eau
PM :	Perméabilité Membranaire
STS :	Sucres Totaux Solubles

Liste des figures

Figure 1 : Le sparte (<i>Lygeum spartum</i>) dans son habitat naturel, montrant sa forme de croissance en touffes (par Abdelmonaim Homrani Bakali., 2010)	2
Figure 02 : Photo d'inflorescence entouré d'une grande spathe membraneuse de <i>Lygeum spartum</i> (par : Abdelmonaim Homrani Bakali).....	4
Figure 03 : Carte de répartition mondiale de <i>L. spartum</i> (Peter Green, 2014)	4
Figure 04 : Préparation des graines pour la germination dans des boîtes de Petri	18
Figure 05 : Les graines après la germination	19
Figure 06 : Mise en culture	19
Figure 07 : Application du stress hydrique.....	20
Figure 08 : Mesure du poids frais des feuilles.....	22
Figure 09 : Incubation et refroidissement des échantillons.....	22
Figure 10 : Dosage des Sucres Totaux Solubles.....	23
Figure 11 : Apparence morphologique des plantules sous les 4 régimes hydriques (25%, 50%, 75% et 100% de la capacité au champ).....	26
Figure 12 : L'effet des différents régimes hydrique sur le poids frais des plantules de spart.....	27
Figure 13 : L'effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids frais de sparte.....	28
Figure 14 : L'effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids sec des plantules de sparte.....	29

Figure 15 : L'effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids sec des plantules de sparte.....	29
Figure 16 : L'effet des différents régimes de stress hydrique sur le teneur en eau des plantules de sparte.....	30
Figure 17 : l'effet de stress hudrique sur le teneur en eau de sparte	31
Figure 18: L'effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte.....	33
Figure 19 : L'effet des différents régimes de stress hudrique sur l'accumulation des sucres	33

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification taxonomique de sparte (<i>Lygeum spartum</i>).....	3
Tableau 02 : Le dispositif expérimental aléatoire adopté.....	13
Tableau 03 : Mesure la perméabilité membranaire.....	22

Introduction

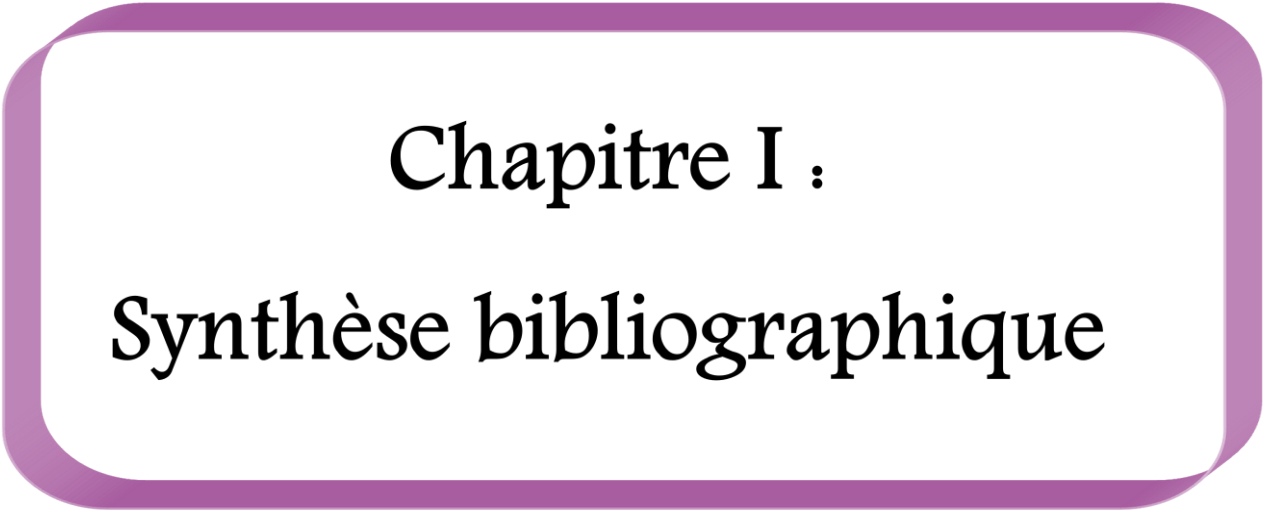
Introduction

La croissance des végétaux est confronté à des nombreuses contraintes abiotiques (telles que le froid, la sécheresse et le gel) et biotiques (comme les bactéries, les champignons et les insectes). Parmi ces contraintes, les stress hydrique et salin constituent des facteurs majeurs limitant la production et affectant la sécurité alimentaire, en particulier dans les régions arides et semi-arides (**Mekureyaw et al., 2026 ; Mencuccini et al., 2026**).

Le stress hydrique constitue l'un des principaux facteurs abiotiques affectant la croissance des plantes, en particulier dans les régions arides et semi-arides où la disponibilité en eau est fortement limitée (**Mazumdar et al., 2024; Şimşek et al., 2024**). Il se définit comme une situation résultant d'un déficit en eau, entraînant une diminution du potentiel hydrique de la plante, en raison d'une perturbation de ses fonctions physiologiques causée par une absorption insuffisante de l'eau (**Mouhouche et al., 1997 ; Cao et al., 2024**). Ce stress provoque divers déséquilibres internes, tels qu'une perturbation de l'équilibre nutritionnel, une altération de la division cellulaire et un dysfonctionnement des échanges gazeux, ce qui impacte directement les processus physiologiques liés à la photosynthèse et à la croissance (**Vadez et al., 2024**). Il affecte également les métabolismes liés à la croissance, qu'ils soient primaires ou secondaires, ce qui se traduit par une baisse des rendements agricoles et une reprogrammation métabolique orientée vers les mécanismes de survie (**Ramegowda et al., 2024**). Par ailleurs, les membranes cellulaires figurent parmi les structures les plus sensibles à la sécheresse, celle-ci induisant un stress oxydatif provoqué par l'accumulation des espèces réactives de l'oxygène, ce qui altère leur intégrité et augmente la perméabilité membranaire (**Aziz et al., 2018 ; Şimşek et al., 2024**). L'étude de ce phénomène est particulièrement importante chez les plantes adaptées aux milieux arides, telles que *Lygeum spartum*, objet de cette étude.

Lygeum spartum L. (appelé sparte ou faux alfa) appartient à la famille de *Poaceae*. C'est une plante herbacée pérenne largement répandue dans le bassin méditerranéen. Cette espèce constitue une barrière naturelle qui contribue à la lutte contre l'érosion éolienne et l'ensablement grâce à son système racinaire très développé. Elle occupe également une superficie importante dans les Hauts Plateaux algériens, ce qui en fait un excellent exemple d'adaptation aux conditions de sécheresse et aux environnements contraignants. Cependant, les écosystèmes naturels à climat aride en Algérie connaissent une dégradation progressive du couvert végétal herbacé, rendant nécessaire la réintroduction des espèces graminéennes pérennes afin de réhabiliter la strate herbacée et de préserver l'équilibre écologique (**Aidoud-Lounis, 1984**). Dans ce contexte, *Lygeum spartum* apparaît comme une espèce particulièrement

prometteuse en raison de sa grande capacité à tolérer les conditions de sécheresse sévère, grâce au maintien d'un faible niveau d'activité physiologique lui permettant d'assurer sa survie et sa pérennité dans les milieux les plus difficiles (Nedjraoui., 1990 ; Pugnaire et al., 1996). Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet du stress hydrique sur la croissance et la physiologie du sparte (*Lygeum spartum*), une espèce encore peu étudiée concernant ses réponses physiologiques au déficit hydrique. Elle vise également à comprendre les mécanismes d'adaptation de cette plante à la sécheresse, notamment les mécanismes d'ajustement osmotique, qui reposent sur l'accumulation de composés osmoprotecteurs tels que la proline et les sucres solubles totaux. Ces composés contribuent au maintien de la turgescence cellulaire et permettent à la plante de mieux tolérer le manque d'eau.



Chapitre I :

Synthèse bibliographique

Première partie :
Généralités sur le sparte
(*Lygeum spartum*)

I-Présentation de l'espèce

Le sparte (*Lygeum spartum* L.) se caractérise par une biomasse importante, tant au niveau aérien que racinaire. Ses feuilles sont également exploitées dans le domaine industriel pour la production de pâte à papier (**Djabeur et al., 2008**). Cette espèce appartient à la famille des Poaceae et constitue une plante vivace spontanée largement répandue dans les régions méditerranéennes arides et semi-arides. Grâce à ces caractéristiques, elle représente un moyen efficace et relativement peu coûteux pour lutter contre l'érosion et la désertification, ainsi que pour la réhabilitation des terres dégradées et la restauration des parcours pastoraux (**Aidoud-Lounis, 1989**).



Figure 1 : Le sparte (*Lygeum spartum*) dans son habitat naturel, montrant sa forme de croissance en touffes (par **Abdelmonaim Homrani Bakali., 2010**).

1. Systématique de l'espèce :

Le sparte (*Lygeum spartum*) appartient à la famille des *Poaceae*, plus précisément à la sous-famille Pooideae et à la tribu Lygeae (**Soreng et al., 2017**). Cette espèce se caractérise par une inflorescence entourée d'une spathe, un trait morphologique qui la distingue de *Stipa tenacissima* (l'alfa véritable) (**Cabezudo et al., 2005**). Bien que ces deux espèces appartiennent à un groupe végétal proche et soient souvent confondues, elles diffèrent par leurs structures florales ainsi que par leurs caractéristiques écologiques (**Devesa et al., 1991**).

Tableau 1 : Classification taxonomique de sparte (*Lygeum spartum* Loebl. ex L.), selon le système APG IV (Angiosperme Phylogeny Group, 2016)

Régne :	<i>Plantae</i>
Clade :	<i>Tracheophytes</i>
Clade :	<i>Angiospermes</i>
Clade :	<i>Monocotylédones</i>
Ordre :	<i>Poales</i>
Famille :	<i>Poaceae</i>
Sous-famille :	<i>Pooideae</i>
Tribu :	<i>Lygeae J.Presl</i>
Genre :	<i>Lygeum Loebl. ex L.</i>
Espèce :	<i>L. spartum</i>
Nom scientifique :	<i>Lygeum spartum</i>

2. Description morphologique du sparte :

Le sparte (*Lygeum spartum*) est une plante herbacée pérenne, caractérisée par des feuilles rigides, linéaires et enroulées vers l'intérieur, de couleur vert glauque. Elle atteint généralement une hauteur comprise entre 30 et 70 cm (Valdés et al., 2002). L'inflorescence est très particulière : elle est réduite à un épillet terminal unique, entouré d'une grande spathe membraneuse, caractéristique distinctive du genre (Clayton et al., 2006). Les tiges florifères sont dépourvues de feuilles et recouvertes de poils denses et laineux, leur donnant un aspect pubescent. La structure florale présente une organisation spécifique : elle contient deux fleurs à l'intérieur de la spathe, pouvant rarement atteindre trois. La base des fleurs est durcie et forme une structure tubulaire, recouverte de longs poils soyeux à aspect argenté (Cope et al., 2002). Les plantules de l'espèce se caractérisent par un mésocotyle court, tandis que la première feuille présente un limbe étroit et bien développé, avec sept nervures (Watson et al., 1992). Enfin, le système racinaire est fibreux et profond, ce qui confère à la plante une grande capacité d'adaptation aux conditions de sécheresse prolongée (Pugnaire et al., 1996).



Figure 02 : Photo d'inflorescence entouré d'une grande spathe membraneuse de *Lygeum spartum* (par : **Abdelmonaim Homrani Bakali**)

3. Distribution géographique et écologique :

Comme le montre la figure 03, le sparte (*Lygeum spartum*) appartient à la flore du bassin méditerranéen. Il est largement répandu dans plusieurs pays du pourtour méditerranéen, notamment en Espagne, en Italie et en Grèce. On le rencontre également en Afrique du Nord, en particulier en Algérie, en Tunisie et au Maroc, ainsi que dans certaines régions du Moyen-Orient comme la Turquie et la Syrie (**Tutin et al., 1980**). En Algérie, le *Lygeum spartum* est présent principalement dans l'ouest du pays et s'étend jusqu'aux régions sahariennes (**Baba Aissa., 2000**). Il se développe naturellement dans les étages bioclimatiques arides frais et semi-arides froid (**Djebaili., 1984**). Cette espèce est capable de se développer dans des environnements difficiles, tels que les sols salins, alcalins et riches en gypse, montrant une grande capacité à résister à la sécheresse (**Cabezudo et al., 2005**).

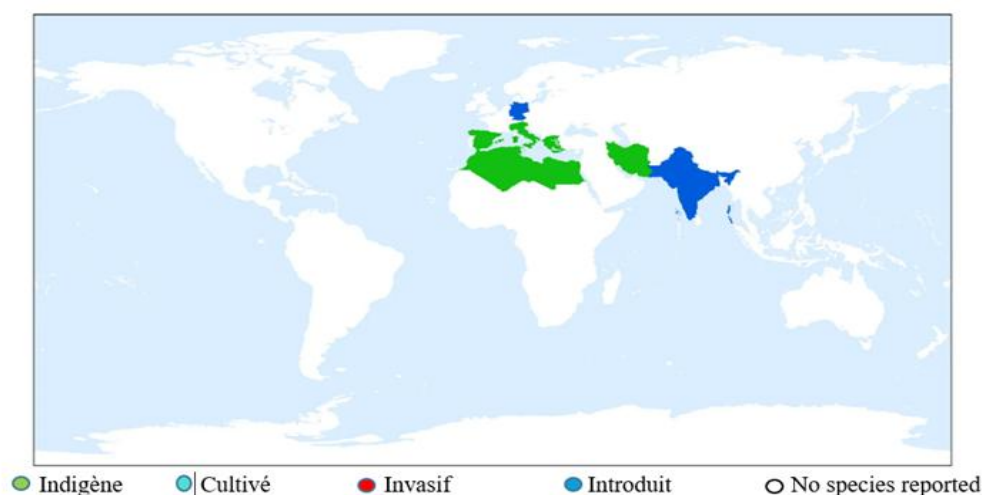


Figure 03 : Carte de répartition mondiale de *L. spartum* (Peter Green, 2014)

4. Intérêt économique :

Le sparte (*Lygeum spartum*) constitue une ressource économique importante dans les zones arides et semi-arides d'Algérie, de Tunisie et du Maroc, ainsi qu'en Espagne et dans certaines régions d'Europe. Cette plante pérenne est utilisée dans la fabrication de paniers et d'objets artisanaux, ainsi que dans la production de pâte à papier grâce à sa richesse en cellulose. Elle sert également de fourrage pour le bétail lors des périodes de pénurie alimentaire (**Harche, 1978 ; Bouazza et al., 2004**). En outre, le sparte est employé pour la fabrication de sandales, de brosses, de matelas et de bouchons de bouteilles de vin (**Cope et al., 2002**), ainsi que pour la confection de nattes, de voiles et de cordes (**Weinheim., 1959**).

Deuxième partie :
Généralités sur le stress
hydrique

II- Généralités sur le stress hydrique

1. Définition de stress :

Le stress est défini comme tout facteur environnementale défavorable affectant la croissance et la reproduction des plantes (**Zhang et al., 2025**). Les plantes sont constamment exposées à divers de stress biotiques et abiotiques tels que la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes et les agents pathogènes (**Sahoo et al., 2025 ; Zhou, 2025**). Dans les conditions naturelles, ces stress apparaissent souvent de manière simultanée, notamment sous forme de combinaisons sécheresse–chaleur ou sécheresse–salinité (**Pandey et al., 2025 ; Zhang et al., 2025**). Ces facteurs peuvent entraîner des pertes importantes de rendement pouvant atteindre des niveaux élevés selon les cultures et les conditions environnementales (**Mahajan et al., 2025**).

2. Types de stress :

2.1. Stress biotique :

Les stress biotiques résultent des attaques de ravageurs et d'agents pathogènes tels que les champignons et les bactéries, entraînant des perturbations majeures des processus physiologiques et moléculaires des plantes et affectant leur croissance et leur productivité (**Li et al., 2025**). Pour faire face à ces attaques, les plantes activent des mécanismes complexes de défense impliquant la reconnaissance des pathogènes via des récepteurs moléculaires, l'activation des voies de signalisation immunitaire telles que PTI et ETI, ainsi que la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et l'activation des enzymes antioxydantes (**Wang et al., 2025 ; do Carmo Santos et al., 2025**). Ces réponses incluent également la synthèse de protéines de défense et de métabolites spécialisés permettant de limiter la propagation des infections et de réduire les dommages cellulaires (**Saberi Riseh et al., 2024**).

2.2. Stress abiotique :

Les stress abiotiques désignent toutes contraintes non vivantes induisant des altérations morphologiques, physiologiques et moléculaires importantes chez les plantes, aboutissant à une réduction significative de leur croissance et de leur productivité (**Zhang et al., 2025**). On distingue le stress hydrique causé par un manque d'eau, le stress salin causé par une accumulation excessive de sels (notamment le NaCl), le stress thermique causé par des températures extrêmes (froid et chaleur) et le stress nutritionnel qui est causé par une carence ou un excès d'un élément nutritif. En conditions de sécheresse et de fortes températures, le

transport de l'eau dans le xylème est perturbé, ce qui limite l'expansion cellulaire et inhibe l'élongation des tissus, conduisant à une réduction de la surface foliaire et de la croissance globale des plantes (**Farooq et al., 2025**). Le stress dû au froid, quant à lui, provoque une inhibition de la croissance végétale en induisant la déshydratation cellulaire ainsi que des dommages liés à la formation de cristaux de glace intracellulaires (**Chinnusamy et al., 2024**). Par ailleurs, ces stress entraînent une accumulation excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), provoquant un stress oxydatif responsable de l'altération du métabolisme cellulaire (**Hasanuzzaman et al., 2025**).

3. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques :

Les mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques impliquent des réponses complexes aux niveaux morphologique, physiologique, moléculaire et biochimique. Ces mécanismes reposent sur l'activation de réseaux génétiques et la reprogrammation de l'expression des gènes de tolérance, régulant les processus de transcription et de synthèse des protéines impliquées dans la réponse au stress (**Zhang et al., 2025; Singh et al., 2025**). Ces adaptations incluent également des modifications biochimiques telles que l'activation des systèmes antioxydants, permettant la régulation des espèces réactives de l'oxygène et la protection des structures cellulaires (**Hasanuzzaman et al., 2025**). En outre, les plantes développent des stratégies cellulaires avancées comprenant la régulation de l'équilibre ionique, la stabilisation des membranes cellulaires et les mécanismes de détoxification, contribuant ainsi au maintien de l'homéostasie cellulaire en conditions de stress (**Farooq et al., 2025**).

La tolérance représente une stratégie adaptative complexe reposant sur des modifications physiologiques, biochimiques et moléculaires au niveau cellulaire (**El-Sayed et al., 2025**). Elle implique notamment l'ajustement osmotique et le maintien de la turgescence cellulaire, contribuant ainsi à la stabilité des tissus végétaux sous conditions de déficit hydrique (**Müller et al., 2025**). Ce mécanisme permet à la plante de préserver ses fonctions physiologiques malgré la diminution du potentiel hydrique interne. Le maintien de la turgescence joue un rôle essentiel en retardant la fermeture des stomates, en limitant le flétrissement foliaire et en assurant la stabilité fonctionnelle des organites cellulaires, notamment les chloroplastes (**Bennett et al., 2024; Nguyen et al., 2025**). Ainsi, ces processus intégrés confèrent à la plante une capacité accrue de tolérance au stress hydrique et améliorent sa survie dans des environnements défavorables (**Kowalczyk et al., 2025**).

4. Stress hydrique :

Le stress hydrique est une condition résultant d'une diminution de la disponibilité en eau ou de sa capacité à atteindre la plante, entraînant une réduction significative de la croissance et de la productivité en raison de la perturbation des processus physiologiques essentiels (Farooq et al., 2025). Ce stress induit la fermeture des stomates afin de limiter les pertes en eau, ce qui réduit l'entrée du dioxyde de carbone et entraîne une inhibition de la photosynthèse (Zhang et al., 2025). Ses effets s'étendent à tous les niveaux d'organisation de la plante, du niveau morphologique jusqu'au niveau moléculaire, affectant ainsi le développement, le métabolisme et la productivité des cultures (Zhou., 2025 ; Singh et al., 2025).

5. Paramètres affectés par le stress hydrique :

Le stress hydrique affecte négativement de nombreux paramètres liés à la croissance et à la productivité des plantes. Il entraîne une réduction de la disponibilité des éléments minéraux dans la rhizosphère et limite leur absorption par les racines ainsi que leur transport à travers les tissus conducteurs, perturbant ainsi l'homéostasie nutritionnelle (Li et al., 2025). Ce stress provoque également des déséquilibres dans l'absorption des nutriments essentiels, notamment une diminution du phosphore et des perturbations du métabolisme de l'azote et du potassium (Chen et al., 2025). La réduction de la transpiration sous stress hydrique limite davantage l'absorption et la distribution des éléments minéraux dans la plante (Alvarez & Morales, 2024). Par ailleurs, le stress hydrique affecte fortement l'appareil photosynthétique en réduisant la teneur en chlorophylles a et b ainsi qu'en caroténoïdes, entraînant une diminution de l'efficacité photosynthétique (Gao et al., 2024). Enfin, lorsqu'il survient après la floraison, le stress hydrique entraîne une baisse significative du rendement et affecte la formation des graines (Kumar et al., 2025).

5.1. Effet de stress hydrique sur la croissance de la plante :

L'excès de stress hydrique affecte fortement la croissance et le développement des plantes, entraînant une diminution significative de la hauteur des plantes, du nombre de feuilles et de la surface foliaire (Li et al., 2025). La réduction de la croissance en hauteur est principalement liée à l'inhibition de l'élongation cellulaire, à la diminution de la division cellulaire ainsi qu'à l'accélération de la sénescence foliaire (Zhou et al., 2025). Dans des conditions de sécheresse, les plantes développent souvent des feuilles plus petites et plus épaisses avec une densité tissulaire accrue, constituant une stratégie adaptative visant à limiter les pertes en eau (García et al., 2024). La diminution de la surface foliaire est également

associée à la réduction de la turgescence cellulaire et à la baisse de la production d'assimilats issus de la photosynthèse (Khan et al., 2024).

Par ailleurs, les racines jouent un rôle central dans l'adaptation au stress hydrique, avec une stimulation de la croissance en profondeur et une augmentation du rapport racines/parties aériennes, améliorant ainsi l'efficacité d'absorption de l'eau (Singh et al., 2025). Ces modifications morphologiques et structurales représentent des stratégies adaptatives essentielles permettant aux plantes de survivre et de s'ajuster aux conditions de déficit hydrique.

5.2. Effet de stress hydrique sur les sucres solubles totaux :

Le stress hydrique exerce un effet significatif sur l'accumulation des sucres solubles totaux chez les plantes. En conditions de déficit hydrique, les plantes accumulent généralement des sucres solubles tels que le glucose, le fructose et le saccharose, contribuant ainsi à la réduction du potentiel hydrique cellulaire et à l'amélioration de l'absorption et de la rétention de l'eau (Li et al., 2025). Ces composés jouent un rôle essentiel dans l'ajustement osmotique et la tolérance au stress hydrique.

Par ailleurs, les sucres solubles participent à la stabilisation des membranes cellulaires et à la protection des protéines en remplaçant partiellement l'eau dans l'hydratation des structures cellulaires (González et al., 2024). Cependant, la réponse varie selon les espèces et la durée du stress, avec une augmentation initiale des sucres suivie parfois d'une diminution sous stress sévère et prolongé (Wang et al., 2025). De plus, une corrélation positive a été observée entre l'accumulation des sucres solubles et la tolérance des plantes au stress hydrique (Zhou & Li, 2024).

5.3. Effet de stress hydrique sur la proline :

La proline est considérée comme l'un des principaux osmolytes organiques s'accumulant chez les plantes sous stress hydrique, jouant un rôle essentiel dans l'adaptation à la sécheresse (Zhang et al., 2025). Lors de l'exposition au stress osmotique, son accumulation dans le cytoplasme contribue à la diminution du potentiel osmotique cellulaire, favorisant ainsi l'absorption et la rétention de l'eau et le maintien de l'équilibre hydrique (Li et al., 2024).

La proline possède également une forte capacité d'hydratation, ce qui permet de stabiliser les membranes cellulaires et de protéger les protéines contre la dénaturation et l'agrégation (Kumar et al., 2025). En outre, elle joue un rôle important dans la protection contre le stress oxydatif en participant à la réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS) et en modulant l'activité des enzymes antioxydantes telles que la SOD, la CAT et la POD (Hasanuzzaman et al., 2025). Ainsi, la proline constitue un élément clé des mécanismes de tolérance au stress

hydrique, bien que son action s'inscrive dans un réseau de défense complexe et multifactoriel (Singh & Patel, 2025).

5.4. Effet de stress hydrique sur la perméabilité membranaire :

Un stress hydrique prolongé entraîne une accumulation excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) due à un déséquilibre entre leur production et les systèmes de détoxification, provoquant ainsi un stress oxydatif important au niveau cellulaire (Hasanuzzaman et al., 2025). Ce phénomène induit une peroxydation des lipides membranaires, dont le malondialdéhyde (MDA) constitue un produit final majeur et un indicateur fiable des dommages oxydatifs (Wang et al., 2025). L'augmentation du MDA est associée à une diminution de la stabilité membranaire, à une réduction de la fluidité lipidique et à une altération de l'intégrité des membranes cellulaires.

Par ailleurs, ces perturbations entraînent une désorganisation de la bicouche lipidique, conduisant à une contraction de la membrane plasmique, à l'apparition de pores et à une augmentation de la perméabilité membranaire (García et al., 2025). Ces altérations provoquent une fuite des électrolytes et des solutés cytoplasmiques vers l'extérieur de la cellule, perturbant ainsi les fonctions métaboliques et limitant la croissance et le développement des plantes (Li et al., 2024; Zhou & Li, 2025).

6. Les mécanismes d'adaptation de plante au stress hydrique :

La capacité des plantes à résister à la sécheresse constitue un facteur essentiel leur permettant de maintenir leur croissance et d'assurer une productivité satisfaisante dans les régions soumises à un déficit hydrique récurrent (Zhang et al., 2025). En conditions de stress hydrique, les plantes réduisent les pertes en eau principalement par la fermeture des stomates, entraînant une diminution de la transpiration et une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Farooq et al., 2025).

Par ailleurs, le stress hydrique induit une réduction de la surface foliaire, une inhibition de la croissance des feuilles et une accélération de la sénescence, contribuant ainsi à une limitation globale du développement végétal (Li et al., 2025). Dans ce contexte, les plantes développent différentes stratégies adaptatives permettant de faire face au déficit hydrique, notamment les stratégies d'esquive, d'évitement et de tolérance, qui constituent les principaux mécanismes de survie en conditions de sécheresse (Singh et al., 2025 ; Zhou & Li, 2024).

6.1. Stratégie d'esquive :

La stratégie d'évitement constitue une adaptation permettant aux plantes de contourner les périodes critiques de stress hydrique afin d'assurer leur développement (Singh et al., 2025).

Ce mécanisme repose principalement sur la modification de la durée du cycle de vie et des processus de développement, permettant ainsi à la plante d'éviter les pics de stress environnemental **(Zhou & Li, 2024)**.

Cette stratégie peut se traduire par une accélération du développement, notamment une floraison précoce, ou par une modulation de la croissance en fonction des conditions environnementales, ce qui permet de réduire l'exposition au déficit hydrique **(Li et al., 2025)**. Ainsi, les plantes ajustent leur calendrier phénologique en réponse au stress, ce qui constitue un mécanisme efficace de survie dans les environnements soumis à des contraintes hydriques sévères **(Farooq et al., 2025)**.

6.2. Stratégie d'évitement :

La capacité des plantes à éviter le stress hydrique repose sur le maintien de l'absorption de l'eau et la réduction des pertes hydriques à travers plusieurs mécanismes morphologiques et physiologiques **(Martínez et al., 2024)**. Parmi ces adaptations, le développement d'un système racinaire profond permet d'améliorer l'accès aux ressources en eau dans les couches profondes du sol, contribuant ainsi au maintien de l'équilibre hydrique **(Costa et al., 2025)**. Par ailleurs, les plantes réduisent la perte d'eau par la fermeture des stomates et la diminution de la transpiration, ce qui constitue un mécanisme central de régulation hydrique **(Almeida et al., 2025)**.

Sur le plan morphologique, la réduction de la surface foliaire ainsi que l'enroulement des feuilles participent à la limitation de l'évaporation et à la conservation de l'eau **(Bennani et al., 2024)**. Enfin, une diminution de l'activité physiologique et du métabolisme cellulaire est observée, permettant à la plante d'optimiser son fonctionnement en conditions de stress hydrique **(Schneider et al., 2025)**.

6.3. Stratégie de tolérance :

La tolérance constitue une stratégie adaptative permettant aux plantes de maintenir leurs fonctions physiologiques malgré la dégradation de leur statut hydrique **(Rodriguez et al., 2025)**. Cette stratégie repose sur la capacité des cellules à préserver leur turgescence, ce qui contribue à limiter le flétrissement foliaire et à maintenir l'intégrité structurale des organites, notamment les chloroplastes **(Nguyen et al., 2025 ; Petrov et al., 2024)**.

En outre, les plantes tolérantes présentent une régulation fine de l'ouverture stomatique, permettant de retarder la fermeture des stomates afin de maintenir un équilibre entre perte d'eau et assimilation du carbone **(Hernández et al., 2025)**.

Ces mécanismes permettent ainsi une meilleure adaptation au déficit hydrique interne en assurant la stabilité des processus physiologiques essentiels au maintien de la croissance **(Kowalski et al., 2025)**.

Chapitre II :

Matériel et méthodes

I. MATERIEL ET METHODES

1. Objectif

L'objectif de cette expérience est d'évaluer l'influence de différents régimes hydriques sur la croissance végétative, la biomasse fraîche, la biomasse sèche, la teneur en eau, la perméabilité membranaire, et l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte (*Lygeum spartum*).

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de recherche appliqué aux sciences du végétal à l'université Ziane Achour de Djelfa.

2. Matériel

2.1 Matériel végétal :

Les caryopses de sparte (*Lygeum spartum*) ont été aimablement fournis par le Dr B. Adli et récoltés dans la région d'Aïn Maabed, wilaya de Djelfa.

2.2 Matériel utilisé :

➤ Verreries

- Tubes à essai
- Erlenmeyers
- Flacon de prélèvement
- Pipette gradué 1,5ml, 2,5ml, 5ml, 10ml
- Bêchers
- Verre de montre
- Eprouvettes graduées
- fioles jaugées 100ml, 250ml

➤ Produits

- Méthanol (CH_3OH)
- Phénol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)
- Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
- Eau distillé
- Acide sulfurique (H_2SO_4)

➤ Appareillage

- Hotte
- Etuve

- Spectrophotomètre UV-visible
- Bain marie
- Agitateur
- Vortex
- Réfrigérateur
- Balance analytique
- Micropipette

➤ **Autre matériel**

- Cuvette pour UV-visible en plastique et en quartz
- Port tube
- Ciseaux, Seringue, Coton, Gants
- Papier Aluminium
- Spatule, Pissette- Marqueur permanent, bloc note

3. Méthodologie de travail :

3.1. Préparation du sol de plantation :

Le sol de plantation a été préparé en mélangeant uniformément les composants suivants à parts égales :

Le sol agricole : afin de fournir un milieu favorable à la croissance des plantes, en assurant la conservation de l'eau et des éléments nutritifs.

Le sable : Il contribue à assurer une bonne aération du sol et facilite le drainage de l'eau.

La tourbe : elle absorbe l'eau et la retient, ce qui permet de conserver l'humidité plus longtemps, tout en limitant la perte des éléments nutritifs.

Après la préparation de ce sol, nous avons éliminé les parties grossières à l'aide d'un tamis dont les ouvertures avaient un diamètre de deux millimètres.

Le mélange obtenu a ensuite été placé dans des pots en plastique perforés au fond afin de faciliter l'évacuation de l'eau utilisée pour l'arrosage. Après le remplissage des pots en plastique, le poids sec a été déterminé, puis les pots ont été arrosés jusqu'à saturation. Après l'arrêt de l'écoulement de l'eau, le poids humide a été mesuré afin de déterminer la quantité d'eau nécessaire à la saturation.

3.2. Mise en culture :

Les graines de sparte ont été préparées, débarrassées de leurs poils puis désinfectées selon un protocole adapté de(Zouidi et al.,2019) , par une solution composé de 1/3 d'eau de javel et 2/3 d'eau distillée pendant 05 minutes suivi d'un rinçage 03 fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de produit désinfectant avant le semis. Ensuite, les graines ont été mises dans des boîtes de Pétri et placées dans des conditions favorables à la germination et à la croissance, avec un arrosage quotidien à l'eau distillée. La figure 04 présente les étapes de la germination des graines de sparte. La durée de germination a été d'environ 10 jours.



Figure 04 : Préparation des graines pour la germination dans des boites de Petri,

Les graines après la germination sont présentées dans la figure 05. Après la germination, les plantules de même longueur ont été sélectionnées, puis 09 plantules ont été placées dans chaque pot en plastique. Après la transplantation, les pots ont été placés dans la chambre de culture de l'unité d'expérimentation (FSNV) sous une température ambiante et une photopériode de 10 heures environ d'éclairage assurée par un dispositif lumineux composé de tubes fluorescents (néons) distantes de 1m environ des plantules. La mise en culture des plantules est présentée dans la figure 06.



Figure 05 : Les graines après la germination



Figure 06. Mise en culture

3.3. Application du stress hydrique :

Le stress hydrique a été appliqué en maintenant l'humidité des pots d'expérimentation selon 4 régimes hydriques, calculés en pourcentage de la capacité aux pots (CP) du sol utilisé. Les quantités d'eau ont été ajustées par pesée quotidienne, L'application des différents régimes hydriques est présentée dans la figure 07 :

Le régime 100% CP : Les pots sont maintenus à 100% de la capacité au champ (rétention maximale : témoin).

Le régime 75% : Les pots sont maintenus à 75% de la capacité au champ

Le régime 50% : Les pots sont maintenus à 50% de la capacité au champ (stress modéré).

Le régime 25% : Les pots sont maintenus à 25% de la capacité au champ (stress hydrique sévère).

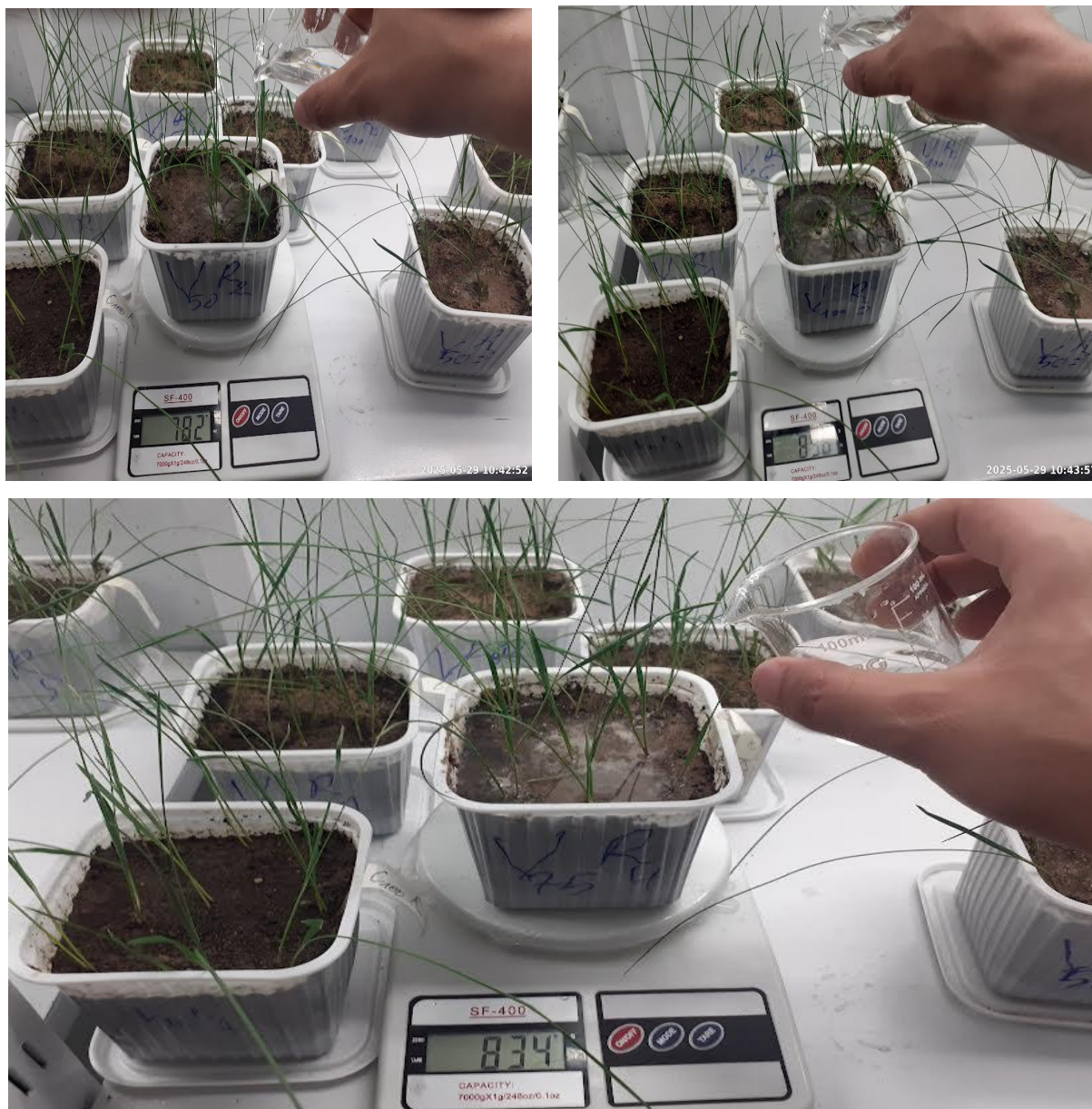


Figure 07 : Application du stress hydrique.

3.4. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental de cette étude repose sur une disposition aléatoire des pots, comprenant quatre régimes hydriques (25 %, 50 %, 75 % et 100 %), avec cinq répétitions pour chaque régime. Les plantules ont été cultivées dans des pots en plastique contenant chacun le mélange préparé précédemment .

Tableau 02 : Le dispositif expérimental aléatoire adopté

25%R2	25%R1	75%R5	25%R4	100%R2
50%R2	75%R3	75%R3	100%R4	75%R1
25%R3	100%R3	75%R4	50%R1	100%R5
50%R4	100%R1	50%R3	25%R5	50%R5

4. Les paramètres étudiés :

Les paramètres physiologiques et biochimiques suivants ont été mesurés :

- Le poids frais (PF).
- Le poids sec (PS).
- Teneur en eau (TE).
- La Perméabilité Membranaire (PM).
- Dosage des Sucres Totaux Solubles.

4.1. Le Poids frais (PF) :

Après un mois d'application des différents régimes hydriques, nous avons creusé le sol à l'aide d'une spatule de laboratoire, puis nous avons séparé la partie aérienne de la partie racinaire. Ensuite, les feuilles ont été séparées des racines. Après la récolte, le poids frais des feuilles a été déterminé directement à l'aide d'une balance de précision.

4.2. Le Poids sec (PS) :

Après la récolte et la pesée, les feuilles ont été placées dans des enveloppes puis transférées à une étuve à 70 °C pendant 48 heures. Ensuite, les feuilles séchées ont été repesées afin de déterminer le nouveau poids sec .

4.3. Teneur en Eau (TE) :

La teneur en eau est la différence entre la valeur du poids frais (PF) et la valeur du poids sec (PS) qui est exprimée par la relation suivante :

$$TE=PF-PS$$

4.4. Mesure de la perméabilité membranaire :

Des fragments de 0,5 cm de long sont prélevés d'une feuille et sont rincés dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée. Ils sont ensuite placés dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau distillée. La conductivité de la solution est alors mesurée (C1) pour une première fois avec un conductimètre étalonné. Les échantillons sont ensuite mis dans un bain-marie bouillant pendant 20 minutes puis refroidi à la température ambiante. La conductivité est mesurée une seconde fois (C2). Selon (Bin Yan et al.1996) le pourcentage de fuite d'électrolytes est calculé selon la formule suivante :

$$PM (\%) = C1.100 / C2$$



Figure 08 : Mesure du poids frais des feuilles



Figure 09 : Incubation et refroidissement des échantillons

4.5. Dosage des Sucres Totaux Solubles :

10 mg de matière fraîche de la partie aérienne de la deuxième feuille ont été macérés dans 4 ml de méthanol à 40 % pendant une heure dans un bain-marie à 85 °C.

La teneur en sucres totaux solubles a été dosée selon la méthode décrite par Dubois et al. (1956), nous avons ajouté 0,5 ml de phénol (5 %) à 0,5 ml de l'extrait méthylrique, puis le mélange a été agité à l'aide d'un vortex. Ensuite, 2,5 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) ont été ajoutés. Après une deuxième agitation au vortex, le mélange a été laissé à refroidir pendant 15 minutes. La solution a progressivement viré vers une couleur rougeâtre. La densité optique a été mesurée à une longueur d'onde de 487 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible

Les valeurs obtenues ont ensuite été comparées à la gamme étalon établie à partir de concentrations connues de glucose pur (voir annexes).



Figure 10 : Dosage des Sucres Totaux Solubles

5. Analyse statistique :

Toutes les données ont été analysées à l'aide du logiciel XLSTAT et STATISTICA (version 2014). Les moyennes ont été comparées par le test de Duncan ($p \leq 5 \%$).

Chapitre III : résultats et discussion

II. RESULTAT ET DISCUSSION

1. Résultat :

Dans cette partie, nous allons présenter les différents résultats expérimentaux obtenus à travers cette étude. Ensuite, nous discuterons ces résultats et les comparerons avec ceux de travaux et d'expériences antérieurs, afin de connaître la capacité de la plante à tolérer au stress hydrique ainsi que son effet sur celle-ci.

1.1 Apparence morphologique des plantules cultivées :

On observe des différences nettes dans la croissance de la plante de sparte selon les différents niveaux de stress hydrique. Les plantules irriguées à 100 % (témoin) présentent une plus grande longueur ainsi qu'une densité végétale plus élevée. De plus, les feuilles apparaissent plus régulières et plus vigoureuses comparativement aux autres traitements.

En revanche, avec la diminution des niveaux d'irrigation, une réduction progressive de la croissance (élongation) a été observée, accompagnée d'un affaiblissement de l'aspect général de la plante. Cela est dû à l'effet du déficit hydrique sur la croissance végétative de la plante. Malgré le stress hydrique subi, les plantes ont conservé un certain niveau de croissance, ce qui témoigne de leur capacité de résister et de s'adapter au manque d'eau.



Figure 11 : Apparence morphologique des plantules sous les 4 régimes hydriques (25%, 50%, 75% et 100%) de la capacité au pots .

1.2. Effet du stress hydrique sur le poids frais

La figure 12 illustre l'évolution de la matière fraîche des plantules de sparte en réponse à différents régimes de stress hydrique.

L'analyse de la masse de la matière fraîche (PF) de sparte révèle une grande tolérance de l'espèce au stress hydrique modéré. En effet, à 75 % et 50 % de la capacité au pots, le poids frais reste statistiquement identique à celle du témoin saturé (100 %), avec des valeurs oscillant autour de 0,19 g à 0,22 g (groupe « a »), indiquant que la plante maintient sa croissance aérienne tant que l'humidité ne descend pas sous un seuil critique. Ce n'est qu'au niveau de stress sévère (25 %) que l'on observe une chute significative de la production foliaire, qui chute à environ 0,145 g (groupe « b »).

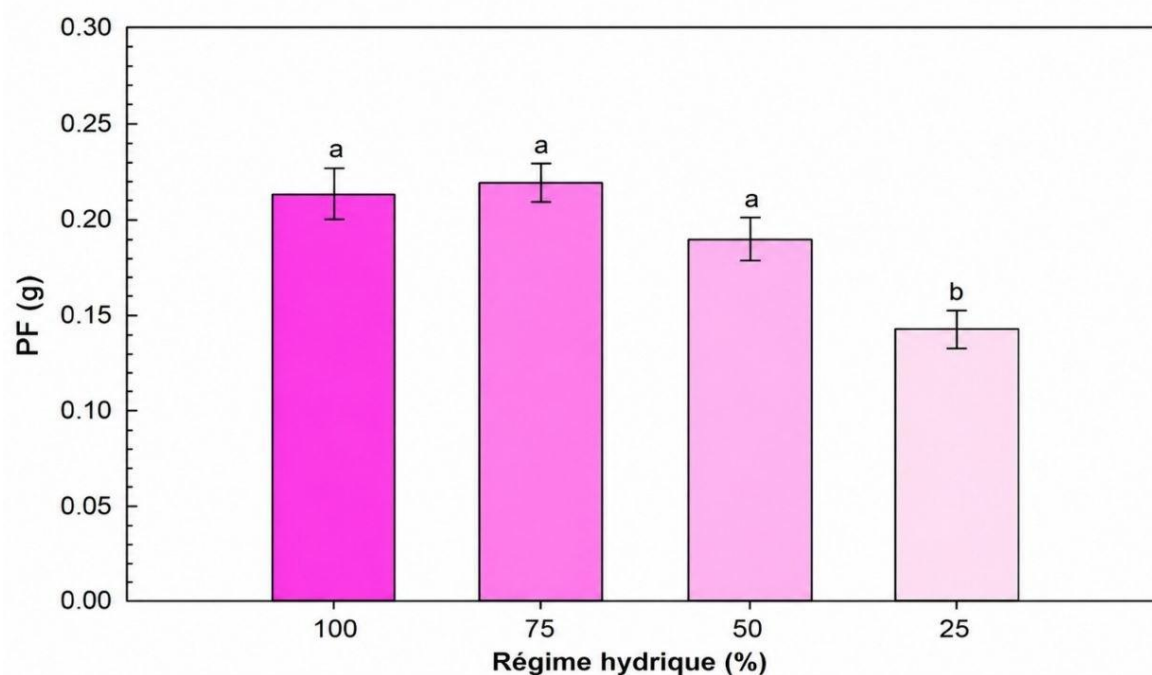


Figure 12: Effet des différents régimes hydrique sur le poids frais des plantules de sparte.

L'analyse de la variance à 1 facteur visualise une différence significative de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur la production de la matière fraîche chez les plantules de sparte.

Le Test de Duncan de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids frais des plantules de sparte visualise l'existence de deux groupes homogène (a , b).

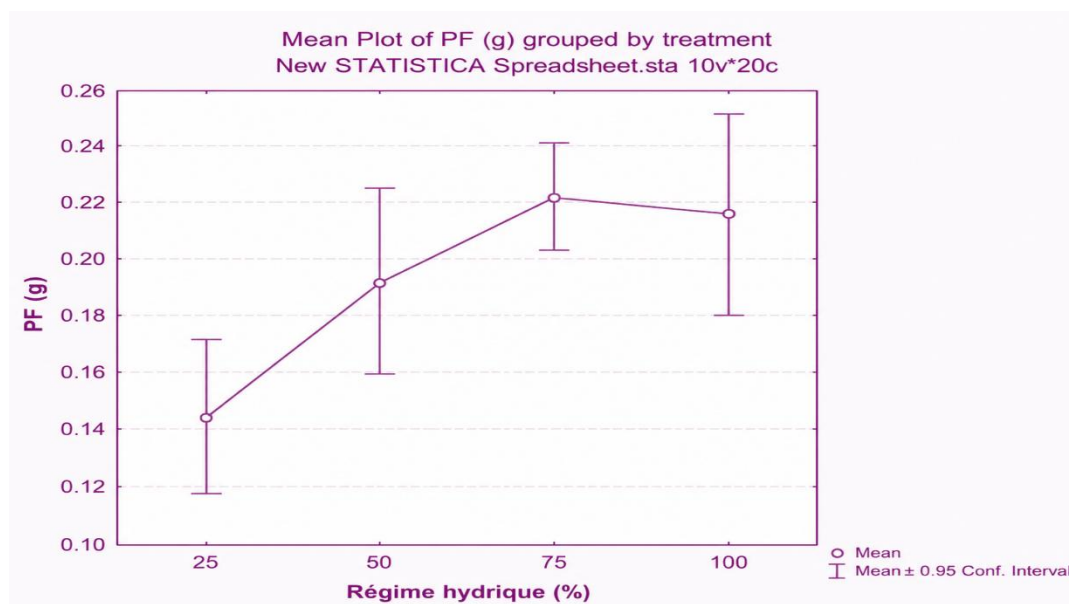


Figure 13 : Effet des différents régimes hydriques sur le poids frais de sparte

1.3. Effet du stress hydrique sur le poids sec :

La figure 14 représente l'évolution de la production de la matière sèche des plantules de sparte sous l'effet des différents régimes de stress hydrique.

La valeur enregistrée à 100 % (témoin) était de 0,034 g/plant. Elle a augmenté légèrement, mais de manière non significative, à 75% et 50% par rapport au témoin. Enfin, elle a diminué de manière significative pour atteindre 0.028 g/plant à 25 %. Les résultats ont également montré des différences statistiques entre les traitements : les traitements à 100 %, 75 % et 50 % présentaient tous le même groupe statistique (a), tandis que le traitement à 25 % présentait le groupe (b).

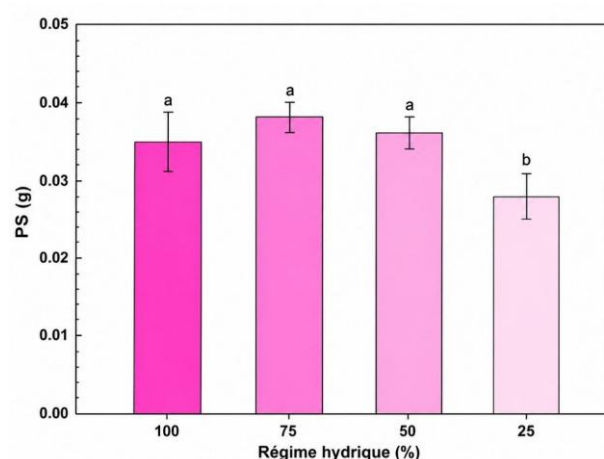


Figure 14 : Effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids sec des plantules de sparte

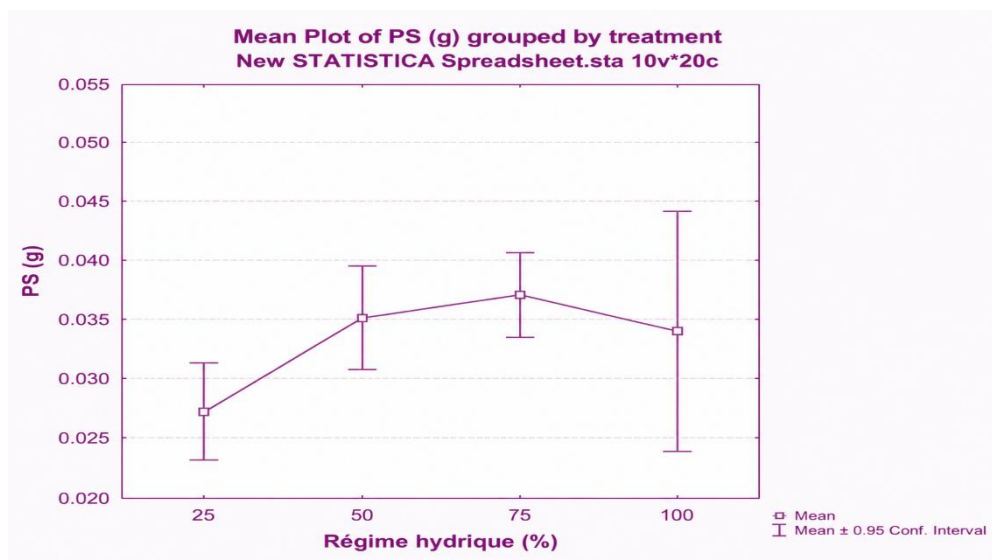


Figure 15 : Effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids sec des plantules de sparte

L'analyse de la variance à 1 facteur visualise une différence significative de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur la production de la matière sèche chez les plantules de sparte (*Lygeum spartum*).

Le Test de Duncan de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur le poids sec des plantules de sparte (*Lygeum spartum*) visualise l'existence de deux groupes distinct a et b.

1.4. Effet de stress hydrique sur teneur en eau (TE) :

La figure 16 représente l'effet des différents régimes de stress hydrique sur le teneur en eau des plantules de sparte.

La valeur enregistrée à 100 % (témoin) était de 0,18 g/plant, elle est restée presque inchangée à 75 %, puis a diminué de manière non significative à 0.16 g/plant à 50 %. Enfin, elle a également diminué de manière significative, à 0.12 g/plant à 25 %. Les résultats ont également montré des différences statistiques entre les traitements : les traitements à 100 %, 75 % et 50 % présentaient tous le même groupe statistique (a), tandis que le traitement à 25 % présentait le groupe (b).

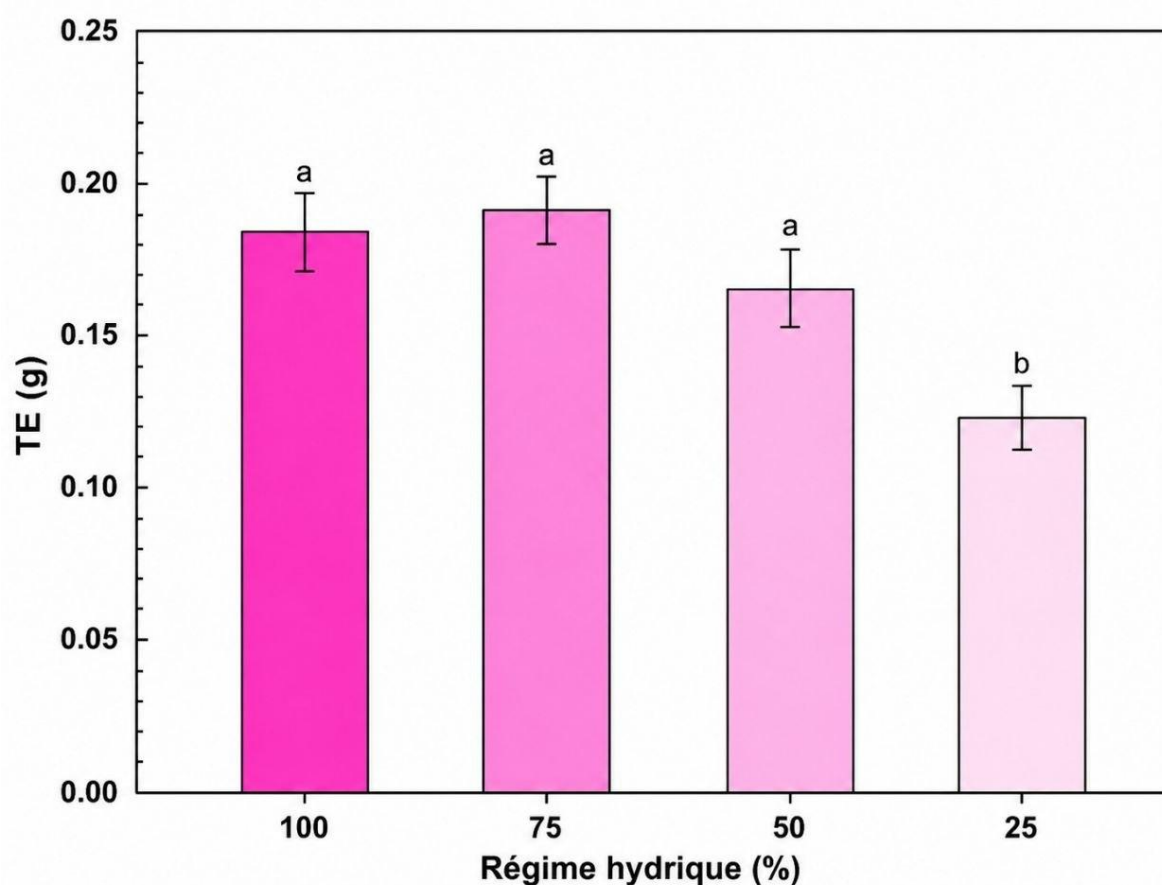


Figure 16 : Effet des différents régimes de stress hydrique sur le teneur en eau des plantules de sparte

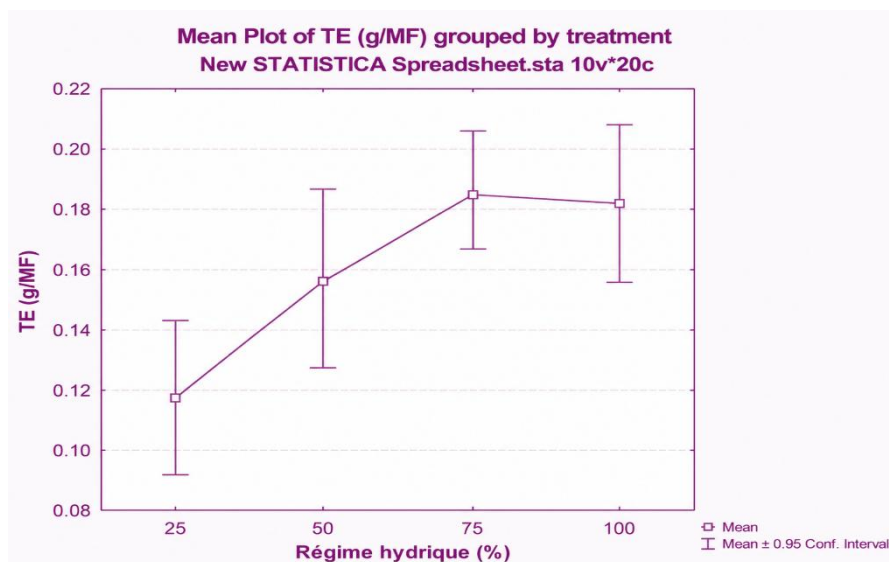


Figure 17 : Effet de stress hydrique sur le teneur en eau de sparte

L'analyse de la variance à 1 facteur visualise une différence significative de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur la teneur en eau chez les plantules de sparte (*Lygeum spartum*).

Le Test de Duncan de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur la teneur en eau des plantules de sparte (*Lygeum spartum*) visualise l'existence de deux groupes hétérogènes a et b.

1.4 Effet de stress hydrique sur la perméabilité membranaire (PM) :

Les résultats de la mesure de la perméabilité membranaire ont montré que les premières lectures de la conductivité C1 étaient totalement nulles pour tous les traitements et les répétitions. Cependant, après le traitement thermique au bain-marie, les membranes cellulaires ont subi une dégradation, entraînant la libération des ions dans le milieu extérieur et provoquant ainsi une augmentation des valeurs de la conductivité électrique C2. Cela indique que les membranes cellulaires sont restées intactes et n'ont pas été affectées au départ, ce qui a empêché la sortie des ions vers le milieu extérieur ; par conséquent, la perméabilité membranaire (PM) a présenté des valeurs nulles lors de l'application de la relation : $PM (\%) = C1.100 / C2$, ce qui indique que les cellules sont restées intactes et n'ont présenté aucune fuite ionique, traduisant ainsi une bonne intégrité des membranes cellulaires des plantules de sparte.

L'absence de fuite électrolytique, même chez les plantules soumises aux régimes hydriques sévères (50% et 25%), indique la tolérance remarquable du sparte vis-à-vis du stress hydrique, en préservant ses structures membranaires via ses adaptations écophysiologiques.

Tableau 03 : Mesure la perméabilité membranaire

	100%		75%		50%		25%	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
R1	0	0,04	0	0,07	0	0,06	0	0,05
R2	0	0,07	0	0,04	0	0,04	0	0,04
R3	0	0,05	0	0,05	0	0,03	0	0,04
R4	0	0,06	0	0,04	0	0,04	0	0,03
R5	0	0,04	0	0,05	0	0,03	0	0,03

1.5. Effet de stress hydrique sur les sucres totaux solubles :

La figure 18 représente l'effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles des plantules de sparte.

La valeur enregistrée à 100 % (témoin) était de 100 ug. Le traitement par les différents régimes de stress hydrique a induit une augmentation significative des sucres totaux solubles. A 75 %, elle a augmenté de 20 % par rapport au témoin tandis qu'elle a atteint 60 % par rapport au témoin à 50 %. La valeur la plus élevée a été enregistrée à 25 %, représentant une augmentation de 80 % par rapport au témoin.

L'analyse de la variance à 1 facteur visualise une différence significative de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte (*Lygeum spartum*).

Le Test de Duncan de l'effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte (*Lygeum spartum*) montre l'existence de deux groupes : a et b.

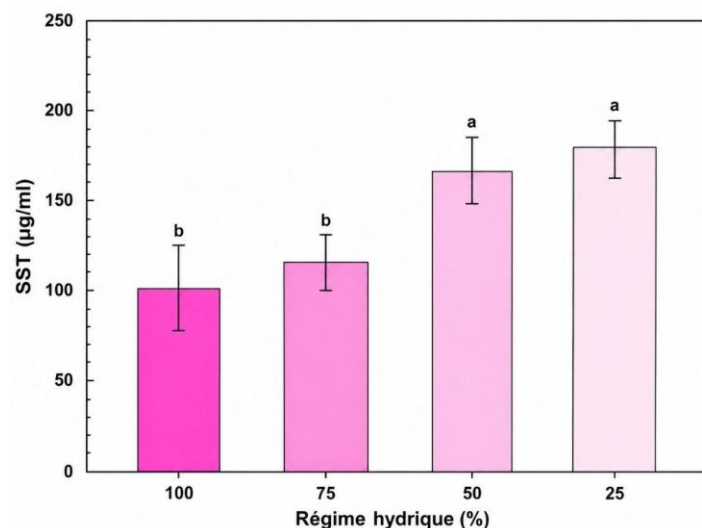


Figure 18: Effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte

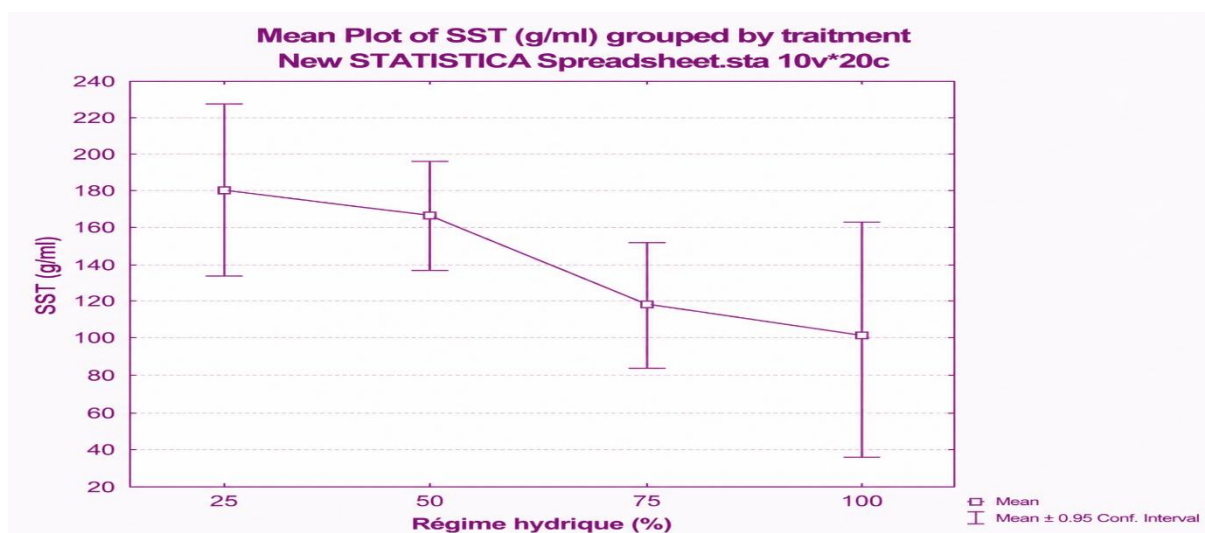


Figure 19: Effet des différents régimes de stress hydrique sur l'accumulation des sucres totaux solubles chez les plantules de sparte.

Discussion

D'une manière générale, la plante réagit au stress hydrique en mettant en place des changements morphologiques, physiologiques et biochimiques, ce qui lui permet de résister, de croître et de se développer.

L'eau est considérée comme un élément d'une grande importance pour la continuité de la croissance de la plante, ainsi que pour la division cellulaire et le développement de tous les organes de la plante.

De plus, le manque d'eau entraîne un stress hydrique, ce qui perturbe la croissance des plantes et provoque différentes modifications.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a provoqué une diminution de le poids frais (PF) chez les platules de sparte (*Lygeum spartum*). Le traitement par 25 % de la capacité au pots a provoqué une diminution significative de le poids frais (0,144 g/plant), tandis que le poids frais reste statistiquement identique à celle du témoin saturé (100 %), avec des valeurs oscillant autour de 0,19 g à 0,22 g/plant. De la même manière une diminution de l'accumulation de le poids sec (0,027 g) chez le sparte (*Lygeum spartum*) a été enregistrée sous le traitement 25 % de la capacité au pots par rapport au témoin. La réduction de le poids frais et sec sous déficit hydrique sévère (25%) s'explique principalement par la diminution de la turgescence cellulaire, qui limite l'expansion et l'élongation des cellules végétales. Le manque d'eau entraîne également une fermeture des stomates, réduisant l'assimilation du CO₂ et l'activité photosynthétique, ce qui diminue la production de biomasse. La réduction du poids frais et sec sous stress hydrique sévère (25%) s'explique également par la diminution de l'activité photosynthétique due à la fermeture stomatique et à la limitation de l'assimilation du CO₂. La baisse de la photosynthèse réduit la production de photoassimilats nécessaires à la synthèse de nouveaux tissus, ce qui entraîne une diminution de l'accumulation de poids sec . En outre, une partie importante des ressources carbonées est réorientée vers les mécanismes de défense et d'ajustement osmotique au détriment de la croissance. L'absence de différences significatives entre les traitements 50 %, 75 % et le témoin suggère que le sparte (*Lygeum spartum*) est capable de maintenir sa production de poids sec sous des niveaux modérés de déficit hydrique grâce à ses mécanismes d'adaptation. Cette réponse est fréquemment observée chez les espèces adaptées aux milieux arides, où la croissance n'est fortement affectée qu'en conditions de stress sévère. Des observations similaires ont été rapportées chez diverses

graminées et espèces xérophytes soumises à la sécheresse (Seleiman et al., 2021 ; Farooq et al., 2009 ; Flexas et al., 2006).

Les résultats de ce travail montrent également que le stress hydrique a induit une diminution significative de la teneur en eau (TE) chez les plantules de sparte uniquement sous un déficit sévère de 25 % de la capacité au champ ($\sim 0,11$ g), tandis que les traitements 50 % et 75 % n'ont induit aucun effet significatif, en maintenant une TE identique à celui du témoin 100 % ($\sim 0,18$ g). Cette stabilité initiale (50 % à 100 %) résulte d'une stratégie de tolérance via la fermeture précoce des stomates et l'ajustement osmotique, permettant de préserver l'homéostasie hydrique interne face au déficit modéré (Chaves et al., 2003). Cependant, à un seuil de stress critique (25 %), ces mécanismes physiologiques de compensation deviennent insuffisants face à l'épuisement de l'eau du sol, entraînant une chute inévitable de la TE par déshydratation cellulaire (Flexas et al., 2004).

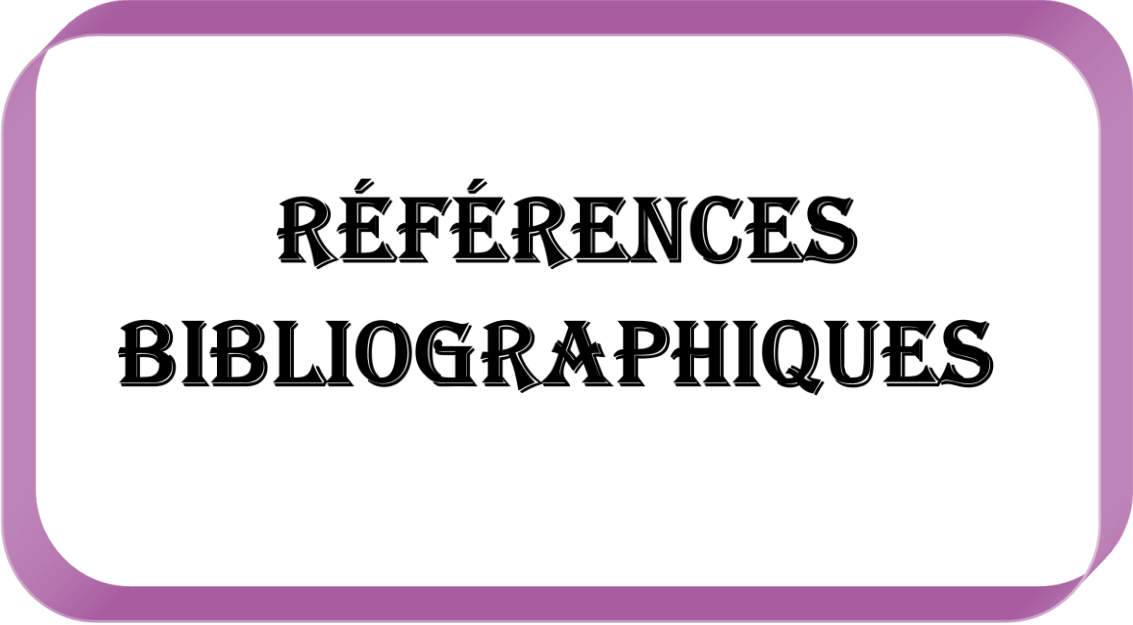
Une perméabilité membranaire (PM) de 0 %, obtenue avant le traitement thermique, indique une intégrité cellulaire complète et l'absence de fuite d'ions ($C1 = 0$) chez le sparte dans des conditions initiales contrôlées. D'un point de vue physiologique, cela s'explique par la perméabilité sélective d'une membrane plasmique intacte, qui maintient activement les gradients de concentration via des pompes ATPase, empêchant ainsi la libre diffusion des ions (notamment les ions potassium K^+) vers le milieu extérieur (Demidchik et al., 2014). Cependant, l'obtention d'une valeur totalement nulle ($C1 = 0$) est inhabituelle au regard des études scientifiques publiées. Dans la plupart des études portant sur le stress hydrique chez les plantes méditerranéennes, le groupe témoin ou le tissu non stressé présente généralement une fuite basale, comprise entre 5 % et 15 % (Bajji et al., 2002 ; Valentovic et al., 2006). Cette valeur de référence, utilisée dans les études précédentes, repose sur deux facteurs principaux : les lésions micromécaniques inévitables lors de la découpe des disques ou des segments de tissu, entraînant la libération du contenu des cellules coupées en périphérie (Whetlow et al., 1992) ; et la sensibilité des conductimètres modernes, capables de détecter des traces d'ions naturellement présents ou sécrétés à la surface de l'épiderme. L'absence totale de conductivité ($C1 = 0$) observée dans notre cas témoigne soit d'une manipulation optimale minimisant les dommages cellulaires lors du prélèvement, soit d'un lavage efficace des échantillons à l'eau déminéralisée avant la première mesure, éliminant ainsi toute interférence d'ions de surface (Plataniotis et al., 2020). Le passage dans le bain-marie, par dénaturation thermique des protéines membranaires et liquéfaction de la bicouche lipidique, a entraîné la rupture complète des barrières cellulaires, provoquant la libération de tous les électrolytes ($C2$) et confirmant ainsi l'efficacité du protocole de destruction (Blokhina et al., 2003).

Le stress hydrique induit une augmentation progressive de la teneur en sucres totaux solubles (STS) chez le sparte, passant d'environ 100 $\mu\text{g/ml}$ chez le témoin (100 %) à plus de 175 $\mu\text{g/ml}$ sous un déficit sévère (25 %). Cette accumulation progressive des STS constitue un mécanisme clé d'ajustement osmotique, permettant de maintenir la turgescence cellulaire et de protéger les structures macromoléculaires contre la déshydratation (**Chaves et al., 2003**). L'augmentation de ces solutés compatibles résulte généralement de la dégradation de l'amidon ou d'une modification de la répartition du carbone face au stress (**Couée et al., 2006**). Ainsi, la forte concentration de STS observée a compensé la chute de la teneur en eau tissulaire en maintenant le potentiel hydrique cellulaire à un niveau fonctionnel (**Rosa et al., 2009**).

Conclusion

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que le stress hydrique influence significativement plusieurs paramètres physiologiques et biochimiques chez le sparte (*Lygeum spartum*). La réduction de l'alimentation en eau a entraîné une diminution progressive du poids frais, du poids sec et de la teneur en eau, particulièrement sous le traitement le plus sévère (25 %). Toutefois, les niveaux modérés de stress n'ont pas provoqué de perturbations importantes de la croissance, ce qui traduit une certaine capacité de résistance de l'espèce. L'intégrité membranaire observée avant le traitement thermique indique que les cellules ont conservé leur stabilité malgré les contraintes hydriques. Par ailleurs, l'augmentation significative des sucres solubles totaux sous stress témoigne de l'activation de mécanismes d'ajustement osmotique permettant de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter les effets de la déshydratation. Ces réponses physiologiques contribuent à la survie de la plante dans les environnements arides et semi-arides. Ainsi, le sparte (*Lygeum spartum*) apparaît comme une espèce bien adaptée aux conditions de déficit hydrique. Cette aptitude constitue un atout écologique important pour la stabilisation des sols et la lutte contre la désertification. Les résultats obtenus confirment donc le potentiel de cette espèce dans les programmes de réhabilitation des zones dégradées. Des études complémentaires portant sur d'autres marqueurs physiologiques et moléculaires, notamment la proline et les systèmes antioxydants, permettraient d'approfondir la compréhension des mécanismes de tolérance développés par cette espèce face à la sécheresse.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Références bibliographiques

2. Aidoud-Lounis, F. (1984). Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux sud-oranais : étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse de Doctorat d'État, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 256 p.
3. Aidoud-Lounis, F. (1989). Le sparte : parent pauvre de l'alfa. *Annales de l'Institut National Agronomique El-Harrach*, 13(2), 265-287.
4. Almeida, H., Santos, R., & Pereira, F. (2025). Stomatal regulation and transpiration control under water deficit in higher plants. *Plant Science*, 342, 111205. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.111205>
5. Alvarez, S., & Morales, D. (2024). Water stress effects on transpiration and nutrient transport in plants. *Plant Physiology Reports*, 29, 155–172. <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00789-4>
6. Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192–203.
7. Baba Aissa, F. (2000). *Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et du Maghreb, substances végétales d'Afrique d'Orient et d'Occident*. EDAS, Librairie Moderne.
8. Bajji, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36(1), 61–70.
9. Bennani, A., El Mouhri, F., & Kabbour, R. (2024). Leaf morphological plasticity in response to drought stress in Mediterranean plants. *Journal of Arid Environments*, 221, 104971.

10. Bennett, J., Carter, S., & Williams, R. (2024). Maintenance of cell turgor as a key mechanism of drought tolerance in plants. *Journal of Plant Physiology*, 295, 154612. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154612>
11. Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. *Annals of Botany*, 91(2), 179–194.
12. Bouazza, M., Benabadji, N., Loisel, R., & Metge, G. (2004). Évolution de la végétation steppique dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie). *Revue d'Écologie Méditerranéenne*, 30(2), 219–233.
13. Cabezudo, B., et al. (2005). Halophytic flora of the Mediterranean Basin. *Flora Mediterranea*, 15, 141–158.
14. Cabezudo, B., et al. (2005). Halophytic flora of the Mediterranean Basin. *Flora Mediterranea*, 15, 141–158.
15. Cao, Y., Yang, W., & Ma, J. (2024). An integrated framework for drought stress in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9347. <https://doi.org/10.3390/ijms25179347>
16. Carmo Santos, M. L., Silva Santos, A., & Novais, D. P. S. (2025). The family of glutathione peroxidase proteins and their role against biotic stress in plants: A systematic review. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1425880. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1425880>
17. Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought — From genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 239–264.
18. Chen, J., Wang, L., & Zhao, F. (2025). Mineral nutrition dynamics under drought stress in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 188(2), 210–228. <https://doi.org/10.1002/jpln.202500123>
19. Chinnusamy, V., Zhu, J., & Zhu, J.-K. (2024). Cold stress signaling and tolerance mechanisms in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 75, 123–148. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-052123-112345>

- 20.Cope, T., & Nesbitt, M. (2002). *Lygeum spartum*. Curtis's Botanical Magazine, 19(1), 35–39.
- 21.Costa, L., Ferreira, M., & Ramos, P. (2025). Integrated drought avoidance strategies in plants: Morphological and physiological responses. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1460021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1460021>
- 22.Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A., & Yurin, V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: The role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*, 65(5), 1259–1271.
- 23.Djabeur, M., Kaid-Harche, D., & Khelifi, D. (2008). *Proteins polymorphism of some populations of Lygeum spartum L. in Algeria. American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(1), 337–341.
- 24.Djebaili, S. (1984). *Steppe algérienne: Phytosociologie et écologie. Office des Publications Universitaires*.
- 25.El-Sayed, M., Hassan, A., & Ibrahim, N. (2025). Integrated drought tolerance mechanisms in plants: From molecules to whole-plant responses. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1482001.
- 26.Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., & Siddique, K. H. M. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms, and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185–212.
- 27.Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Medrano, H., & Sharkey, T. D. (2004). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: Future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Annals of Applied Biology*, 144(3), 273–283.
- 28.Gao, Y., Li, P., & Sun, J. (2024). Effects of drought stress on photosynthetic pigments and photochemical efficiency in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 218, 105553.

29. García, M. J., Torres, A., & López, R. (2024). Leaf structural adaptations to drought stress in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 75(6), 1890–1908. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad512>
30. García, P., Morales, D., & Fernández, J. (2025). Structural alterations of plant cell membranes under drought stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 76(1), 112–130. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad620>
31. González, A., Pérez, M., & Herrera, J. (2024). Protective roles of soluble sugars in plant stress tolerance: Membrane and protein stabilization. *Environmental and Experimental Botany*, 220, 105721.
32. Harche, M. (1978). *Contribution à l'étude de l'Alfa (Stipa tenacissima L.): Germination, croissance des feuilles, différenciation des fibres (Thèse de 3e cycle)*. Université des Sciences et Technologies de Lille.
33. Hasanuzzaman, M., Alam, M. M., & Roy, A. (2025). Proline-mediated antioxidant defense in plants under drought stress. *Antioxidants*, 14(3), 412. <https://doi.org/10.3390/antiox14030412>
34. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., & Anee, T. I. (2025). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 14(2), 310. <https://doi.org/10.3390/antiox14020310>
35. Hernández, M., García, L., & Ruiz, A. (2025). Stomatal regulation under drought stress: Balancing water loss and carbon gain. *Journal of Experimental Botany*, 76(2), 210–225. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad700>
36. Khan, N., Fatima, S., & Rizvi, F. (2024). Photosynthetic limitation and carbon allocation under drought stress. *Photosynthesis Research*, 161, 245–262. <https://doi.org/10.1007/s11120-024-01045-9>
37. Kowalczyk, A., Nowicka, M., & Jankowski, P. (2025). Stomatal regulation and physiological maintenance under drought conditions. *Plant Science*, 343, 111240. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.111240>

- 38.Kowalski, M., Nowak, A., & Zielinski, J. (2025). Physiological tolerance mechanisms in plants under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 225, 106010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2025.106010>
- 39.Kumar, P., Singh, R., & Verma, S. (2025). Carbohydrate metabolism and drought tolerance in plants: Physiological and molecular insights. *Journal of Plant Physiology*, 293, 154321. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2025.154321>
- 40.Kumar, S., Singh, R., & Patel, A. (2025). Post-anthesis drought stress and its impact on crop yield formation. *Field Crops Research*, 312, 108423. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.108423>
- 41.Kumar, V., Singh, D., & Sharma, A. (2025). Protective roles of proline in plant abiotic stress tolerance: Membrane stability and protein protection. *Journal of Plant Physiology*, 296, 154678. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2025.154678>
- 42.Li, H., Zhang, X., & Chen, Y. (2024). Osmolyte accumulation and water balance regulation in plants under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 223, 105910. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105910>
- 43.Li, J., Chen, Y., & Zhao, L. (2024). Membrane integrity and electrolyte leakage in plants under drought-induced oxidative stress. *Environmental and Experimental Botany*, 224, 105965.
- 44.Li, W., Zhang, Q., & Chen, L. (2025). Drought escape strategies in plants: Early flowering and growth regulation. *Environmental and Experimental Botany*, 222, 105882. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2025.105882>
- 45.Li, W., Zhang, Q., & Chen, L. (2025). Morphological plasticity of plants under drought stress: Impacts on growth and leaf development. *Environmental and Experimental Botany*, 222, 105882.

- 46.Li, X., Wang, Y., & Zhang, Q. (2025). Soluble sugars as key regulators of osmotic adjustment under drought stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 216, 108998. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.108998>
- 47.Li, X., Zhang, Y., & Liu, H. (2025). Drought-induced alterations in nutrient uptake and transport in crop plants. *Plant and Soil*, 497, 45–67. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-06123-8>
- 48.Li, Y., Zhang, X., & Chen, J. (2025). Plant responses to biotic stress: Mechanisms underlying pathogen perception and defense activation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 210, 108623.
- 49.Mahajan, S., Thakur, P., & Das, S. (2025). Impression of contemporary heat stress complexities in agricultural crops. *Plant Growth Regulation*, 105, 1805–1823. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01382-8>
- 50.Martínez, J. P., Rubio, J., & Delgado, M. (2024). Root system architecture and water uptake efficiency under drought conditions in plants. *Plant Biology*, 26(3), 455–468. <https://doi.org/10.1111/plb.13567>
- 51.Mazumdar, R., Konwar, S., & Borgohain, T. (2024). Drought stress in plants: Morphological, physiological and biochemical alterations. *Ecology, Environment and Conservation*, 30(4), 2003–2011.
- 52.Mekureyaw, M. F., Pandey, C., Sorty, A. M., Hennessy, R. C., Nicolaisen, M. H., Liu, F., & Roitsch, T. (2026). Biofilm formation by *Pseudomonas putida* contributes to improve tomato drought stress resilience and priming for enhanced gene regulation. *Journal of Plant Physiology*, 317, 154704.
- 53.Mencuccini, M., Minunno, F., & Salmon, Y. (2026). Semi-arid grasses combine contrasting strategies of dehydration tolerance associated with carbohydrate storage and embolism resistance under drought. *Journal of Experimental Botany*, 77(8), 2443–2453.
- 54.Müller, K., Schneider, T., & Hoffmann, D. (2025). Cellular osmotic adjustment and structural stability in plants under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 219, 109390.

- 55.Nedjraoui, D. (1990). *Adaptation de l'alfa (Stipa tenacissima L.) aux conditions stationnelles: Contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique (Thèse de doctorat). Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.*
- 56.Nguyen, H. T., Bui, T. H., & Tran, P. Q. (2025). Cell turgor maintenance and drought tolerance mechanisms in higher plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 217, 109120. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109120>
- 57.Nguyen, T. P., Le, H. Q., & Pham, D. (2025). Organelle stability and chloroplast protection under water deficit stress. *Environmental and Experimental Botany*, 225, 106020.
- 58.Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V., & Senthil-Kumar, M. (2025). Complexity of combined abiotic stresses to crop plants. *Plant Stress*, 17, 100926. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100926>
- 59.Petrov, D., Ivanova, S., & Koleva, R. (2024). Chloroplast stability and structural maintenance under drought stress conditions. *Plant Science*, 340, 111180. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.111180>
- 60.Pugnaire, F. I., & Haase, P. (1996). *Comparative physiology and growth of two perennial tussock grass species in a semi-arid environment. Annals of Botany*, 77(1), 81–86.
- 61.Ramegowda, V., Senthil, A., & Senthil-Kumar, M. (2024). Stress combinations and their interactions in crop plants. *Plant Physiology Reports*, 29, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00785-5>
- 62.Rodriguez, E., Silva, F., & Martinez, J. (2025). Drought tolerance strategies in plants: Physiological and cellular responses. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1471203. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1471203>
- 63.Saberi Riseh, R., Fathi, F., Vatankhah, M., & Kennedy, J. F. (2024). Exploring the role of levan in plant immunity to pathogens: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135419. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135419>

- 64.Sahoo, L., Swain, B., & Yadav, D. (2025). A review on different priming strategies to mitigate abiotic stress in plants. *Discover Applied Sciences*, 7, 618. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07009-x>
- 65.Schneider, T., Müller, K., & Hoffmann, D. (2025). Physiological adjustment and metabolic downregulation in plants under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 225, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2025.105998>
- 66.Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- 67.Şimşek, Ö., Isak, M. A., & Dönmez, D. (2024). Advanced biotechnological interventions in mitigating drought stress in plants. *Plants*, 13(5), 717. <https://doi.org/10.3390/plants13050717>
- 68.Singh, A., Kumar, V., & Prasad, S. M. (2025). Multi-omics approaches to understand plant adaptation to abiotic stresses. *Plant Molecular Biology*, 118, 45–67. <https://doi.org/10.1007/s11103-025-01345-9>
- 69.Singh, R., & Patel, N. (2025). Proline as a multifunctional metabolite in plant stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1456789. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1456789>
- 70.Singh, V., Kumar, A., & Sharma, S. (2025). Adaptive strategies of plants under water deficit: Avoidance and tolerance mechanisms. *Plant and Soil*, 498, 77–96. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-06188-5>
- 71.Singh, V., Kumar, A., & Sharma, S. (2025). Root system plasticity under water deficit: Adaptive strategies for water uptake. *Plant and Soil*, 498, 77–96. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-06188-5>
- 72.Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Valentine, D. H., Walters, S. M., & Webb, D. A. (Eds.). (1964–1980). *Flora Europaea* (Vols. 1–5). Cambridge University Press.

73. Vadez, V., Grondin, A., & Chenu, K. (2024). Crop traits and production under drought. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5, 211–225. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00514-w>
74. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and antioxidant enzymes in maize. *Plant, Soil and Environment*, 52(4), 186–191.
75. Wang, L., Chen, H., & Liu, Y. (2025). Dynamic changes in soluble sugars under prolonged drought stress in plants. *Plant Science*, 341, 111123. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.111123>
76. Wang, W., Cao, H., & Zhang, H. (2025). Recent advances in plant immunity against pathogens: From perception to defense responses. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1517595.
77. Wang, Y., Liu, X., & Zhang, H. (2025). Malondialdehyde as a biomarker of membrane lipid peroxidation under abiotic stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 219, 109345.
78. Watson, L., & Dallwitz, M. J. (1992). *Lygeum* Loefl ex L. In *The grass genera of the world*. Retrieved November 28, 2005.
79. Watson, L., & Dallwitz, M. J. (1992). *Lygeum* Loefl. ex L. In *The Grass Genera of the World*. Retrieved November 28, 2005,
80. Whitlow, T. H., Bassuk, N. L., Ranney, T. G., & Reichert, D. L. (1992). An improved method for using electrolyte leakage to assess membrane stability in plant tissues. *Plant Physiology*, 98(1), 198–205.
81. Zhang, H., Lang, Z., Zhu, J.-K., & Wang, P. (2025). Tackling abiotic stress in plants: Recent insights and trends. *Stress Biology*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s44154-025-00216-x>
82. Zhang, L., Wang, Y., & Liu, S. (2025). Proline metabolism and its role in plant drought tolerance: Physiological and molecular perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry*, 218, 109210.

- 83.Zhou, R. (2025). Effects of abiotic stresses on crop plants: Physiological and molecular perspectives. *Agronomy*, 15(2), 465.
- 84.Zhou, R., & Li, J. (2024). Plant adaptive strategies under drought stress: An integrative perspective. *Agronomy*, 15(2), 465.
- 85.Zhou, R., & Li, J. (2025). Oxidative stress and plant growth inhibition under drought conditions. *Agronomy*, 15(3), 512.
- 86.Zhou, Y., & Li, J. (2024). Osmoprotectants and plant drought tolerance: Focus on soluble carbohydrates. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1387745. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1387745>
- 87.Zhou, Y., Liu, J., & Wang, X. (2025). Cellular mechanisms of drought-induced growth inhibition in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 217, 109102. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109102>
- 88.Zlatev, Z., & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations, and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24, 57–72.
- 89.Zouidi, M., Borsali, A.H., Allam, A. & Gros R. (2019a). Microbial activities and physicochemical properties of coniferous forest soils in two forest areas (arid and semi-arid) of western Algeria. *Bosque*, 40(2), 163–171. DOI: 10.4067/S0717-92002019000200163.

ملخص

أُجريت هذه الدراسة لتقييم تأثير الإجهاد المائي على نمو نبات السناق (*Lygeum spartum*) وبعض استجاباته الفيزيولوجية والكيمو حيوية. عُرِضَت الشتلات لأربعة مستويات سقي (100%، 75%، 50%، و25% من السعة المائية للتربة). أظهرت النتائج أن نقص الماء الشديد (25%) تسبب في انخفاض ملحوظ في الوزن الطازج والوزن الجاف ومحتوى الماء. في المقابل، لم تؤثر المعاملات المعتدلة (50% و75%) بشكل ملحوظ على هذه المعايير مقارنةً بالمجموعة الشاهدة. كشفت قياسات نفاذية الغشاء عن سلامة جيدة لأغشية الخلايا، تميزت بعدم وجود تسرب للأيونات قبل المعالجة الحرارية. علاوة على ذلك، أدى الإجهاد المائي إلى زيادة ملحوظة في إجمالي محتوى السكريات الذائبة، لا سيما عند أعلى مستويات الإجهاد. يشكل هذا التراكم آلية تكيف أسموزي تحافظ على توازن الماء الخلوي. تُبرز النتائج مجتمعةً قدرة السناق على تحمل ظروف نقص الماء من خلال آليات التكيف الفيزيولوجية والكيميائية الحيوية.

الكلمات المفتاحية:

(السناق ، الإجهاد المائي ، المؤشرات البيوكيميائية ، المؤشرات الفيسيولوجية)

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of water stress on the growth and certain physiological and biochemical responses of *Lygeum spartum*. Seedlings were subjected to four irrigation levels (100%, 75%, 50%, and 25% of soil water capacity). The results showed that severe water deficit (25%) caused a significant decrease in fresh weight, dry weight, and water content. In contrast, moderate treatments (50% and 75%) did not significantly affect these parameters compared to the control. Membrane permeability measurements revealed good cell membrane integrity, characterized by the absence of ion leakage before heat treatment. Furthermore, water stress induced a significant increase in total soluble sugar content, particularly under the highest stress levels. This accumulation constitutes an osmotic adjustment mechanism that maintains cellular water balance. The results as a whole highlight the ability of *Lygeum spartum* to tolerate water deficit conditions through physiological and biochemical mechanisms of adaptation.

Keywords:

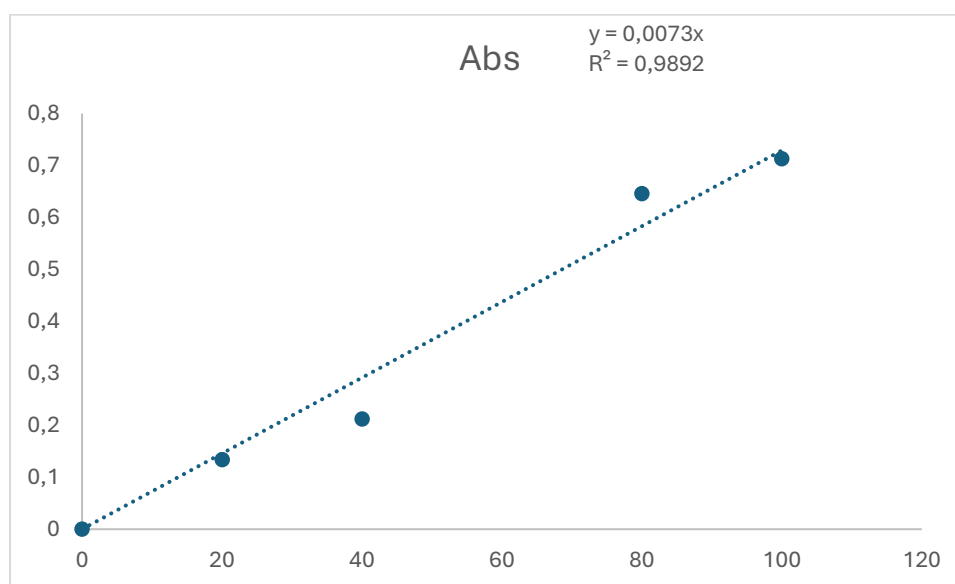
(*Lygeum spartum*, water stress, biochemical parameters, physiological parameters)

Résumé

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer l'effet du stress hydrique sur la croissance et certaines réponses physiologiques et biochimiques de *Lygeum spartum*. Les plantules ont été soumises à quatre niveaux d'irrigation (100 %, 75 %, 50 % et 25 % de la capacité en eau du sol). Les résultats ont montré que le déficit hydrique sévère (25 %) provoque une diminution significative du poids frais, du poids sec et de la teneur en eau. En revanche, les traitements modérés (50 % et 75 %) n'ont pas affecté significativement ces paramètres par rapport au témoin. Les mesures de perméabilité membranaire ont révélé une bonne intégrité des membranes cellulaires, caractérisée par l'absence de fuite ionique avant traitement thermique. Par ailleurs, le stress hydrique a induit une augmentation importante de la teneur en sucres solubles totaux, particulièrement sous les niveaux de stress les plus élevés. Cette accumulation constitue un mécanisme d'ajustement osmotique permettant le maintien de l'équilibre hydrique cellulaire. L'ensemble des résultats met en évidence la capacité de *Lygeum spartum* à tolérer les conditions de déficit hydrique grâce à des mécanismes physiologiques et biochimiques d'adaptation.

Mots-clés : (*Lygeum spartum* , stress hydrique, paramètres biochimiques, paramètres physiologiques).

Annexe



Courbe d'étalonnage des sucres totaux solubles dans la date 05/05/2026.

Correlation matrix

1. Le Teneur en Eau

Variables	Traitments-25	Traitments-50	Traitments-75	Traitments-100	TE
Traitments-25	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.3333	-0.7605
Traitments-50	-0.3333	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.0595
Traitments-75	-0.3333	-0.3333	1.0000	-0.3333	0.4333
Traitments-100	-0.3333	-0.3333	-0.3333	1.0000	0.3868
TE	-0.7605	-0.0595	0.4333	0.3868	1.0000

Category	Mean	Groups	
75	0.1847	A	
100	0.1821	A	
50	0.1567	A	
25	0.1169		B

Traitments / Duncan / Analysis of the differences between the categories with a confidence interval of 95%:

2. Le Poids Sec

Variables	Traitments-25	Traitments-50	Traitments-75	Traitments-100	PS
Traitments-25	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.3333	-0.6084
Traitments-50	-0.3333	1.0000	-0.3333	-0.3333	0.1821
Traitments-75	-0.3333	-0.3333	1.0000	-0.3333	0.3646
Traitments-100	-0.3333	-0.3333	-0.3333	1.0000	0.0617
PS	-0.6084	0.1821	0.3646	0.0617	1.0000

Category	Mean	Groups	
75	0.0368	A	
50	0.0350	A	
100	0.0339	A	
25	0.0274		B

Traitments / Duncan / Analysis of the differences between the categories with a confidence interval of 95%:

3. Le Poids Frais

Variables	Traitments-25	Traitments-50	Traitments-75	Traitments-100	PF
Traitments-25	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.3333	-0.7657
Traitments-50	-0.3333	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.0248
Traitments-75	-0.3333	-0.3333	1.0000	-0.3333	0.4386
Traitments-100	-0.3333	-0.3333	-0.3333	1.0000	0.3519
PF	-0.7657	-0.0248	0.4386	0.3519	1.0000

Category	Mean	Groups	
75	0.2215	A	
100	0.2159	A	
50	0.1917	A	
25	0.1442		B

Traitments / Duncan / Analysis of the differences between the categories with a confidence interval of 95%:

4. STS

Variables	Traitments- 25	Traitments- 50	Traitments- 75	Traitments- 100	SST
Traitments- 25	1.0000	-0.3333	-0.3333	-0.3333	0.4814
Traitments- 50	-0.3333	1.0000	-0.3333	-0.3333	0.3189
Traitments- 75	-0.3333	-0.3333	1.0000	-0.3333	-0.2948
Traitments- 100	-0.3333	-0.3333	-0.3333	1.0000	-0.5056
SST	0.4814	0.3189	-0.2948	-0.5056	1.0000

Category	Mean	Groups		
25	179.8356	A		
50	166.5753	A		
75	116.4932		B	
100	99.2877		B	

Traitments / Duncan / Analysis of the differences between the categories with a confidence interval of 95%: