

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE – BLIDA1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES

Projet de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du

Diplôme en Master académique.

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Système de Production Agro-écologique

Thème :

Stratégies d'adaptation de deux écotypes d'*Atriplex halimus* L. au stress hydrique

- Réalisé par: **Nhantumbo Carlos**

Devant le jury :

Présidente	BENREBIHA F/Z	Professeur	USD Blida-1
Promotrice	CHAOUIA C.	Professeur	USD Blida-1
Co-Promotrice	CASSASNI L.	Doctorante	USD Blida-1
Examinatrice	OUKARA F/Z	Maître Recherche (B)	I.N.R.F

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu le Tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience, la volonté et la santé afin de réaliser ce travail.

Je tiens également à remercier le gouvernement du Mozambique et le gouvernement Algérienne pour cette coopération par laquelle j'ai eu cette bourse d'études.

Je voudrais adresser ma gratitude à ma promotrice **Mme Chaouia**, pour sa patience, sa disponibilité, sa confiance en moi et surtout ses judicieux conseils qui ont alimenté ma réflexion.

Merci infiniment à ma Co-promotrice **Mlle Lydia**, pour son aide précieuse et pour le temps qu'elle m'a consacré.

Je tiens également à remercier **Mme Benrebiha F/Z** de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements s'adressent également à **Mme Oukara F/Z** pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à tous mes professeurs, enseignants, amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

En fin tout ma gratitude s'exprime également à mes parents, et toute la famille pour leur présence Durant ma démarche.

Merci.

Dédicaces

Que ce travail témoigne dès mes respects :

*A mes parents : **Agapito Carlos Nhantumbo** et **Maria de Lurdes Maholele***

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fier de moi.

*A mes sœurs : **Dulce, Flora, Betty** et **Linda***

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes professeurs :

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

Carlos Agapito Toscano Nhantumbo

Résumé

Dans le monde, chaque année de grandes parcelles perdent leur valeur agricole à cause de la sécheresse, l'érosion et la salinité. La sécheresse constitue un traumatisme majeur limitant la croissance et développement des végétaux. Ce phénomène oriente la plante vers sa disparition ou à déclencher des mécanismes de défense lui permettant de tolérer ou de résister au stress.

La recherche des plantes plus adaptées à la sécheresse est un enjeu fondamental pour l'agriculture.

Les halophytes possèdent un rôle important elles présentent une solution moins coûteuse et sont aussi écologiques pour la restitution de la valeur agronomique des sols considérés comme perdus par la sécheresse et la salinité. Elles ont une grande souplesse aux stress abiotiques et sont également évaluées pour leur usage écologique et fourragère.

Atriplex halimus L. est une espèce xéro-halophyte répandue dans le bassin méditerranéen. Notre travail de recherche nous a permis d'identifier des différentes stratégies physiologiques et biochimiques d'adaptation de deux écotypes d'*Atriplex halimus* L. différent par leur habitat. Un stress hydrique simulé par le polyéthylène glycol (PEG-6000) à différentes concentrations (10 ; 15 et 20%) dans des conditions semi-contrôlés en système hydroponique a été réalisé.

L'analyse du comportement des plantules face au stress hydrique montre que ces dernières lorsqu'elles subissent un stress pendant 5 jours, les résultats varient selon l'intensité du stress. Une accumulation des osmorégulateurs (proline et sucres solubles) a été vérifiée chez cette espèce pour les deux écotypes. Les teneurs en pigments chlorophylliens également dépendent de l'intensité du stress appliqué, mais ces dernières ont connu une variation selon l'écotype et l'intensité du stress. L'écotype de Tamanrasset présente les meilleurs résultats face au stress hydrique avec 2,35mg/g PF comparés à l'écotype de Djelfa qui n'enregistre que 1,08mg/g PF.

Mots clés : *Atriplex halimus* L. ; Stress hydrique ; Système hydroponique ; Tamanrasset, Djelfa ; PEG-6000.

Abstract

In the world, every year large plots lose their agricultural value because of drought, erosion and salinity. Drought is a major trauma limiting plant growth and development. This phenomenon directs the plant towards its disappearance or to trigger defense mechanisms allowing it to tolerate or resist stress. The search for seedlings more adapted to drought is a fundamental issue for agriculture.

Halophytes play an important role, they offer a cheaper solution and are also ecological for restoring the agronomic value of soils considered lost by drought and salinity. They have great flexibility to abiotic stress and are also valued for their ecological and forage use.

Atriplex halimus L. is a xero-halophyte species widespread in the Mediterranean basin.

Our research work allowed us to identify different physiological and biochemical adaptation strategies of two different *Atriplex halimus* L. ecotypes by their habitat. A hydric stress simulated by polyethylene glycol (PEG6000) at different concentrations (10; 15 and 20%) under semi-controlled conditions in hydroponic system was realized.

The analysis of the behavior of seedlings in the face of water stress shows that the latter when they undergo a stress for 5 days, the results vary according to the intensity of the stress. An accumulation of osmoregulators (proline and soluble sugar) was verified in this species for both ecotypes. The levels of chlorophyll pigments also depend on the intensity of the stress. The ecotype of Tamanrasset presents the best results in water stress with 2,35mg/g PF compared to the Djelfa ecotype which does not record 1,08mg/g PF.

Keys words: *Atriplex halimus* L; water stress; PEG-6000; hydroponic system; Tamanrasset; Djelfa;

Liste de Tableaux

Tableau 1	Répartition des espèces d' <i>Atriplex</i> dans le monde.....	03
Tableau 2	Les <i>Atriplex</i> en Afrique du Nord.....	04
Tableau 3	Répartition des différentes espèces d' <i>Atriplex</i> en Algérie.....	05
Tableau 4	Composition chimique moyenne d' <i>Atriplex halimus</i> L, en % de MS.....	17
Tableau 5	Données climatiques des régions de Djelfa et Tamanrasset.....	34
Tableau 6	Composition de la solution Nutritive.....	39
Tableau 7	Préparation des solutions du PEG6000.....	40

Liste des Figures

Figure 1	Arbuste d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	11
Figure 2	Rameau feuillu avec inflorescence et fruit.....	13
Figure 3	Inflorescence mâle et femelle.....	14
Figure 4	Complexité des plantes a la réponse aux différents stress abiotiques.....	20
Figure 5	Carte géographique des sites de provenance du matériel végétal.....	34
Figure 6	Serre expérimental du Département des biotechnologies et production végétal.....	35
Figure 7	Aspect des graines d' <i>Atriplex halimus</i> L. de l'écotype de Djelfa.....	35
Figure 8	Aspect des graines d' <i>Atriplex halimus</i> L. de l'écotype de Tamanrasset	36
Figure 9	Aspect des graines avant et après germination dans l'étuve (Écotype de Djelfa).....	36
Figure 10	Présentation de la mini-serre.....	37
Figure 11	Vue générale des plantules après repiquage.....	37
Figure 12	Présentation du system hydroponique.....	38
Figure 13	Aspect générale des plantules en phase d'acclimatation.....	38
Figure 14	Taux final de germination.....	46
Figure 15	Cinétique de germination des graines (Djelfa et Tamanrasset).....	47
Figure 16	Variation du taux de la teneur relative en eau.....	48
Figure 17	Variation de pourcentage de la teneur relative en eau	49
Figure 18	Variation de teneurs relatives en eau chez les deux écotypes.....	50
Figure 19	Variation de la teneur en chlorophylle (a)	51
Figure 20	Variation de la teneur en chlorophylle (a)	52
Figure 21	Différence de la teneur en chlorophylle (a) chez les deux écotypes.....	53
Figure 22	Variation de la teneur en chlorophylle (b)	54
Figure 23	Variation de la teneur en chlorophylle (b)	55
Figure 24	Différence de la teneur en chlorophylle (b) chez les deux écotypes.....	55
Figure 25	Teneur en chlorophylle total	56
Figure 26	Teneur en chlorophylle total	57
Figure 27	Différence de la teneur en chlorophylle total (a+b) chez les deux écotypes.....	58
Figure 28	Teneur en proline	60

Figure 29	Teneur en proline.....	61
Figure 30	Comparaison de la teneur en proline entre les deux écotypes.....	62
Figure 31	Teneurs en sucres solubles	63
Figure 32	Teneurs en sucres solubles.....	64
Figure 33	Comparaison des teneurs en sucres chez les deux écotypes.....	65

Liste des abréviations

A : Atriplex

ABA: Acide abscissique;

ATP: Adénosine Tri Phosphate

Ca : Calcium

H.C.D.S : Haut-Commissariat au Développement de la Steppe

Kg : Kilogramme

L : Linné

LSD : Densité spécifique foliaire ;

µg : Microgramme

MAT : Matière Azoté Totale

MF : Matière fraîche ;

MO : Matière organique

MS : Matière séchée ;

NaCl : Chlorure de Sodium

PF : Point de flétrissement ;

RFU : Réserve facilement utilisable ;

ROS : Réactive Oxygène Species

RU : Réserve utilisable

T : Témoin

TRE : Teneur Relative en Eau

UF : Unité Fourragère

UFL : Unité Fourragère Lait

°C : Degrée Celsius

% : Pourcentage

Sommaire

Introduction	1
Partie I : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Genre <i>Atriplex</i>	
1-Présentation du genre <i>Atriplex</i>	3
2-Repartition dans le monde.....	3
3-Potentiel écologique et économique des <i>Atriplex</i>	6
Chapitre II : Présentation de l'espèce <i>Atriplex halimus</i> L	
1.Origine et répartition géographique.....	9
2.Classification et nomenclature.....	9
3.Description botanique et morphologique.....	10
4.Caracteristiques écologiques.....	14
5.Techniques de propagation et plantation.....	15
6.Potentialités d' <i>Atriplex halimus</i> L.....	15
Chapitre III : Stress abiotiques	
1.Stress thermique.....	20
2.Stress salin.....	20
3.Stress hydrique.....	21
4.Consequences du déficit hydrique sur les plantes.....	23
5.L'eau, le sol et les plantes.....	28
6.Differents formes de réponses des plantes au stress hydrique.....	30
Partie II :Partie expérimentale	
Chapitre I : Matériel et Méthodes	
1. Origine du matériel végétal.....	34
2.Lieu d'expérimentation.....	35
3.Germination des graines.....	35
4.Preparation de la solution PEG6000.....	39
5.Dispositif Expérimental.....	40
6.Parametres étudiés.....	41
7.Analyses physiologiques.....	42
8.Analyses biochimiques.....	43
9-Analyses statistiques.....	45
Chapitre II : Résultats et Discussion	
1.Essai de la germination des graines de l' <i>A.halimus</i> L.....	46
2.Effets du stress hydrique sur les paramètres physiologiques chez l' <i>A.halimus</i> L.....	48
3.Effets du stress hydrique sur les paramètres biochimiques chez l' <i>A.halimus</i> L.....	58
Conclusion et perspectives	66
Références bibliographiques	68
Annexes	88

Introduction

Introduction

Les plantes spontanées ou cultivées exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes du potentiel hydrique, notamment la température et la salinité, engendrant différents types de stress abiotiques (**HOPKINS, 1999 ; BOUAOUINA et al., 2000**).

Les plantes sont souvent soumises à des graves déficits hydriques dus à une chute brutale de l'humidité ou à une augmentation de la température, et la fluctuation des précipitations durant toute la campagne agricole.

Beaucoup d'espèces peuvent subir un stress hydrique du fait de la diminution de la quantité d'eau dans le sol (**CASALS, 1996**).

Les conséquences ont un impact négatif sur le rendement de la culture et la qualité des produits. Le stress hydrique entraîne essentiellement une diminution de la croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant l'épuisement de la plante si le stress perdure (**MAY et MILTHORPE, 1962**).

Dans les écosystèmes arides, la sécheresse est un facteur abiotique affectant les processus physiologiques (**GUO et al., 2010**) et hormonaux (**ZHANG et al., 2015**) de plantes induisant la réduction de la croissance, du développement et du rendement des cultures (**LÍ et al., 2014**).

Certains végétaux ont un potentiel génétique pour la tolérance des stress environnementaux (**ZID et al., 1981**) et face à ces problèmes, l'introduction des arbres ou des arbustes tolérants à la salinité et à la sécheresse est l'une des techniques utilisées pour la valorisation de ces sols marginaux.

Les espèces du genre *Atriplex* sont caractérisées par le haut degré de tolérance à l'aridité et à la salinité par leur capacité de procurer des fourrages riches en protéines et carotènes (**MULAS, 2004**). Les *Atriplex* sont des arbustes les mieux adaptées à des régions arides et aux sols pauvres, d'autre part la couverture d'*Atriplex* accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation du drainage dans les horizons superficiels. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé.

En raison de son intérêt écologique et pastorale, une large gamme de plantations des espèces du genre *Atriplex* a été établie récemment, particulièrement *Atriplex halimus* L. qui est considéré

Introduction

comme une ressource génétique indispensable pour l'ensemble des pays d'Afrique du Nord face à aux risques éco-systémiques majeurs [KINET et al.,(1998); NEFZAOUI,(1997);DUTUIT,(1999)].

L'objectif de notre travail de recherche vise d'étudier les stratégies physiologiques et biochimiques d'adaptation des deux écotypes d'*Atriplex halimus* L. face au stress hydrique provoqué par le polyéthylène glycol (PEG-6000). Pour cela nous avons opté pour deux écotypes provenant du Djelfa et de Tamanrasset. Une comparaison entre ces deux écotypes a été réalisée.

Dans ce contexte notre étude s'est orientée sur certains aspects :

- ✓ Synthèse bibliographique où nous avons présenté l'espèce *Atriplex halimus* L. et ses principales caractéristiques
- ✓ Un chapitre sur le matériel et les méthodes utilisées pour confirmer les stratégies de défense de cette plante.
- ✓ Des résultats et une discussion en comparaison avec les travaux antérieurs.
- ✓ Une conclusion générale et quelques recommandations pour les travaux futurs.

CHAPITRE I : Genre *Atriplex*

1-Presentation Du Genre *Atriplex*

Les *Atriplex* appartiennent à la famille des Chénopodiacees, qui fait elle-même partie de la classe des dicotylédones. Ils se caractérisent par leur grande diversité (KINET et al., 1998). Les études anatomiques montrent que 40% des *atriplex* étudiées sont des plantes en C3 et 60% en C4 [(SMAOUI,(1972);OSMOND et al.,1980)]. Selon l’index plantarum de Kew le genre *Atriplex* renferme 417 espèces dans le monde (LE HOUEROU, 1992). D’après KAOCHKEI, (1996) le nombre total des espèces d’*atriplex* est estimé à 400 espèces. Certaines sont herbacées, d’autres arbustives ; elles peuvent être annuelles ou pérennes.

2-Repartition Dans Le Monde

Le genre *Atriplex* est le plus grand et le plus diversifié de la famille des chénopodiacees et compte environ 400 espèces réparties dans les régions tempérées, subtropicales et dans les différentes régions arides et semi-arides du monde (Tableau 1). Il est particulièrement répandu en Australie où on peut déterminer une grande diversité d’espèces et de sous-espèces. Le genre *Atriplex* inclut 48 espèces et sous espèces dans le bassin méditerranéen (MAALEM, 2002).

On trouve également des exemplaires de ce genre dans les régions polaires, bien qu’en nombre très réduit. Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques (MULAS, 2004).

Tableau 1 : Répartition des espèces d’*Atriplex* dans le Monde (LE HOUEROU, 1992)

Pays ou Région	Nombre d’espèces et/ou sous espèces	Pays ou Région	Nombre d’espèces et/ou sous espèces
États-Unis	110	Chili	30
Australie	78	Afrique du nord	22
Bassin méditerranéen	50	Texas	20
Europe	40	Afrique du sud	20
Ex-URSS	36	Iran	20
Proche-Orient	36	Syrie	18
Mexique	35	Palestine & Jordanie	17
Argentine	35	Algérie & Tunisie	17
Californie	32	Bolivie & Pérou	16

Les Atriplex sont des plantes halophytes dotés d’une série de caractères écologiques et physiologiques permettant la croissance et la reproduction dans un environnement salin (MAALEM,2002). Elles sont donc en mesure de vivre sur des sols au taux élevé de sels inorganiques. Souvent, il s’agit des composants dominants des marécages salés, et vu que les sols salins sont typiques des milieux arides, de nombreuses espèces présentent également des adaptations xérophytiques.

Le genre Atriplex appartient au groupe des plantes en mesure de fixer le CO₂ par biosynthèse C₄. De nombreuses recherches ont montré que ce type de plants est caractérisé par une grande productivité, une résistance au déficit hydrique, une capacité particulière d’utiliser l’énergie lumineuse et un métabolisme qui exige du sodium comme élément essentiel (MULAS, 2004).

2.1-Répartition en Afrique

En Afrique du nord le genre Atriplex comprend 15 espèces spontanées, deux espèces spontanées et deux espèces introduites. Ces espèces se répartissent en 9 espèces vivaces, une espèce biannuelle et 9 espèces annuelles (Tableau 2).

Tableau 2 : Les Atriplex en Afrique du nord

Espèces spontanées		Espèces spontanées		Espèces introduits
Annuelles	Vivaces	Annuelles	Biannuelles	Vivaces
<i>A.chenopodioides</i>	<i>A.colorei</i>	<i>A.inflata</i>	<i>A.semibaccata</i>	<i>A.nummularia</i>
<i>A.dimorphostegia</i>	<i>A.coriaeca</i>	-	-	<i>A.lentiformis</i>
<i>A.hastata</i>	<i>A.glauca</i>	-	-	-
<i>A.littoralis</i>	<i>A.halimus</i>	-	-	-
<i>A.patula</i>	<i>A.malvana</i>	-	-	-
<i>A.rosea</i>	<i>A.mollis</i>	-	-	-
<i>A.tataria</i>	<i>A.portulacoides</i>	-	-	-
<i>A.tornabeni</i>	-	-	-	-

(FAO, 1971)

2.2-Répartition en Algérie

Les espèces dites Atriplex sont spontanées dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides. Les plus grandes superficies correspondent aux zones dites «steppiques» (Batna, Biskra, Boussaâda, Djelfa, Saïda, Tamanrasset, Tébessa et Tiaret) (POUGET, 1980).

En Algérie 13 espèces natives ont été dénombré en 1962 dont 5 pérennes et 8 annuelles (Tableau3).

Le Haut-Commissariat algérien du développement de la steppe et dans le cadre du programme d'amélioration des parcours steppiques, a introduit à partir de 1985, les espèces d'Atriplex suivantes : *A. lentiformis* S.wats : originaire de la Californie, *A .canescens* (purch) : originaire des Etats Unis et *A. nummularia* Lindl.subsp nummularia : originaire d'Australie.

Tableau 3 : Répartition des différentes espèces en Algérie (QUEZEL et SANTA,1962)

Espèces	Nom	Localisation
Annuelles (Espèces différentes généralement par la forme des feuilles, du port et des valves fructifères)	<i>A.chenopodioides</i> Batt	Bouhanifia (Mascara) (très rare)
	<i>A.littoralis.</i>	Aux environs d'Alger (rare)
	<i>A.hastata.</i>	Assez commune dans le Tell et très rare ailleurs.
	<i>A.patula.</i>	Assez commune dans le Tell et très rare à Aflou.
	<i>A.tatarica.</i>	Annaba et Sétif (très rare)
	<i>A.roseau.</i>	Biskra et sur le littoral d'Alger et d'Oran (très rare)
	<i>A.dimorphostega kar et kir</i>	Sahara septentrional (assez commune), Sahara central (rare)
	<i>A.tornabeni</i> Tineo	Sahal d'Alger, Golfe d'Arzew (très rare)
Vivaces (Elles sont différentes généralement par la forme des feuilles, la taille de l'arbrisseau, le port des tiges et l'aspect du périanthe)	<i>A.portulacoides.</i>	Assez commune dans le Tell
	<i>A.halimus.</i>	Commune dans toute l'Algérie
	<i>A.mollis.</i>	Biskra et Oued-el-Rhir (très rare)
	<i>A.coriaca</i> Forsk	
	<i>A.glauca</i>	Commune en Algérie

3-Potentiel écologique et économique des *Atriplex*

3.1-Potentiel fourrager

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, utilisable pour les ovins, les caprins et les camélidés (CASTROVIEZO et al., 1990). Sous les précipitations annuelles de 200 à 400 mm, *Atriplex halimus* L. compte, avec *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*, dont parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de MS/an et par hectare de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (LE HOUEROU., 1992 ;BEN AHMED et al., 1996). Cependant la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'*Atriplex halimus* L. en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

3.2-Mise en valeur des sols dégradés

Les *Atriplex* sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et aux sols pauvres, d'autre part, la couverture d'*Atriplex* accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé.

Elles sont susceptibles de mettre en valeur de terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole irrégulière. Le genre *Atriplex* permet également de remettre en état de nombreux parcours à flore et sols dégradés. En Algérie, les essais réalisés dans les régions de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'*Atriplex* (locales et introduites) dans le cadre du «barrage vert» ont donné des résultats satisfaisants surtout pour les espèces autochtones (BENREBIHA., 1987).

3.3-Mise en valeur des sols salés

Les plantations de l'*Atriplex* peuvent permettre la récupération des zones salées surtout avec l'*Atriplex halimus* L. qui est particulièrement résistant au NaCl. Sa croissance est stimulée en présence de NaCl à 150 Mm (BEN AHMAD et al., 1996). Les *Atriplex* peuvent aussi «desaliniser » les sols. En effet, la teneur en NaCl atteint 20% de MS par *Atriplex nummularia* (SARSON., 1970).

Il est possible d'extraire d'un hectare 1100kg de NaCl en une année de culture (**FRANCLET et LE HOUEROU, 1971**). Les *Atriplex* sont donc des plantes qui peuvent être utilisées dans les régions menacées par la salinité.

D'après **LE HOUEROU et PONTANIER (1987)**, les espèces d'*Atriplex* qui ont suscité un intérêt particulier sont :

- ❖ *Atriplex glauca*
- ❖ *Atriplex malvana*
- ❖ *Atriplex repanda*
- ❖ *Atriplex atacamensis*
- ❖ *Atriplex mollis*
- ❖ *Atriplex semibaccata*
- ❖ *Atriplex halimus*
- ❖ *Atriplex canescens*
- ❖ *Atriplex nummularia*
- ❖ *Atriplex vesicaria*.

Selon ces auteurs, cinq (5) espèces seulement présentent un réel intérêt pratique dans un avenir immédiat :

- *Atriplex nummularia* : présente une productivité élevée et une bonne appétibilité.
- *Atriplex halimus* : présente une grande rusticité et une facilité d'implantation.
- *Atriplex canescens* : espèce ayant productivité élevée et son adaptation aux sols sableux.
- *Atriplex glauca* : en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle antiérosif ;
- *Atriplex mollis* : grande adaptation aux sols hydromorphes salés et de sa bonne appétibilité.

3.4-Potentiel économique

De nombreuses études ont montré que l'association de la culture des céréales aux arbustes fourragers appartenant au genre *Atriplex*, augmente la production des céréales à de 25% (**BRANDLE, 1987**). Notons également selon **MULAS et MULAS, (2004)** qu'en été et en automne, le bétail peut éventuellement brouter les chaumes d'orge et les arbustes d'Atriplex. Par ailleurs, la structure ligneuse des Atriplex constituent une source d'énergie intéressante (**ABBAD et al., 2004**).

CHAPITRE II : Présentation de l'espèce *Atriplex halimus* L.

1- Origine et repartition géographique.

L'origine d'*A. halimus* L. n'est pas bien connue, certains présumant qu'elle est originaire d'Afrique du Nord [(KINET et al., (1998); Le HOUEROU, (1980)], on la considère aussi comme plante native d'Iran (NAZARI, 1997).

D'autres estiment qu'espèce est originaire de l'Australie et s'étend aux parties arides et semi-arides du monde (OSMAN et GHASSALIE, 1997). On trouve également des spécimens de ce genre dans les régions polaires, bien qu'en nombre très réduit [(PAR-SMITH, (1982); ROSAS, (1989)].

L'*A. halimus*. est la plante indigène la plus représentée sur le parcours méditerranéen. Elle couvre pas moins de 80.000 ha en Syrie, Jordanie, Egypte, Arabie Saoudite, Libye et Tunisie (MARTINEZ et al., 2003). Elle se retrouve aussi en France, en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce, en Albanie, à Malte, à Chypre, en Algérie, au Maroc, et en Afrique du Sud à des altitudes comprises entre 0 et 1.000 m [(CASTROVIEJO et al., (1990); LE HOUEROU, (1992)].

En Algérie, certaines espèces sont menacées et risquent de disparaître, d'autres manifestent des mécanismes d'adaptation (CHAMAD, 1993 ; BALANOUNY, 1993), des essais ont été réalisés sur le cordon dunaire dans la région de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'*Atriplex* donnent des résultats satisfaisants dans la fixation des dunes (BENREBIHA, 1987).

2- Classification et nomenclature

Atriplex halimus est une plante halophyte, qui appartient au à l'intérieur du genre *Atriplex*, qui est le plus grand et le plus diversifié de la famille des Chenopodiaceae [(BAJJI et al., (1998); MULAS, et MULAS., (2004)].

A cette famille, appartient environ 100 genres qui peuvent être divisés suivant la forme de l'embryon : cyclobae, qui présente un embryon en forme de fer à cheval ou en demi-cercle comprenant l'endosperme en entier ou en partie. A cette tribu appartient le genre *Atriplex* (ROSAS, 1989).

Selon **CHADEFAUT et EMBERGER (1960)**, la classification de l'espèce *Atriplex halimus* L. dans le règne végétal est la suivante :

- **Règne** : Végétal
- **Embranchement** : Spermaphytes (Phanérogames)
- **S/Embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédones
- **S/Classe** : Apétales
- **Ordre** : Centrospermales
- **Famille** : Amaranthaceae (Chénopodiacées)
- **Genre** : *Atriplex*
- **Espèce** : *Atriplex halimus* L.

2.1- Noms Vernaculaires

- ❖ **En Anglais**: Salt bush. Mediterranean, Salt bush (**Ortiz-Dorda et al., 2005**).
- ❖ **En Français**: Pourpier de mer, Arroche maritime, Arroche sauvage, Arroche halime (**PICARD et al., 1982**).
- ❖ **En Arabe** :G'ttaf, (Legtaf) en Algérie (**LONGUO et al., 1989**).

3-Description botanique et morphologique

A. halimius L. a été souvent citée comme une espèce très polymorphe, probablement en relation avec sa grande amplitude écologique et à sa reproduction allogame dominante (**CHALBI et al., 1997; FERCHICHI et al., 1997; KINET et al., 1998; HADDIOUI et BAAZIZ, 2001**).

Ce polymorphisme se manifeste au niveau de la morphologie des structures végétales qu'au niveau des structures reproductives. Il se manifeste au niveau de la dimension et la forme des feuilles des arbres fructifères et des graines, ainsi qu'un polymorphisme dans la production de la biomasse (**BEN AHMED et al., 1996**). Ce polymorphisme semble être une caractéristique des Chénopodiacées (**OZENDA, 1983**).

Du point de vue morphologique, les Chénopodiacées sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, et des feuilles

alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration (MULAS et MULAS., 2004). Lorsqu'elle n'est pas soumise au pâturage (Figure 1), elle peut atteindre quatre (4) mètres et constituer un fourré difficilement pénétrable par les animaux (NÉGRE, 1961).

La plante adulte est très ramifiée, ayant un aspect blanc argenté, à tige dressé d'une couleur blanche-grisâtre, à racines s'orientant horizontalement, pivotantes en surface, pouvant atteindre 3 à 5 fois la longueur de la tige (mécanisme d'adaptation morphologique) (BENREBIHA, 1987).

L'espèce *A.halimus* L. est divisée en deux sous-espèces : *halimus* et *schweinfurthii*. Cette division est basée sur les différences morphologiques et selon leur niche écologique (LE HOUEROU, 1992).

- *Atriplex halimus* L. subsp. **halimus** se trouve en région littorale semi-aride à humide ; c'est un arbuste généralement plus feuillu, au port érigé, très ramifié, pouvant atteindre trois mètres de hauteur (BEN AHMED et al., 1996);
- *Atriplex halimus* L. subsp. **Schweinfurthii** est caractérisée par des rameaux florifères longs et nus, est plus strictement liée aux zones arides (LE HOUEROU, 1992).



Figure 1: Arbuste d'*Atriplex halimus* L. (AMENA, 2007).

❖ **Tiges**

L'*A.halimus* L. est une espèce très ramifiée, en touffes pouvant atteindre 2 m de hauteur et 1 m de diamètre, avec des rameaux dressés (AGANGA et al.,2003). Elles sont érigés et ligneuses avec des branches étalées, très rameuses d'une couleur blanche-grisâtre plus au moins anguleuses entièrement feuillées (QUEZEL et SANTA,1962; BONNIER et DOUIN,1996 ;OSMAN et GHASSALÍ,1997;NEGRE,1961).

❖ **Feuilles**

Les feuilles sont alternes brièvement pétiolées, grandes sur les jeunes pousses de printemps (POTTIER,1981;AGANGA et al.,2003), elles sont de couleur gris-vert argentée, caractéristique due au développement de vésicules à sels sur les cellules de leur épiderme, plus épaisses, à aspect cartilagineux, recouvertes d'une épais duvet et de cristaux de sels qui peuvent former un pseudo-tissu qui entoure le limbe foliaire de deux côtés (MULAS,M. et MULAS,G.,2004). MOZAFAR et GOODIN,1970) signalent l'accumulation des grandes quantités de sel dans leurs tissus et plus particulièrement dans les trichomes situés à la surface des feuilles.

❖ **Fleurs**

L'*Atriplex halimus* L. est une espèce chamephyte ou monophanérophyte fleurissant, dont la fructification a lieu à partir du mois d'avril jusqu'à novembre (BEN AHMED et al.,1996;NEGRE,1961).

La morphologie des inflorescences, et celle des fleurs d'*Atriplex halimus* L. ont jusqu'ici fait l'objet des descriptions incomplètes. Cette espèce a été considérée comme monoïque ou dioïque. Chez cette espèce, un seul individu peut porter à la fois des fleurs unisexuées mâles, ou femelles, et peuvent être aussi bisexuées. L'*A.halimus* L. se révèle donc polygame, plus particulièrement tri monoïque (TALAMALI et al.,2001).

❖ Graines

Les graines d'*Atriplex halimus* L. sont des akènes, avec un diamètre de 0.9 à 1.1 mm, lenticulaires, noires et disposées verticalement (sauf dans les fleurs hermaphrodites où elles sont horizontales) [(PIOTTE et al., (2003);CASTROVIEJO et al., (1990); QUEZEL et SANTA, (1962)]. Elles sont entourées par des bractées dures et persistantes qui entravent la germination, menant aux problèmes d'indéhiscence et d'imperméabilité à l'eau et aux gaz. De plus, ces bractées contiennent des substances qui inhibent la germination (PIOTTO et al., 2003). Selon UNGER et AJMEL KHAN (2001), la suppression de ces bractées augmente la germination de 35 à 98% (PIOTTO et al.,2003). De même KHADRE, (1994), souligne que la dormance apparente des graines est liée à la présence des deux bractées entourant l'ovaire qui accumulent des substances inhibitrices de la germination.

D'après PAPANASTASIS et al., (2002), le meilleur prétraitement pour augmenter la capacité germinative des graines est leur lavage à l'eau courante pendant 24h et une scarification chimique avec l'acide sulfurique ou mécanique (blessure de la coque).

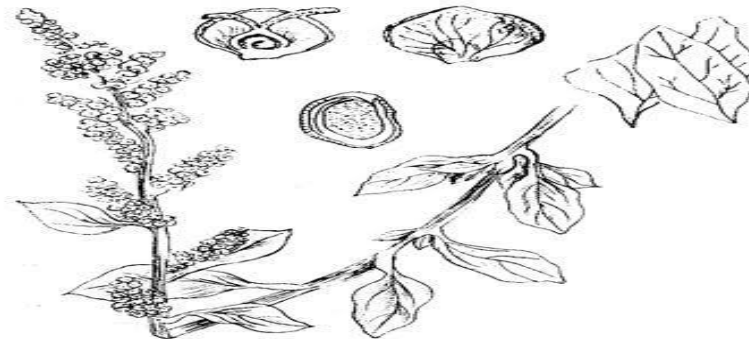


Figure 2-Rameau feuillu avec inflorescence et fruit (BOU ABDELLAH, 1992).

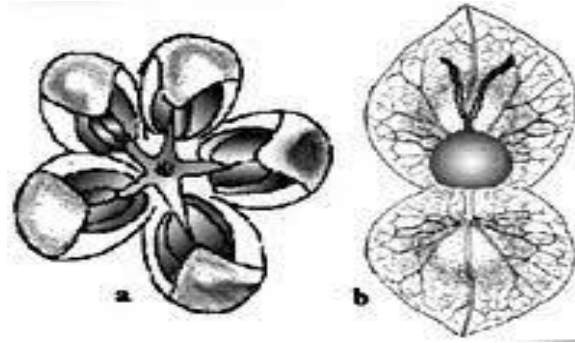


Figure 3 : Inflorescences (a) mâle ; (b) femelle (**BOU ABDELLAH,1992**)

❖ Racines

Le système racinaire pivotant présente un fort développement chez *A. halimus* L. il se caractérise par une grosse racine tout d'abord étalée oblique puis s'enfonçant verticalement jusqu'à une profondeur variable avec l'âge de la plante (**LE HOUEROU, 1992**). Elle peut atteindre 3 à 5 fois la longueur de la tige. Elle est formée de radicelles blanchâtres, d'une racine principale de 50 à 90 cm de profondeur, avec des rares racines secondaires de même longueur et par fois plus longues d'où elle sortent plusieurs racines tertiaires, fines et courtes (**BOCK,2009 ;GARCIA et al., 1996**). S'enraciner profondément leur permet d'atteindre des ressources d'eau indisponibles à l'espèce, fixant les couches supérieures du sol et peut être utilisée comme moyen de lutte contre la désertification (**BEN SALEM et al., 2002; BELKHAUDJA et BIDAI, 2004**). En effet, ces plantes possèdent un système racinaire très développé qui leur permet d'utiliser les réserves d'eau du sol et de former un réseau dense susceptible d'agréger le sol et de le rendre résistant à la l'érosion (**DUTUIT et al.,1991**)

4- Caractéristiques écologiques

Les environnements extrêmes, comme les zones arides ou semi-arides où les précipitations sont souvent faibles et irrégulières, sont les loges écologiques préférentielles de la plupart des espèces du genre *Atriplex* (**MARTINEZ et al., 2003**). L'*A. halimus* s'adapte à divers types de

sols, mais il préfère les sols limoneux, sableux, argileux, marneux, gypseux, calcaires, hydromorphes et salés (POUGET,1971;FORMENT,1972;KILLIAN,1953 ;VILAU,1963).

Selon BENREBIHA, (1987) l'*A.halimus* ne semble pas avoir d'exigences particulières et accepte tout type de sol. Dans les régions arides et semi-arides, la salinité des sols est une contrainte pour le développement des plantes (LAUCHLI et EPTEIN,1990 ;HIGAZY et al.,1995). D'après OZENDA (1991), l'*A.halimus* est une espèce qui est largement distribuée, «cosmopolites» ; qui peut être adaptée à un environnement doublement dur dans les sols arides halomorphes ; elle peut tolérer une pluviosité de (150-500 mm/an), elle peut survivre entre une et plusieurs années sans pluies sur une large variété des sols comme les sols pauvres et profonds (ANONYME, 2000).

Sa résistance à l'environnement dur peut être raisonnable pour son exploitation dans les terres avec une teneur élevée en sels sur laquelle peu d'espèces peuvent se développer (BEN AYED, 1975 ; FERCHICHI, 2005).

La présence de cet arbuste est aussi notée dans les zones minières contaminées par les métaux lourds (LUTTS et al., 2001). Grâce à sa tolérance à la toxicité du métal leur permettent d'occuper un choix écologique important et très intéressant (CIBILS et al., 1998).

5- Techniques de propagation et plantation

Les *Atriplex* peuvent se multiplier par diverses méthodes de propagation (PIOTTO et al., 2003).

La propagation d'*A.halimus* par voie sexuée donne une descendance très hétérogène. Pour pallier à cette difficulté différents techniques de multiplication végétative existent (bouturage, marcottage).

La micro-propagation in vitro est une voie qui permet d'obtenir de grandes quantités des clones homogènes et performantes dans un intervalle de temps réduit (LE HOUEROU, 1992).

6- Potentialités d'*Atriplex halimus*

Cette espèce est retenue pour ses divers intérêts notamment dans la désalinisation, la fixation des sols et sa tolérance à la salinité et à la sécheresse (LE HOUEROU, 1992 ; BENREBIHA, 1987; HAMDY et al.,1999).

Les plantations d'*A.halimus* constituent un facteur de protection de l'environnement puisqu'elles présentent une action anti érosive (NEFZAOUI et CHERMITI, 1991). L'espece est présent est présent dans les régions où le déséquilibre écologique s'accroît et où le phénomène de désertification prend des dimensions alarmantes. D'autre part, cette espèce est plus adaptée aux différentes contraintes de la zone steppique (gelée printanières, stress hydrique et stress salin) (DUTUIT, 1999).

6.1-Intérêt Agronomique

A.halimus est une espèce spontanée, pérenne des régions méditerranéennes arides et semi-arides. Elle présente une palatabilité et une appétibilité très satisfaisantes, elle est très appréciée par le dromadaire, comme les caprins, les ovins et les camélidés (KINET et al., 1998; BENCHAAABANE,1997 ; BEN AHMEDD et al., 1996). Elle constitue une source importante pour les cheptel en matière azotée, essentiellement en période de disette, parce qu'elle ne perd pas son feuillage, supporte les conditions climatiques et pédologiques des régions désertiques mais son aire de répartition se réduit de plus en plus, suite au surpâturage et au manque de stratégie de gestion de ces parcours (CHOUKR ALLAH, 1991 ;EL-SHATNAWI et MOHAWESH, 2000 ; KONIG et al .,1991 ; BENCHAAABANE, 1997).

Cependant la consommation en eau des animaux s'élève lorsque la proportion d'*Atriplex* dans la ration devient importante surtout si les *Atriplex* poussent dans des sols salés (KAYAOULI, 2001).

Les études des valeurs fourragères et de digestibilité ont permis de situer l'*Atriplex halimus* comme source protéique comparativement à d'autres types de fourrage, elle est riche en protéines brutes, et comprend une valeur énergétique estimée entre 0.6 à 0.8 UFL/kg de MS, un apport azotée de 20 à 25% de MAT avec une teneur en lysine avoisinant 7% de MAT et une teneur faible en cellulose brute (10 à 20% de MS) (DUTUIT,1999 ;CHOUKR ALLAH,1999 ; EL-SHATNAWI et MOHAWESH,2000 ;NEFZAOUI et CHERMITI ,1991) (Tableau 4).

Tableau 4: Composition chimique moyenne d'*Atriplex halimus L.*, (% de MS)

	MS	MO	CB	MAT	P	Ca	K	Na
(FLORET et PONTANIER, 1982 ; BEN M'HAMED ,1990)	-	-	-	-	0,21	1,77	2,59	7,35
(AGANGA et al., 2003)	-	-	-	-	-	6,29	3,56	1,95
(NEFZAOUI et CHERMITI, 1991)	30,56	74,60	11,89	18,77	0,44	1,66	2,47	3,33
(GARCIA et al, 2002)	-	-	-	-	0,28	1,21	2,32	11
(EL-SHATNAWI et TURUK, 2002)	52	-	-	-	0,32	0,55	-	4,4
(BOUHADI, 2002)	24,4	-	-	19,1	-	-	-	-
(YAAKOUB ,2006)	24,37	77,76	-	-	2,82	4,19	-	-

MS : Matière sèche ; Mo: Matière organique, CB: MAT: Matière Azoté Total P:Phosphore Ca: Calcium K:Potassium Na: Sodium

6.2-Intérêt écologique

En raison de son intérêt écologique et pastorale, une large gamme de plantation d'espèces du genre *Atriplex* a été établie récemment, particulièrement l'espèce *Atriplex halimus* qui est considérée comme une ressource génétique indispensable pour l'ensemble des pays d'Afrique du nord, face aux risques éco systémiques majeurs (KINET et al.,1998 ; NEFZAOUI, 1997; DUTUIT, 1999).

Dans les régions méditerranéennes arides et semi-arides, le problème de la désertification se manifeste principalement par le recul des zones boisées (soit par exploitation non contrôlée, soit par incendie ou autres ravages) et par la perte de végétation de zones steppiques à vocation pastorale (OSMOND et al., 1980). Dans ce contexte, l'*Atriplex halimus* joue un rôle très important dans le repeuplement des régions arides et semi-arides méditerranéennes (POURRAT et DUTUIT, 1994).

En outre, les formations à base de buissons fourragers forment une bonne couverture végétale à feuillage dense qui protège le sol des agressions climatiques sources d'érosion (pluie, vent, grêle,

etc.) (**POURRAT et DUTUIT, 1994**). La structure de son système racinaire et son port buissonnant, permet de lutter efficacement contre l'érosion éolienne (**GRANTZ et al.,1998 ; BOOTH et al.,1999;GLENN et al.,2001**). Elles sont aussi révélerées efficaces par la fixation rapide des dunes, car elles se développent mieux dans les sols salés, possèdent un système racinaire, très développée fixant les couches supérieures du sol, leur permet d'utiliser les réserves d'eau du sol de façon exhaustive et de former un réseau dense susceptible d'agréger le sol et de le rendre résistant à l'érosion (**FRANKLET et LE HOUEROU,1971;GUPTA et ABROL, 1990 ; CHOUKR ALLAH et al., 1997**).

Ces caractéristiques font de *l'A.halimus* une excellente espèce pour la réhabilitation des zones pastorales dégradées (**CHISCI et al., 1991;WILLS et al., 1990**). Donc, elle constitue un outil efficace et relativement peu coûteux dans la lutte contre l'érosion et la désertification, ainsi que dans la réhabilitation de terres dégradées (**ABBAD et al., 2004**).

6.3- Intérêt économique

L'A.halimus L. est un arbuste halophile fourragère des steppes arides, espèce importante dans l'économie d'élevage des pays d'Afrique du nord et du Moyen-Orient. Elle est utilisée comme plante fourragère car son feuillage persistant, riche en protéines est très apprécié par les animaux durant des longues périodes de sécheresse estivale alors que les espèces herbacées ont disparu (**POURRAT et DUTUIT, 1994**). Une bonne formation d'*Atriplex halimus* peut produire jusqu'à 5 T/ha de MS par an sur des sols dégradés ou salins inutilisables pour d'autres cultures, ce qui permet d'accroître la production animale des régions arides méditerranéennes et préserve l'équilibre alimentaire de ces régions (**DUTUIT et al., 1991**).

Ces arbustes fourragers présentent un grand nombre d'avantage dans la steppe sous le climat aride en:

- ✓ empêchant la réduction des surfaces cultivables
- ✓ ayant une aptitude à utiliser des pluies hors saison ;
- ✓ donnant un excellent rendement même en manque d'eau.

6.4- Intérêt médicinal

L'*Atriplex* est une plante nutritive, riche en protéines, en vitamines C, A et D et sels minéraux (FRANCLET et LE HOUEROU, 1971; BENREBIHA, 1987). D'après DUTUIT et al., (1991) l'*Atriplex halimus* est utilisée comme plante médicinale dans la pharmacopée traditionnelle. En effet, elle agit sur la maladie du sommeil (trypanomiase) (BELLA KHADER, 1997), et elle possède également un effet antidiabétique notamment sur le diabète type 2.

Au Sahara occidental, les cendres de l'*Atriplex halimus* L. reprise par l'eau, sont utilisées dans le traitement de l'acidité gastrique, les graines sont ingérées comme traitement anti-vomitif (BELLA KHADER, 1997). D'autres rapportent également l'utilisation vétérinaire d'*Atriplex halimus* L. par les Bédouins, comme d'autres halophytes, pour combattre les parasites internes (ALICATA et al., 2002).

Chapitre III-Stress abiotiques

HOPKINS, (2003) souligne que les plantes exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiels hydriques, température et salinité, en engendrant différents types de stress (Figure 4).

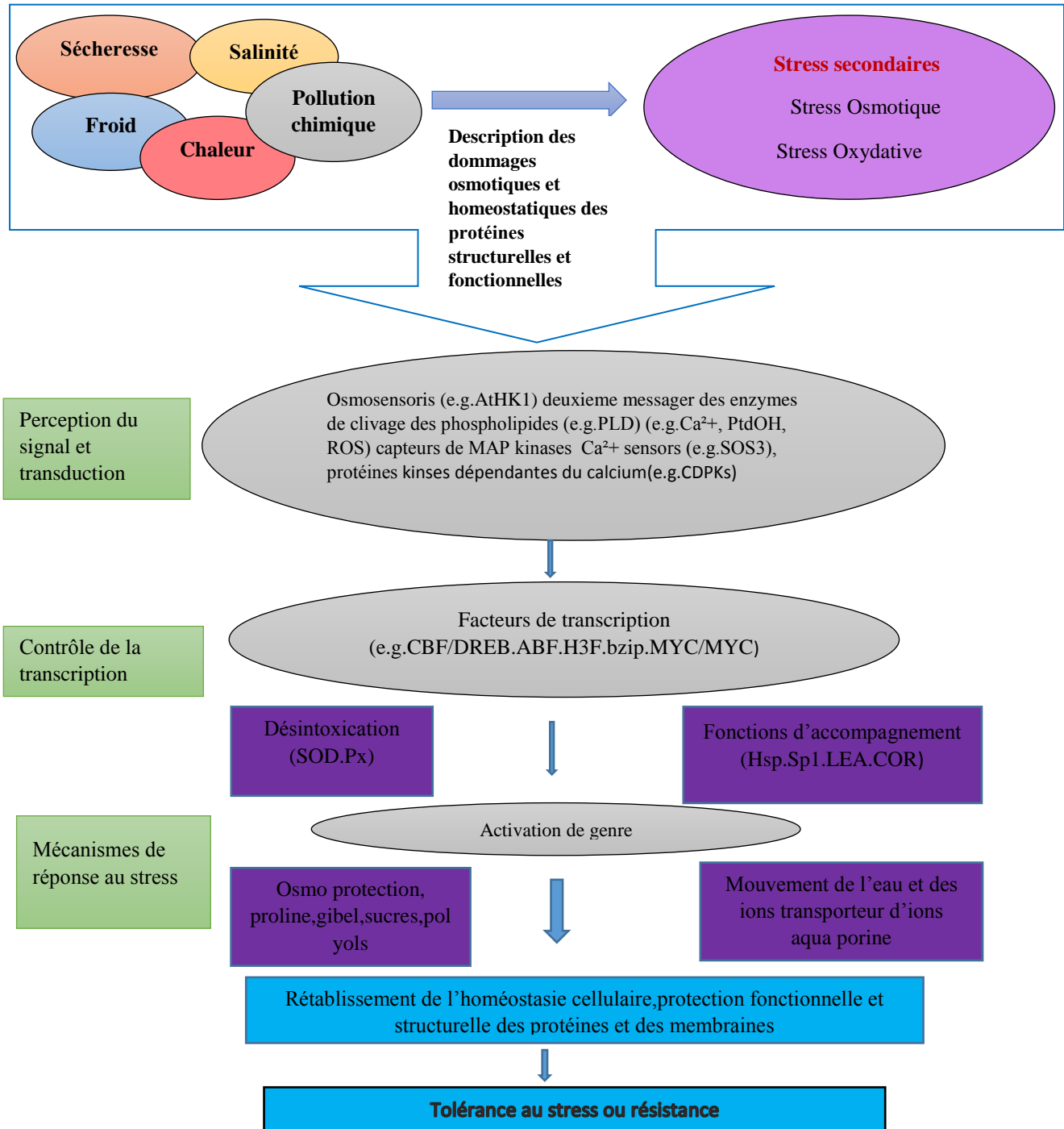


Figure 4 : Complexité des plantes à la réponse aux différents stress abiotiques (BASIA et ARIE., 2005).

Le stress abiotique est une contrainte environnementale qui provoque une tension interne dans l'organisme végétal exposé, les facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de développement et peuvent même provoquer la mort du végétal.

Les dommages sont étroitement liés à deux facteurs: l'intensité du stress et sa durée d'exposition. Dans ces conditions défavorables, les plantes développent des stratégies d'adaptation **(HOPKING, 2003 et GREGORY, 2005)**.

1- Stress thermique

Les plantules sont sensibles aux températures extrêmes et très variables, certains sont tués ou lésés par des baisses températures, alors que d'autres adaptées sont capables de survivre au gel. Le stress provoqué par hautes températures induit la synthèse des protéines particulières. Chaque plante exige des conditions optimales de températures où se déroule la croissance et le développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Dès que la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà elle s'annule jusqu'à la mort de tissus.

2- Stress salin

La salinité est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui provoque des effets nocifs sur les végétaux et le sol, elle résulte en une diminution des rendements et à terme rend le sol stérile **(MERMOUD, 2006)**.

Il existe deux (2) types de salinité : la salinité primaire et la salinité secondaire. La première résulte de la présence initiale des sels dans le sol ou dans la nappe phréatique. La seconde résulte des apports de l'eau d'irrigation chargée en sels **(FARISSI et al., 2014)**.

Des concentrations élevées en sels dans la rhizosphère provoquent un stress du fait du déficit en eau et de la toxicité des ions. En réalité, le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- **(HOPKINS, 2003)**.

3 -Stress hydrique

3.1- Généralités sur le stress hydrique et la sécheresse

Le stress hydrique est provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions à faibles pluviosités (**HOPKINS, 2003**).

Le stress hydrique occupe une place particulière du fait de sa fréquence et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métaboliques. De par son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation, ainsi que dans la multiplication et l'élongation cellulaire, l'eau a un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**MAZLIAK,1995 ;HELLER et al., 1998;HOPKINS,2003;ENIXON,2004**).

HSIAO (1973), a défini le déficit hydrique comme étant la situation dans laquelle le potentiel hydrique et la turgescence de la plante sont assez réduites au point de perturber le déroulement normal des différentes fonctions vitales de la plante.

Le déficit hydrique se produit dans le cas où la quantité d'eau transpirée excède celle absorbée à partir du sol (**LEVITT,1980 ;ACEVEDO,1991;BLUM,1996;ENIXON,2004**).

Le déficit hydrique est considéré comme une perte modérée d'eau interne menant à une fermeture des stomates et par conséquent une limitation des échanges gazeux (**TARDIEU et DREYER,1997**). La dessiccation est une perte d'eau plus accentuée qui peut potentiellement conduire à une interruption du métabolisme, une destruction cellulaire et éventuellement un arrêt de l'activité enzymatique entraînant la mort (**SMIRNOFF,1993;MARTRE,1999**).

Les contraintes hydriques connues sont de deux types :

- **Édaphiques** : qui correspondent à une disponibilité en eau réduite dans le sol. La cinétique d'établissement d'un déficit hydrique édaphique est lente et dépend de la vitesse de dessèchement du sol.
Elles sont qualifiées de contraintes statiques, car elles se manifestent même en absence de flux d'eau à travers la plante (**MARTRE et al.,1999; MATRE et al.,2000**).

- **Atmosphériques** : lorsque la demande évaporatoire augmente, les pertes d'eau par transpiration créent un flux d'eau dans la plante, qui du fait des résistances aux mouvements d'eau dans le sol et la plante, entraînent une altération de l'état hydrique de la plante.

Ce type de contraintes est qualifié de dynamique, car elles sont associées à la circulation de l'eau dans la plante. Une forte demande évaporatoire amplifie les conséquences d'un dessèchement du sol sur l'état hydrique de la plante et sur sa croissance (**MARTRE, 1999; MARTRE et al., 2000**).

3.1.1- Sécheresse

Météorologiquement la sécheresse est définie comme une période pluviale insuffisante à nulle qui conduit le plus souvent à un déficit hydrique (**HERMENEZ, 1996**).

En agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et permanent de la pluie qui affecte les productions agricoles estimées (**GADSDEN et al., 2003**).

Il existe différents types de sécheresse :

- ❖ **Edaphique**: liée aux conditions pédologiques (texture et structure) ;
- ❖ **Hydrogéologique** : qui se manifeste par des étages anormaux et un abaissement prononcé des nappes ;
- ❖ **Agronomique** : faisant appel au déficit de la réserve hydrique et l'état d'avancement de la végétation ;
- ❖ **Climatologique**: essentiellement liée au déficit pluviométrique.

Cette classification établie par **ZID,(1982)**, concerne la sécheresse climatologique qui semble déterminer les autres types de sécheresse. La réduction des précipitations se présente nécessairement sur le milieu environnemental.

La sécheresse est l'une des principaux facteurs limitant des rendements à travers le monde, le manque d'eau, souvent associé à d'autres stress abiotiques est responsable de pertes de rendements très importantes (**MONNEVEUX et THIS, 1997**).

A cette notion de la sécheresse s'ajoute aussi le phénomène de stress hydrique.

4- Conséquences du déficit hydrique sur les plantes

Le manque d'eau pour la plante peut avoir des incidences plus ou moins néfastes ; les plantes sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentielle hydrique, température et salinité, en engendrant différents types de stress. Il peut s'agir d'un simple flétrissement limitant la photosynthèse et se traduisant par un arrêt de croissance ou un manque d'accumulation de réserves. Bien qu'utilisée pour la mise à fleurs de certaines plantes, un manque d'eau peut aussi provoquer l'avortement des organes sexuels, la chute des fleurs, des fruits et même des feuilles en commençant par les plus âgées (**TURNER,1979 ;TURNER et al.,1986 ;UPADHAYAYA et FURNES,1994 ;VENORA et CALCAGNO,1991**). Les dégâts peuvent enfin entraîner la destruction de la plante.

La résistance à la sécheresse dépend de l'aptitude de la plante à développer un système racinaire importante et à limiter ses pertes d'eau cuticulaires et stomatiques (**HOPKINS, 2003;ZHANG et CHEN, 2004;ADDA,2006**).

Le déficit hydrique a un grand impact sur la croissance et la productivité des plantes en réduisant la turgescence des cellules, l'expansion cellulaire, la conductance stomatique et la photosynthèse et provoque l'augmentation de la synthèse d'ABA et des concentrations des solutés dans les tissus (**LAUER et BOYER,1992;ENIXON,2004**).

L'acide abscissique (ABA) qualifié «d'hormone de stress», est synthétisé rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress ,dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles (**MARUYAMA et BOYER,1994 ; LEFEBVRE,2005**).

4.1- Action sur le métabolisme glucidique

Lors d'un déficit hydrique, l'un de ses effets majeurs, est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbone avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importantes vis leur relation directe avec plusieurs processus physiologiques tels que : la photosynthèse, la translocation et la respiration (**WANG et STUTTLE, 1992 ; KINIRY, 1993, AL HAKIMI et al., 1995; DUBOIS, 2001**).

4.2 -Actions sur le métabolisme protidique

Le contenu en protéines dans les feuilles diminue suite au manque d'eau. Les plantes C3 répondent à l'insuffisance de l'eau par une diminution plus prononcée de leurs protéines au niveau des feuilles que les plantes C4.

La diminution du pool protéique est causé par l'inhibition de la synthèse et l'augmentation du catabolisme suite à l'activité hydrolytique accrue (**THOMPSON, 1980 ; KUSAKA et al., 2005**). L'enzyme principale, ribose bis phosphate carboxylase-oxygénase est la principale et représente dans les feuilles plus 50% des protéines ; d'ailleurs, la déshydratation cause une diminution dramatique (environ deux fois) de la protéine la plus abondante sur terre (Rubis Co) (**LORIMER, 1981 ; CHERNYD'EV, 2005**).

4.3- Actions sur le métabolisme lipidique

En ce qui concerne les lipides foliaires notamment les lipides des membranes chloroplastiques, de nombreux travaux ont montré que la teneur diminue et que leur composition est modifiée (**MILLAR et al., 1996 ;PRIAULT et al.,2007**).

La dégradation des lipides membranaires, tout comme celle des protéines, perturbe fortement le fonctionnement cellulaire et provoque une réduction de la perméabilité sélective ,ce qui influence les échanges moléculaires intra et intercellulaires et le transport d'électrons (**TAIZ et ZEIGER, 2002; PRIAULT, 2006**).

4.4 -Actions sur l'intégrité membranaire

De nombreuses études ont montré le rôle des membranes cellulaires dans la résistance des végétaux à la sécheresse.

Dans le cas de certaines espèces sensibles à la déshydratation, l'organisation générale de la cellule peut être affectée, dans la mesure où la sécheresse conduit à une perte de la compartimentation et à une destruction de certains organites cellulaires. Les crêtes mitochondriales se dégradent et les chloroplastes perdent leur organisation moléculaire (**DUBOS, 2001; PRIAULT, 2006**).

4.5 -Action sur les feuilles

Chez la majorité des espèces végétales, le déficit hydrique diminue la taille des feuilles ; d'autres changements incluent l'épaississement des parois cellulaires, la cutinisation de la surface foliaire et un mauvais développement du système conducteur. Les feuilles des plantes steppiques deviennent plus épaisses, l'épaississement se manifeste comme une augmentation du rapport entre la feuille à sa surface, ce paramètre est la densité spécifique foliaire (LSD) (CHERNYAD'EV,2005).

En réduisant la taille des feuilles et leur surface verte, le stress hydrique diminue la durée de vie de la feuille et par voie de conséquence, la capacité photosynthétique (TURNER et al., 1987 ;MARTRE,1999,ENIXON,2004).

4.6 -Action sur la transpiration

Les modifications qui affectent la feuille ont des répercussions directes sur la transpiration, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau. Cette fermeture va entraîner des modifications physiologiques, morphologiques et phénologiques. L'entrée du CO₂ est également difficile lors de cette fermeture, entraînant une perturbation de l'activité photosynthétique.

La fermeture emprisonne une bonne part de l'énergie destinée à être dissipée par transpiration, ce qui a pour conséquence l'augmentation de la température foliaire (KOTCHI, 2004).

Plusieurs rapports suggèrent que les stomates des feuilles puissent se fermer d'une façon non uniforme à travers de la surface de feuille en réponse à l'ABA (WARD et BUNCE, 1987; TERASHIMA et al.,1988;VASSEY et SHARKEY,1989).

4.7- Action sur la photosynthèse

Il existe une relation linéaire entre la teneur en eau de la feuille et la réponse photosynthétique. La réduction de l'activité photosynthétique peut être causée par des facteurs stomatiques (fermetures des stomates), des facteurs non stomatiques (diffusion du CO₂ vers les sites de réduction, inactivation des enzymes de l'incorporation du CO₂) et des facteurs liés à la redistribution des néo-assimilats (MATTEHEWS et BOYER, 1984 ; SEEMAN et al.,1987; VASSEY et al.,1991).

Les effets directs de faibles potentiels hydriques sur le chloroplaste provoquent une diminution de la demande en CO₂ dont la concentration demeure relativement élevée à l'intérieur de la feuille. Ces effets sont le reflet de lésions de membranes thylacoïdales et de la protéine ATP synthétisée (**BENLARIBI, 1990 ;KROMER,1995**).

L'inhibition de la photosynthèse est centrale et a souvent été conçue pour être provoquée par une réduction de la conductivité stomatique, peut être en raison de l'élévation des quantités d'ABA qui limite la disponibilité du CO₂ à l'intérieur de la feuille (**VASSEY et SHARKEY, 1989 ; ALVES et SETTER, 2004**).

Le déficit hydrique provoque une diminution de la teneur en pigments photosynthétiques (chlorophylles et caroténoïdes), des changements du rapport chlorophylle (a/b), des altérations des feuilles et des structures des chloroplastes, inhibe les réactions claires et sombres de la photosynthèse, et empêche la biosynthèse des protéines cellulaires. En particulier, cette suppression affecte l'enzyme principale de la photosynthèse, Rubisco qui diminue l'intensité de l'assimilation photosynthétique du CO₂ et accélère le vieillissement des feuilles (**CHERNYAD'EV, 2005**).

4.8 -Action sur la température interne

Le stress hydrique a aussi un effet direct sur la température de la végétation. Cette température foliaire dépend de son intensité et son apparition au cours de cycle de développement de la plante. Le stress hydrique peut entraîner ou non une perte de qualité et de rendement dans la production agricole par la modification de la mise en place des capteurs photosynthétiques, la répartition des assimilations entre les différents organes (tiges, feuilles et graines) la quantité de graines récoltées et aussi l'accumulation des composés majeurs (lipides, protéines, glucides) (**KOTCHI, 2004**).

4.9 -Actions sur la croissance et le développement

La croissance de la plante est l'augmentation irréversible de la taille, résultant d'une prolifération, de la croissance et de la différenciation cellulaire. Elle implique les facteurs génétiques, physiologiques, écologiques et morphologiques ainsi que leur interaction. Le déficit hydrique réduit la croissance à travers l'inhibition des différents processus physiologiques et

biochimiques dont, la photosynthèse, la respiration, la translocation des substances, la nutrition minérale, la synthèse et migration des phytohormones (**KRAMER, 1980; CHAVES, 1991**).

Lors de l'établissement d'un déficit édaphique, une relation étroite entre le potentiel hydrique des feuilles matures du maïs et la vitesse d'allongement foliaire se manifeste, ces deux variables, diminuent avec le dessèchement.

De plus, la vitesse d'allongement foliaire décroît avec le potentiel hydrique du sol, même dans des conditions particulières où l'état hydrique des parties aériennes est maintenu à niveau similaire à celui des plantes bien irrigués ce qui suggère l'existence d'un signal non hydraulique émis par les racines soumises au déficit hydrique (**MARTRE, 1999; HOPKINS, 2003**).

SAAB et al., (1990) ont montré que ce signal pourrait être l'acide abscissique (ABA). Ces travaux suggèrent donc que l'état hydrique des feuilles puisse ne pas être directement impliqué dans la détermination de la vitesse d'allongement foliaire du maïs lors d'un déficit hydrique édaphique ne dépend que de l'état hydrique du sol et est directement liée à la concentration en ABA dans la sève xylémique (**BEN HAJ SALAH et TARDIEU, 1997**). Cependant, la journée, la vitesse d'allongement foliaire diminue encore plus, cette réduction supplémentaire de la vitesse d'allongement est directement liée à la demande évaporatoire ou à l'état hydrique des feuilles matures (**BEN HAJ SALAH et TARDIEU, 1997**).

Durant les dernières décades, l'action de l'ABA sur la conductivité stomatique et la croissance foliaire a été très largement négligée (**MARTRE, 1999**). Et comme le souligne **BEN HAJ SALAH et TARDIEU, (1997)** dans la plupart des études où l'effet de la demande évaporatoire sur la vitesse de croissance foliaire est analysé, il est difficile de distinguer les effets de la température, de l'éclairement et de l'humidité de l'air sur la vitesse de croissance foliaire. De plus, dans ces études à court terme et en conditions contrôlées, la transpiration et l'état hydrique des parties matures et en croissance ne sont généralement pas mesurés. Il est donc difficile de relier la vitesse de croissance instantanée à l'état hydrique instantané de la plante (**MARTRE, 1999**).

Mais la question reste toujours posée, de savoir si ces nombreuses réactions au déficit hydrique ont un rôle effectif dans l'acquisition de la tolérance, ou bien s'ils ne font que marquer un état de stress. Pour pouvoir répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier les différentes réponses

des plantes à la sécheresse et les mécanismes d'adaptation développés par la plante (**BEZZALA, 2005**).

5-L'eau, le sol et les plantes

5.1- Importance de l'eau pour la croissance et le développement des végétaux

L'importance écologique de l'eau résulte de son importance physiologique (**MARTRE, 1999**). L'eau est le constituant pondéralement le plus importante des végétaux (50% à 90% de leur masse de matière fraîche). Elle est le milieu dans lequel a lieu la quasi-totalité des réactions biochimiques, de substrat et de catalyseur. Par la pression qu'elle exerce sur les parois, l'eau permet la turgescence cellulaire qui est indispensable au port érigé des plantes herbacées et à l'expansion cellulaire dans les tissus en croissance. La turgescence est également à la base des mouvements d'organes (feuilles, étamines) et des cellules (stomates). A l'échelle de l'organisme, l'eau permet de véhiculer les substances nutritives, les déchets du catabolisme et les phytohormones (**GUIGNARD, 1979 ; KIRKHAM, 2005**).

La perte d'eau par transpiration permet aux plantes de faiblir une partie importante de l'énergie qu'elles reçoivent du soleil et de supporter ainsi son rayonnement de façon continue sans pour autant subir un échauffement excessif, ses propriétés thermiques aident les plantes de ne pas se refroidir ou se réchauffer rapidement (**MAZLIAK, 1995 ; HELLER et al., 1998; MARTRE, 1999; HOPKINS, 2003**).

Une diminution de la teneur en eau de la plante se traduit immédiatement par une réduction de la croissance en dimension, avant même que la photosynthèse ne soit affectée (**BOYER, 1970; ACEVEDO et al., 1971**).

5.2- L'eau dans le sol

Le sol est la couche superficielle soumise aux conditions météorologiques, c'est le support et le réservoir de la plante dont elle puise de l'eau et les éléments indispensables à son alimentation (**GAUTHIER, 1991**). Pour caractériser les qualités hydriques d'un sol, le pourcentage d'eau présent n'est pas suffisant car elle ne prend pas en compte la réalité physique de l'eau dans le sol, il faut donc aussi prendre en compte, les forces osmotiques ; les forces matricielles ; et enfin,

l'eau de constitution présent dans certains complexes chimiques, et inaccessibles aux plantes (DANIELLE et MAZLIAK,1995 ;HELLER et *al.*,1998 ;HALLAIRE,1999).

5.3-Potentiel hydrique des plantes

Le potentiel hydrique d'une plante doit en tout point être égal à celui du sol, en absence de croissance et de transpiration (définition du potentiel de base). Mais **BOYER,(1968), MICHELENA et BOYER,(1982) et WESTGATE et BOYER,(1984)** ont montré que cette différence de potentiel hydrique existe dans toutes les zones de croissance des plantes.

Ce déséquilibre hydrique est dû, d'une part au relâchement des parois qui empêchent la pression de turgescence de s'équilibrer avec la pression osmotique, d'autre part à la faible conductivité hydraulique des tissus en croissance (**BOYER,1968;MOLZ et BOYER,1978**).

La diminution de la pression de turgescence, causée par le relâchement de parois, crée une différence de potentiel hydrique. L'eau provenant du xylème doit traverser les cellules internes pour atteindre les cellules de l'épiderme, le gradient du potentiel hydrique est donc plus importante dans les cellules proches du xylème où le flux d'eau est plus importante (**MOLZ et BOYER,1978 ;TAIZ et ZEIGER, 2002;KIRKHAM,2005**).

5.4- Importance et nécessité de la transpiration

Les plantes sont à l'interface entre deux milieux, le sol et l'atmosphère avec lesquels elles maintiennent des échanges de matière et d'énergie (**MARTRE,1999**).

La transpiration est définie comme étant la perte d'eau à l'état de vapeur par les feuilles, correspond d'un point de vue physique à une évaporation. La transpiration exige donc un apport d'énergie fourni essentiellement par le rayonnement incident, elle dépend, en outre de la température et de l'hygrométrie de l'air, de la forme et de la disposition des feuilles, des résistances à la diffusion de gaz opposés par les stomates et par la couche limite d'air qui entoure les feuilles (**PRIAULT,2006**).

La transpiration est le processus majeur dans la détermination de l'état hydrique de la plante. L'évaporation de l'eau crée un gradient de potentiel chimique de l'eau qui est le moteur des mouvements d'eau dans la plante. La transpiration permet également aux feuilles de dissiper

sous forme de chaleur latente, une partie de l'énergie qu'elles reçoivent et limite ainsi leur échauffement (**VASSEY et SHARKEY,1989; KOTCHI,2004**).

La transpiration est souvent considéré comme un «mal inévitable» un mal parce qu'elle peut entraîner la déshydratation de la plante, inévitable du fait de la structure des feuilles et de la nécessité vitale pour la plante des échanges gazeux. C'est une conséquence malheureuse de la photosynthèse du fait qu'il existe une forte dualité entre la transpiration et la photosynthèse puisque le CO₂ et l'eau empruntent le même trajet (**HOPKINS,2003**).

6-Différentes formes de réponses des plantes au stress hydrique

Afin de lutter contre le risque de dessèchement, les plantes ont recours à des comportements qui leur permettent de survivre à des situations de déficit hydrique par des mécanismes d'adaptations. Ces mécanismes leur permettent de préserver l'intégrité des leurs fonctions physiologiques et de leur rassurer un état productif et de survie (**ROBELIN et DERAISSAC, 1984**).

6.1- Les mécanismes d'adaptation phénologiques, physiologiques et morphologiques

6.1.1- L'évitement ou le contournement

L'évitement ou «tolérance par maintien d'un potentiel hydrique élevé» : cette stratégie utilisée par la plante consiste à maintenir un état hydrique interne satisfaisant en présence d'une contrainte hydrique externe. Pour conserver un potentiel hydrique élevé, la plante contrôle les flux d'eau entrant au niveau des racines et sortant au niveau de la feuille. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration grâce à une fermeture rapide des stomates et par une optimisation de l'absorption de l'eau par les racines, notamment grâce à un système racinaire profond (**TURNER,1986**).

6.1.2- L'esquive

La plante agit sur la durée de son cycle végétatif pour échapper à la contrainte hydrique en le réalisant en dehors de la période de sécheresse (**DERAISSAC et al.,1992**). La stratégie d'esquive la plus efficace consiste à éviter les cultures d'été.

La quantité d'eau nécessaire pour garder les stomates ouverts est donc plus grande en été. Une autre stratégie efficace consiste à implanter des espèces ou génotypes à cycle cultural court, qui

peuvent se développer avant les périodes les plus stressantes. Ce raccourcissement du cycle se traduit aussi par une réduction de la photosynthèse cumulée et donc du rendement potentiel.

Ce mécanisme représente l'ensemble des paramètres phenologiques d'adaptation qui caractérise la précocité chez les céréales à pailles cultivés en zones méditerranéennes (Blé, Orge, Avoine) la breveté du cycle des cultures des zones tropicales sèches (Sorgho, Arachides) sont des mécanismes qu'ont été largement exploitée par les agriculteurs et sélectionneurs (**BELHASSEN et al.,1995**).

6.1.3- La tolérance à la dessiccation

La tolérance a la dessiccation est liée à la capacité plus au moins du génotype à maintenir intactes ses structures et fonctions (**GATES,1995**). C'est l'aptitude qu'à la membrane cytoplasmique à retenir les électrolytes donc à conserver son intégrité (**BADJI et FEYEN, 1994**). De plus une baisse du contenu cellulaire en eau provoque une déshydratation qui sera irréversible au-delà d'un niveau de dessiccation (**GATES,1995**). Alors la plante durant sa résistance, maintien aussi sa translocation. Selon **GATES,(1995)**, l'ajustement du potentiel osmotique résulte de l'accumulation de molécules solubles.

Cette accumulation permet le maintien de la turgescence cellulaire et facilite les processus physiologiques et biochimiques de la plante (**GULIAS et al.,1992**), permettant ainsi de maintenir l'expansion foliaire, indispensable à une bonne assimilation de CO₂ (**TURNER et JONES,2000**).

Les osmolytes dont l'accumulation est responsable de l'ajustement sont des ions minéraux (Na⁺,K,Cl⁻), des sucres solubles (saccharose, glucose, fructose), des acides organiques (malate, citrate, lactate) et des composés d'azote quaternaire comme la glycine betaine ou la proline (**TURNER et JONES,2000**). **MONNEVEAUX et NEMMAR,(1986)** ont pu établir un classement des variétés de blé dur selon leur teneur en proline et leur résistance à la sécheresse, les accumulations les plus importantes sont connues chez les variétés les plus résistantes.

Selon **BLUM et EBERCON (1976)**, il existe une relation entre la capacité d'accumulation de la proline et l'aptitude de récupération de la plante à l'issue du déficit hydrique et suggèrent que l'acide aminé sert de source énergie lors du retour aux conditions normales. La proline ne

semblerait pas jouer un rôle direct dans l'ajustement osmotique, elle serait plutôt un symptôme de souffrance (**KORICHI,1990**).

Chez la plupart des plantes herbacées, la combinaison des deux modes d'adaptation à la sécheresse (évitement et tolérance) détermine le potentiel de survie en conditions de sécheresse (**ULRICH et al.,2002**).

6.2-Mécanismes Biochimiques

6.2.1-Ajustement Osmotique

L'ajustement est une réponse active, qui ne correspond pas à la simple concentration des molécules résultant de la perte en eau. Dans la vacuole, l'ajustement est essentiellement effectué par accumulation d'ions potassium. Ceci implique des circulations d'ions à travers les membranes de la cellule, il s'agit d'une adaptation qui se repose sur la biosynthèse de différentes substances organiques régulées par des canaux et des transporteurs de potassium et de sodium (**ABELES,2003**). De fortes concentrations en ions seraient toxiques pour le cytoplasme et les organites cellulaires. L'ajustement est effectué par l'accumulation de solutés compatibles avec la vie de la cellule, ou osmoprotectant: proline, glycine betaine, polyols (mannitol, sorbitol, D-ononitol), tréhalose, glucose, fructose, saccharose, (**GARG et al.,2002**).

6.2.2- Synthèse d'osmoprotecteurs

➤ Proline

La proline représente l'une des manifestations les plus remarquables du stress hydrique et osmotiques. Son rôle d'osmoprotecteur a été rapporté par de nombreux auteurs (**STEWART et LEE, 1974 ; KAUSS,1977**). Ces autres proposent de l'utiliser comme critère de tolérance de l'orge à la sécheresse. Elle possède aussi un rôle majeur dans la structure de protéines.

Plusieurs facteurs induisent l'accumulation de la proline entre autres l'éclairement (**JOYCE et BOUSQUET,1984**), le froid (**PAQUIN,1992**), les hautes températures et le stress hydrique. (**SANTORO et al.,1992**)

Cette accumulation soumise à des contraintes physiques a fait l'objet de nombreuses études et a même été préconisée par plusieurs auteurs comme test précoce de sélection par la tolérance au déficit hydrique (**MC MICHEL et JAN,1977**).

➤ Bétaines

Les Bétaines sont des composés ammoniums à petites molécules non toxiques jouant un rôle majeur dans l'ajustement osmotique du cytoplasme des plantes en réponse au stress hydrique (**HANSON,1995**). Ce sont des composés ayant des propriétés d'osmorégulations très marquées. Leur niveau d'accumulation dans les feuilles des plantes stressées est deux à dix fois supérieur à celui des non stressées (**HANSON et al., 1985;ROBINSON et al., 1986**).

Parmi les composés ammonium quaternaires qui s'accumulent chez les plantes supérieures il existe : la glycine bétaine et la choline-o-sulfate. La plupart sont méthyles, la glycine bétaine est une amine quaternaire qui est présente chez les plantes supérieures, les micro-organismes et les animaux (**RHODES, 1993**). La perturbation de la structure des protéines est causée par la mise en contact avec des solutés non compatibles aux forces thermodynamiques de contact minimales recherchées par les protéines lors du repliement tertiaire et l'assemblage quaternaire de ces protéines et par ajustement de l'équilibre osmotique du cytoplasme afin d'assurer le maintien de la quantité d'eau à l'intérieur de la cellule.

➤ Les Sucres et leurs dérivés les polyols

BENSARI et al.,(1990) précisent que lors d'un déficit hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées et pourraient être un facteur de tolérance au manque d'eau. Lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. Beaucoup d'autres auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres solubles dont le saccharose, glucose, fructose sur les membranes, en particulier mitochondriales (**FERNANDES et al., 2004**). Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie.

Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés, ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse (**FERNANDES et al., 2004**).

CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODES

1- Origine du materiel vegetal

Le matériel végétal ayant fait l’objet de notre étude concerne les graines de deux écotypes d’*Atriplex halimus*. Le premier lot est récolté en 2017 et été généreusement fourni par le Haut-Commissariat de Développement de la Steppe, (H.C.D.S) de la Wilaya de Djelfa. Le deuxième lot de graines a été récolté en 2018 sur des arbustes présents à l’état spontané dans la région de Tamanrasset (Figure 5).Les données écologiques et climatiques des deux régions sont représentées dans le (Tableau 5).



Figure 5 : Carte géographique indiquant les sites de provenance du matériel végétal (Original 2019).

Tableau 5 : Données climatiques des régions de Djelfa et Tamanrasset

Stations	Etage bioclimatique	Localisation	Durée de sécheresse (mois)	T° Max	Altitude (m)	Coordonnées géographiques	P (mm)
Djelfa	Semi aride	300 km au sud d’Alger	06	31	830	34°36’N/3°03’E	350
Tamanrasset	Aride	1900 km au sud d’Alger	09	35	400	22°47’N/5°31’E	43

T° Max : Température maximale du mois le plus chaud ; P : Moyenne des précipitations annuelles.

2- Lieu d'expérimentation

L'étude a été réalisée au niveau du laboratoire de cultures Maraichères du département de biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Blida -1.

L'expérimentation est menée dans une serre de 382,5 m² de surface en polycarbonate, sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition nord-sud. L'éclaircissement est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre et elle est mesurée par un thermomètre placé au milieu de la serre. Un système de chauffage thermostatique permet de réguler la température durant les journées les plus froides. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part a d'autre de la serre sur une longueur de 17m (Figure 6).



Figure 6 : Serre expérimentale

(Laboratoire de cultures Maraichères)

3-Germination des graines

Afin d'éviter l'effet inhibiteur des téguments ainsi que pour accélérer le processus de germination, les graines d'*Atriplex halimus* ont été décortiquées manuellement (Figure 7).

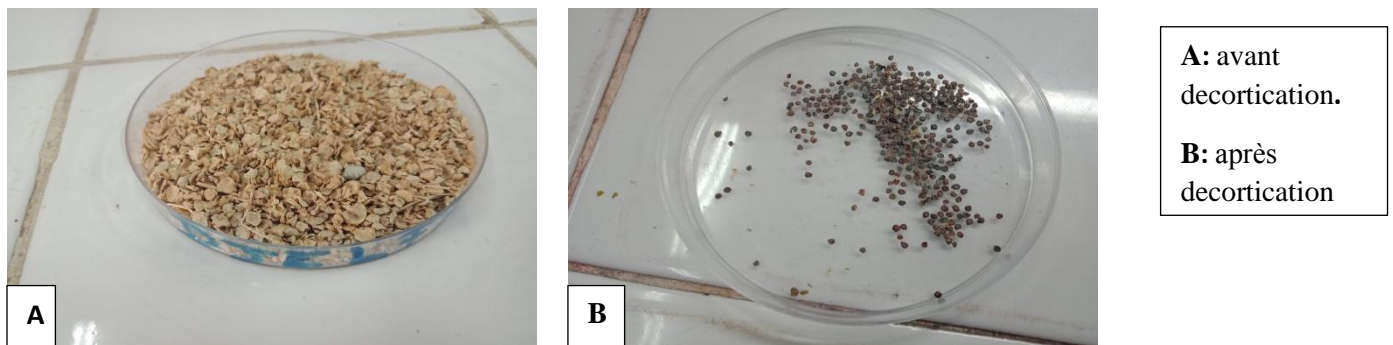


Figure 7 : Aspect des graines d'*Atriplex halimus* L. l'écotype de Djelfa

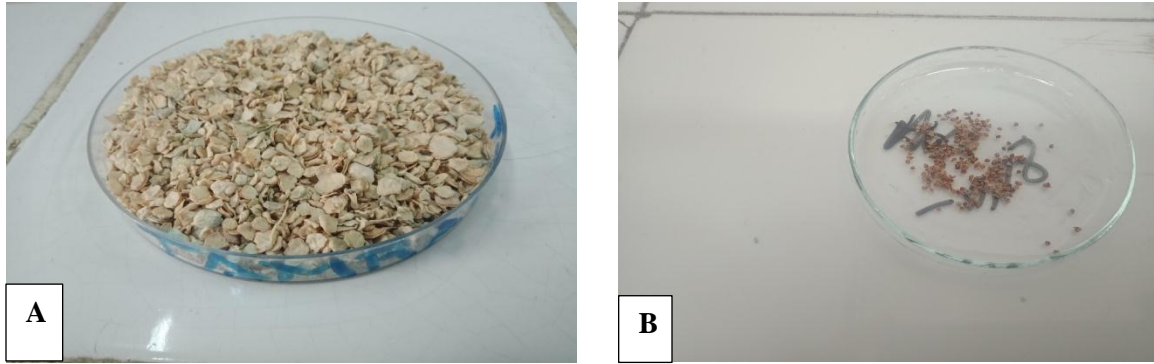


Figure 8:Aspect des graines d'*Atriplex halimus* L. l'écotype de Tamanrasset

Les graines diffèrent d'un écotype à un autre par la couleur des graines, après décortication (elles sont de couleur noires de Djelfa et jaunes pour l'écotype de Tamanrasset).

Elles sont ensuite stérilisées successivement dans l'alcool à 70° pendant une durée de 10 min et mises dans l'hypochlorite de calcium (CaClO) à 8% pendant 20min. Une fois le processus de stérilisation terminé, les graines sont rincées 5 fois à l'eau distillée.

Les graines d'*Atriplex halimus* sont mises à germer dans des boîtes Pétri, sur du papier filtre stérile, imbibée d'eau distillée, et placées à l'étuve à une température de 25 °C (± 1) qui constitue l'optimum de la germination. Chaque essai porte sur 100 graines, soit 4 répétitions de 25 graines par boîte Pétri (Figure 9).



Figure 9: Aspect des graines avant et après germination
(Écotype de Djelfa).

3.1-Préparation des plantules

Une fois les graines germées, les germes à 2 feuilles sont repiqués dans des gobelets contenant un mélange de tourbe et de sable (3/1) et placés dans une mini serre en verre de capacité 1m² et de 60cm de haut se trouvant à l'intérieur de la grande serre (Figure 10). Au bout de 15 jours, les plantules sont transplantées dans des pots de capacité de 500ml de volume contenant le même mélange de tourbe/sable (3/1) (Figure 11). L'arrosage se fait tous les deux jours avec de l'eau du robinet.



Figure 10: Présentation de la mini-serre



Figure 11 : Vue générale des plantules après repiquage.

Au bout de 2 mois, les plantules atteignent le stade de 8-12 feuilles, stade où nous avons appliqué le stress hydrique. Les plantules sont soigneusement déterrées des pots, les racines sont rincées puis immergées dans une solution nutritive recouvert de polystyrène (Figure 12) et conduits en système hydroponique (Annexe 1)

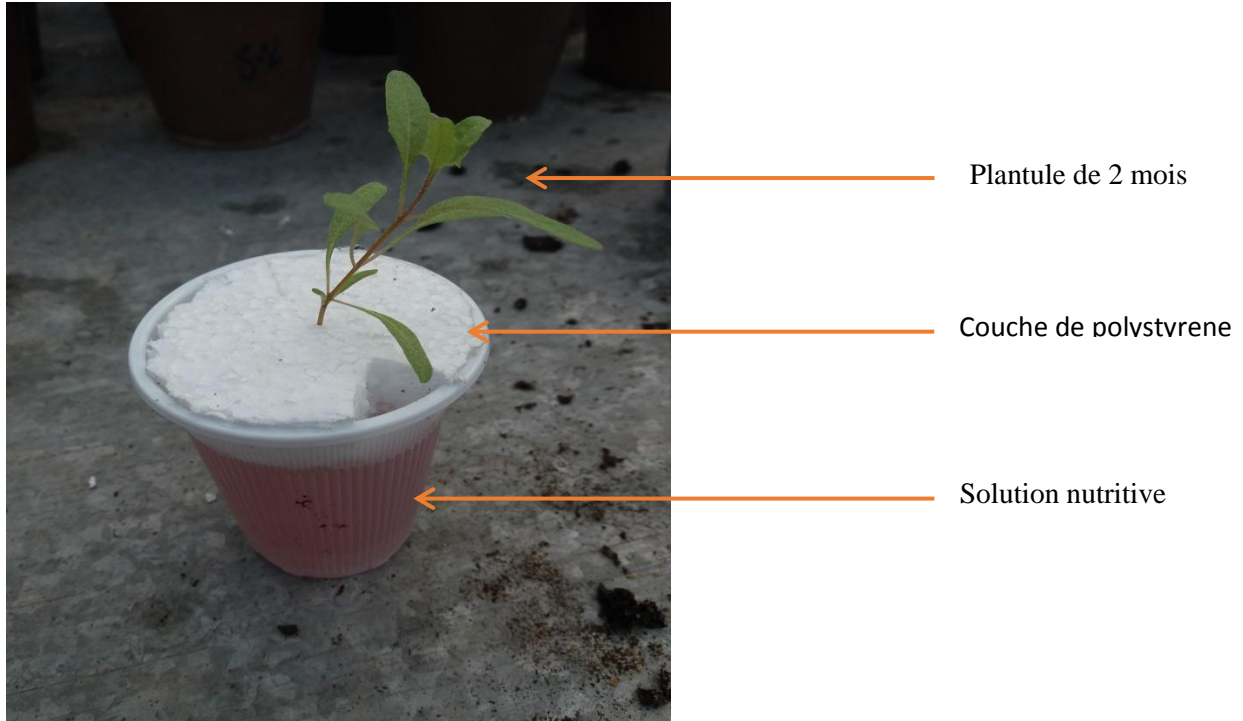


Figure 12: Présentation du système hydroponique

Les plantules ainsi préparés sont laissées pendant 5 jours d'acclimatation jusqu'à l'application du stress hydrique (soit 100ml de solution nutritive par gobelet)(Tableau 6 , Figure 13 et Annexe 3)



Figure 13 : Aspect générale des plantules en phase d'acclimatation.

Tableau 6: Composition de la solution nutritive.

Produit	Formule chimique	Masse molaire (g/mol)
Nitrate de potassium	KNO_3	101.1
Phosphate d'hydrogène ammoniacal	$(\text{NH}_4)_2 \text{PO}_4$	115.08
Sulfate de magnésium heptahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2 \text{O}$	246.49
Nitrate de calcium	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2 \text{O}$	236.16
Chlorure de potassium	KCl	74.55
Acide borique	$\text{H}_3 \text{BO}_3$	61.84
Sulfate de manganèse(II) monohydrate	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2 \text{O}$	169.01
Sulfate de zinc heptahydrate	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2 \text{O}$	289.55
Sulfate de cuivre pentahydrate	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2 \text{O}$	249.71
Molybdate de sodium	$\text{Na}_2 \text{MoO}_4$	205.92
Fer chélate	Fe EDTA	346.08

(Ben Hassine et Luttus, 2010)

4- PREPARATION DE LA SOLUTION PEG-6000

Le stress hydrique est appliqué pendant 5 jours par l'ajout de PEG 6000 (poly éthylène glycol) à la solution nutritive, les concentrations utilisées sont les suivantes :

- **T₀** : Témoin contenant uniquement la solution nutritive (SN)
- **T₁** : SN + 10% de PEG 6000
- **T₂** : SN + 15% de PEG 6000
- **T₃** : SN + 20% de PEG 6000

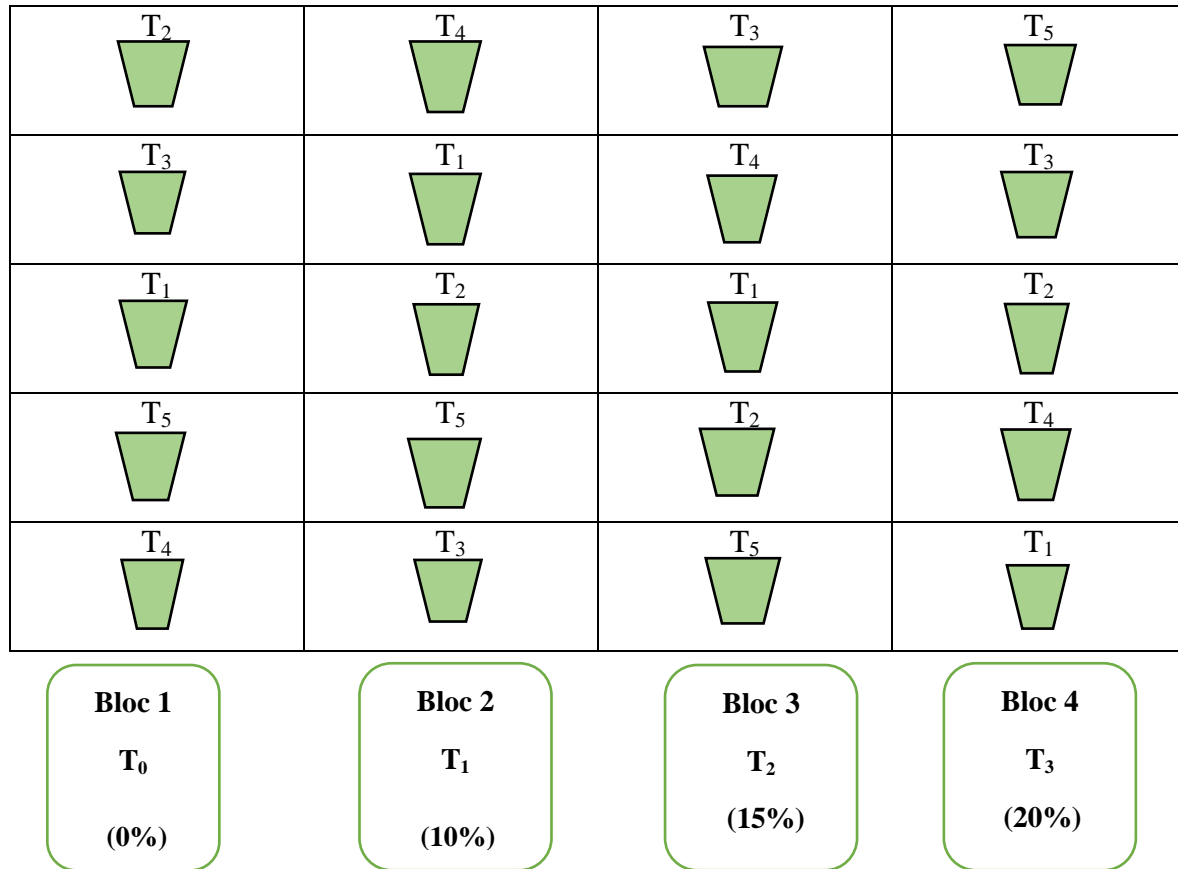
Les solutions employées pour le stress sont préparées et mentionnées dans le tableau 7:

Tableau 7: Préparation des solutions du stress.

Traitement	Pourcentage (%) PEG	Quantité (g)
T ₀	0	0
T ₁	10	40
T ₂	15	75
T ₃	20	100g

5-DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale, avec 5 répétitions, répartis en trois (3) concentrations testées et comparées au témoin (solution nutritive sans PEG).



6. PARAMETRES ETUDIES

Au cours de l'expérimentation les paramètres étudiés sont les suivants :

6.1-Paramètres de germination

Nous avons calculé le taux de germination et suivi sa cinétique.

6.1.1-Taux de germination

Ce paramètre exprime le rapport de nombre de graines germées sur le nombre total de graines testées.

$$TG = (n/N).100$$

n: nombre de graines germées

N : nombre total de graines mises en germination.

6.1.2-Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des génotypes étudiés ainsi que l'ensemble des événements physiologiques. Ces étapes commencent par l'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Le nombre de graines germées est suivi et noté durant une période de 14 jours.

6.1.3-Vitesse de germination

Elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine.

La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (T50) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines. Le T50 est évalué en utilisant l'équation $y = ax + b$ issue des courbes de germination. La vitesse de germination (T50) est mesurée en jours.

7-ANALYSES PHYSIOLOGIQUES

Afin de mieux cerner la réponse des plantules subissant le stress hydrique, nous avons analysé certains paramètres.

7.1- Teneur relative en eau (TRE)

L'eau captée par les racines va occuper l'ensemble des cellules et des espaces intercellulaires du végétal. La mesure de la teneur relative en eau, permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de la turgescence de la plante.

Le limbe foliaire est coupé à la base puis pesé pour déterminer son PF (poids frais). L'extrémité est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée puis maintenu à l'obscurité à 4°C pendant 12h. Les feuilles sont ensuite récupérées et essuyées avec du papier buvard et sont pesées à nouveau, c'est le poids en pleine turgescence (Ppt). Les échantillons sont ensuite mis dans une étuve pendant 48h à 80°C pour obtenir le poids sec (PS).

Le contenu relatif en eau a été calculé selon l'équation suivante citée par **Turner et al., (1981)** :

$$\text{TRE (\%)} = (\text{PF}-\text{PS})/(\text{PT}-\text{PS})\times 100$$

7.2- Dosage des pigments chlorophylliens

Les teneurs en chlorophylles (a) et (b) sont déterminées selon le protocole de **Lichtenthaler (1987)**. Dans un tube à essai nous avons mis 0,1g de l'échantillon frais issu des feuilles où on a additionné 10ml d'acétone à 95%, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48heures (Annexe 5).

La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre. Deux mesures de densité optique sont effectuées à deux longueurs d'onde différentes correspondantes aux pics d'absorption de la chlorophylle (a) et (b) soit (663nm) et (645nm) respectivement.

L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%, les teneurs en chlorophylles sont calculées selon les formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle (a) (mg/l)} = 11,24 A_{663} - 2,04 A_{645}$$

$$\text{Chlorophylle (b) (mg/l)} = 20,13 A_{645} - 4,19 A_{663}$$

$$\text{Chlorophylle Total (a+b)} = (7,05 \times DO_{663}) + (18,09 \times DO_{645})$$

◆DO: Densité optique.

7.3-Dosage des caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes est mesurée selon le même protocole des teneurs en chlorophylles avec une longueur d'onde de (470nm).

La teneur en caroténoïdes est calculée selon l'équation suivante :

$$C_x + c \text{ (ml/l)} = [1000 \text{ DO}_{470} - 1,90 \text{ Chl (a)} - 63,14 \text{ Chl (b)}]/214$$

◆C_x + c: Concentration en caroténoïdes.

8-ANALYSES BIOCHIMIQUES

8.1- Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique de **Troll et Lindsey (1955)** simplifiée et mise au point par **Dreier et Goring (1974)** et modifiée par **Monneveux et Nemmar (1986)**.

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrie. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

100 mg de matière fraîche végétale foliaire sont prélevés dans chaque répétition et mis dans des tubes à essai aux quels 2 ml de méthanol à 40 % est ajouté. Les tubes sont couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) et sont portés à l'ébullition au bain-Marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1 ml de la solution d'extraction a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, 1 ml d'acide acétique a été ajouté. Ensuite, on additionne dans chaque tube, 1ml de mélange contenant 120ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique et 25mg de ninhydrine. Le mélange est porté à ébullition au bain Marie durant 30 min (100°C). La solution vire vers le rouge (Annexe 06).

Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex. La phase supérieure contenant le chromatophore est prélevée auquel on ajoute à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau quelle contient 5mg de sulfate de sodium oxydé.

La lecture de la densité optique des échantillons est effectuée après 48h à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant a son maximum d'absorption.

Le témoin est préparé de la même façon, sans la matière fraîche végétale (sans les feuilles).

La teneur en proline est calculée selon l'équation :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{D.O } 528 \times 0.62$$

8.2 Dosage des sucres solubles totaux

Le dosage des sucres solubles totaux a été fait au niveau des feuilles des plantes selon la méthode de **Dubois et al., (1956)**. Elle consiste à mettre 100mg de matière fraîche dans des tubes à essai où 2ml d'éthanol à 80% est ajouté et laissé à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Le dosage se fait après évaporation complète de l'alcool en plaçant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Dans chaque tube après refroidissement on ajoute de 20ml d'eau distillée à l'extrait effectué.

Ensuite on prélève 1ml de la solution et on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée), puis on ajoute 5 ml d'acide sulfurique concentré dans des tubes . Une solution jaune orange à la surface est obtenue (Annexe 07).

La solution est passée au vortex pour homogénéiser la couleur. On laisse reposer pendant 10 min, puis on la place au bain-Marie pendant 10 à 20 min à 30°C (la couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures).

Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'onde de 490nm.

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/g MF}) = \text{D.O } 490 \times 1.657$$

9. ANALYSE STATISTIQUE

Afin de décrire les différents résultats obtenus par les traitements, des calculs de paramètres statistiques tels que la moyenne, qui est un paramètre de position et de tendance centrale et l'écart type qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne ont été effectués à l'aide du logiciel Excel.

Les données expérimentales sont soumises à l'analyse de la variance en utilisant le logiciel «Sigma Plot 11.0», les groupes homogènes ont été réalisés en utilisant la méthode du Student/Newman-Keuls.

CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSION

1-Essai de la germination des graines de *Atriplex halimus*

Les différents essais effectués sur la germination des 2 écotypes (Djelfa et Tamanrasset) nous ont permis d'avoir les résultats suivants :

1.1-Taux de germination

Le test de germination effectué sur les graines de 2 écotypes notamment Djelfa et Tamanrasset (campagne 2017 et 2018 respectivement), montre qu'il y'a pas une grande différence entre le taux de germination des graines des deux écotypes (Figure 14).

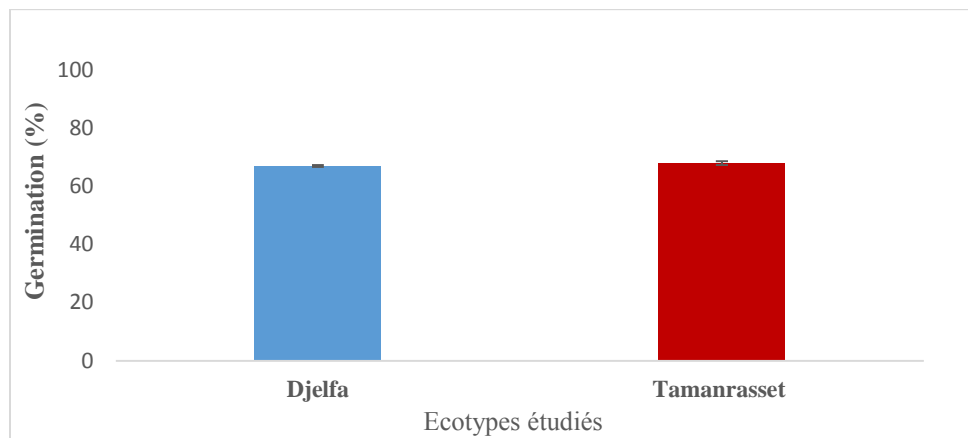


Figure 14 : Taux final de germination.

Nous remarquons que le taux de germination des graines de l'écotype de Djelfa présente 67% comparé à graines de l'écotype de Tamanrasset qui est presque similaire où nous enregistrons 68%.

Nous avons remarqué qu'il y'a pas une différence significative pour le taux de germination.

Nous pouvons déduire que quel que soit l'écotype (Djelfa/Tamanrasset) et l'année de récolte (2017 ou 2018) le taux de germination n'a pas été influencé.

Ces résultats sont en conformité avec ceux de **Piotto et al., (2003)**. En effet, les graines d'*Atriplex halimus* se conservent généralement bien, elles peuvent rester viables pendant 3 à 10 ans et gardent une faculté germinative estimée entre 50 et 90 % si elles sont stockées au sec et au frais dans de bonnes conditions.

1.2-Cinétique de la germination

La figure 15 représente l'évolution de la germination des graines en fonction du temps pour les deux écotypes.

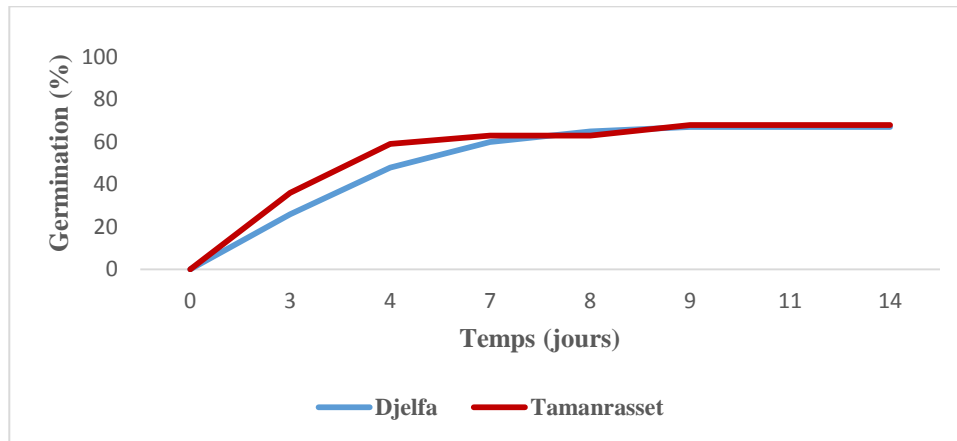


Figure 15: Cinétique de germination des graines.

(Djelfa et Tamanrasset)

Selon la courbe de la cinétique de germination des graines, les deux écotypes commencent à germer dans l'intervalle allant de 2 à 3 jours et ont en général la même allure durant toute la période.

L'essai de germination des graines du Djelfa a atteint son taux maximum de 67% et 68% au bout de 14 jours respectivement pour Djelfa et Tamanrasset.

2- Effets du stress hydrique sur les paramètres physiologiques chez l'*Atriplex halimus* L.

L'effet du stress hydrique sur les plantules est mesuré à travers les paramètres physiologiques (teneur relative en eau et en pigments chlorophylliens et caroténoïdes).

2.1 -Teneur relative en eau

L'évolution de l'intensité du stress hydrique provoque une diminution de la teneur relative en eau par rapport aux plantules témoins arrosées régulièrement par la solution nutritive (SN).

2.1.1- Ecotype de TAMANRASSET

La figure 16 illustre la variation de la teneur relative en eau face à la contrainte hydrique chez les plantules provenant de Tamanrasset.

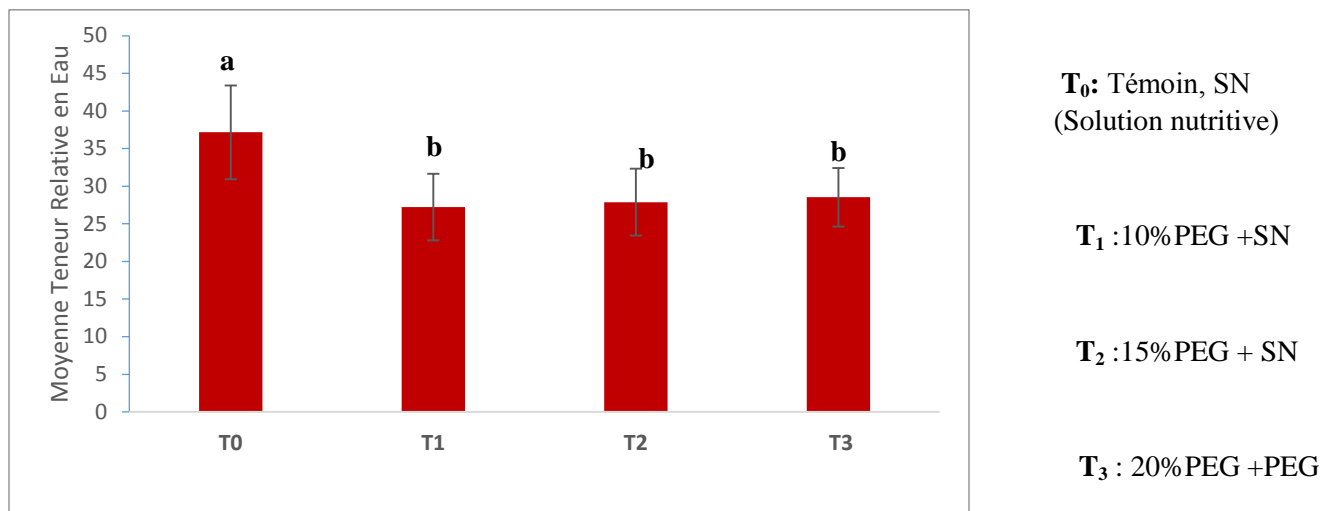


Figure 16: Variation du taux de la teneur relative en eau
(TAMANRASSET)

Les teneurs relatives en eau diminuent chez les plantules stressées, nous enregistrons 27 ; 27 et 28% respectivement pour les traitements T₁, T₂ et T₃ comparées aux plantules témoins où les cellules sont turgescentes et montrent un taux plus élevé en eau atteignant 37%.

2.1.2 Ecotype de DJELFA

L'effet du stress hydrique a affecté les teneurs relatives en eau qui diminuent en fonction de la concentration du milieu stressant (figure 17).

Le témoin présente la valeur la plus élevée avec 30,55% (Bonnes conditions) comparé aux traitements T₁ ; T₂ et T₃ que présentent 11,55 ; 11,75 et 12,16% respectivement.

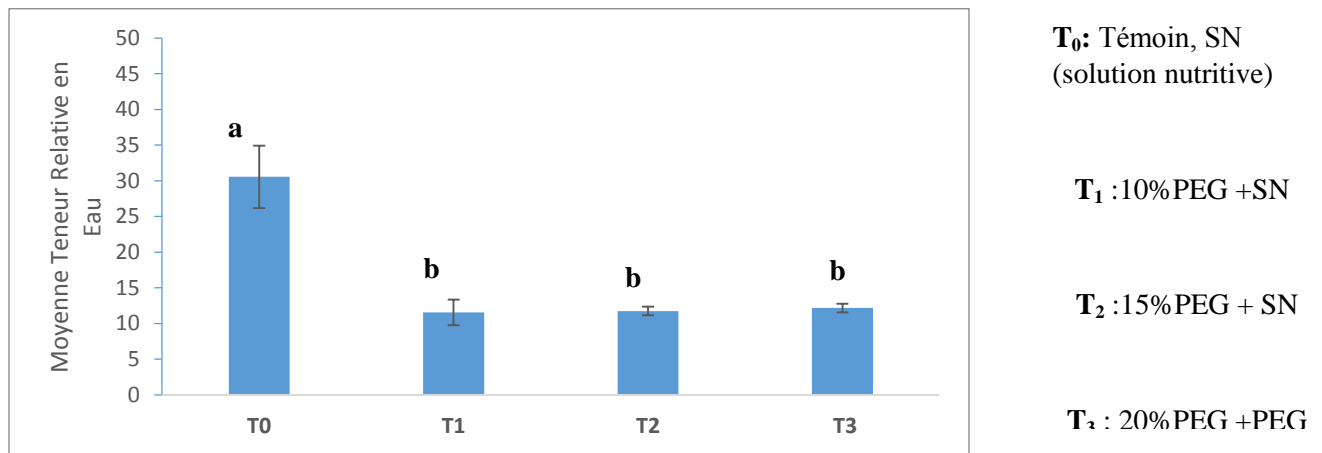


Figure 17: Variation de pourcentage de la teneur relative en eau (DJELFA).

L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative et classe les concentrations en 2 groupes **a** et **b**.

- ✓ Groupe **a** : comprenant le témoin avec une quantité d'eau élevée
- ✓ Groupe **b** : regroupant les concentrations T₁ T₂ et T₃ avec des quantités beaucoup plus faibles.

2.1.3 Différence de teneurs relatives en eau chez les deux écotypes

La comparaison de la teneur relative en eau pour les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) est représentée dans la (figure 18).

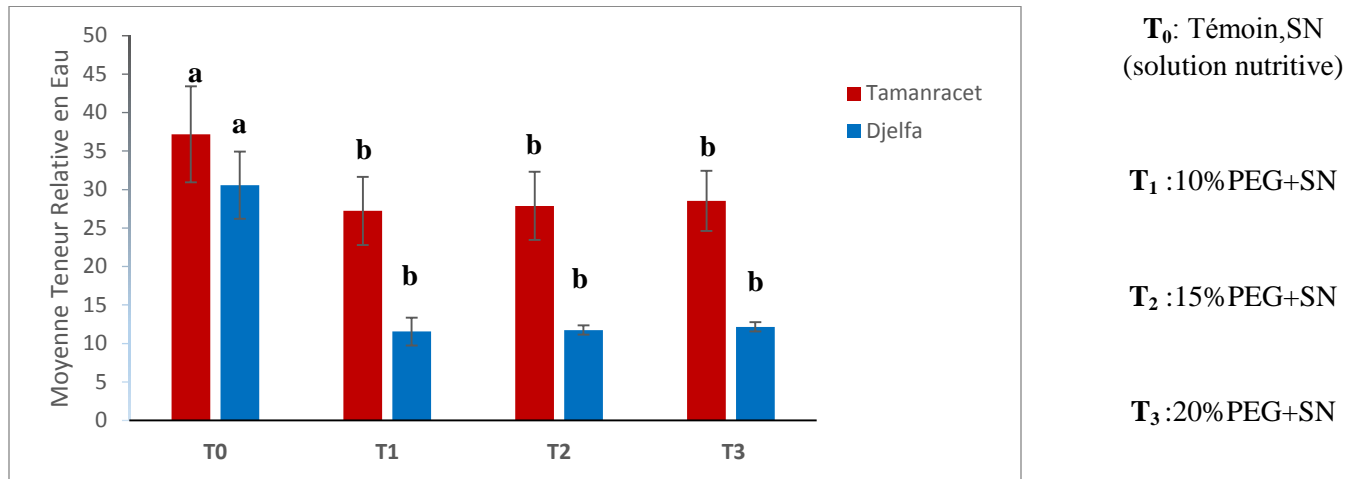


Figure 18: Variation de teneurs relatives en eau chez les 2 écotypes d'*A.halimus* (DJELFA et TAMANRASSET)

La figure 18 montre que les deux écotypes se comportent de la même façon face au stress hydrique. L'évolution du stress réduit la teneur relative en eau dans les feuilles. Les plantules issu des graines de la région de Tamanrasset semblent être celles qui arrivent à stocker des quantités d'eau importantes comparées aux plantules de l'écotype de Djelfa.

Discussion

Les études réalisés par **ALTINKUT et al., (2001)**, **COLLOM et VAZZAMA, (2003)** montrent que le maintien d'une TRE relativement élevée en période de stress est un indicatif de tolérance à la sécheresse. Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement dans les régions arides et semi-arides.

La contrainte hydrique induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau, et une réduction significative de la production de biomasse totale (**ALBOUCHE et al., 2000**).

L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale, le statut hydrique en réponse à la contrainte hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmo-régulation, en maintenant la turgescence cellulaire (EL JAAFARI *et al.*, 2000).

Nous constatons que les plantules issues des graines provenant de la région de Tamanrasset résistent beaucoup plus car elles proviennent d'un étage bioclimatique aride et sec où nous enregistrons une pluviométrie très faible et irrégulière (43mm) avec une période de sécheresse allant jusqu'à 09 mois comparée à l'étage bioclimatique de Djelfa semi-aride où nous enregistrant 350 mm et une durée de sécheresse moins importante de 06 mois.

2.2 Teneur en pigments chlorophylliens (a)

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique influe sur la moyenne de la teneur en pigments chlorophylliens (a) et (b) chez l'*Atriplex halimus*

2.2.1 Ecotype de TAMANRASSET

La figure 19 illustre la variation de la teneur en chlorophylle (a) face à la contrainte hydrique.

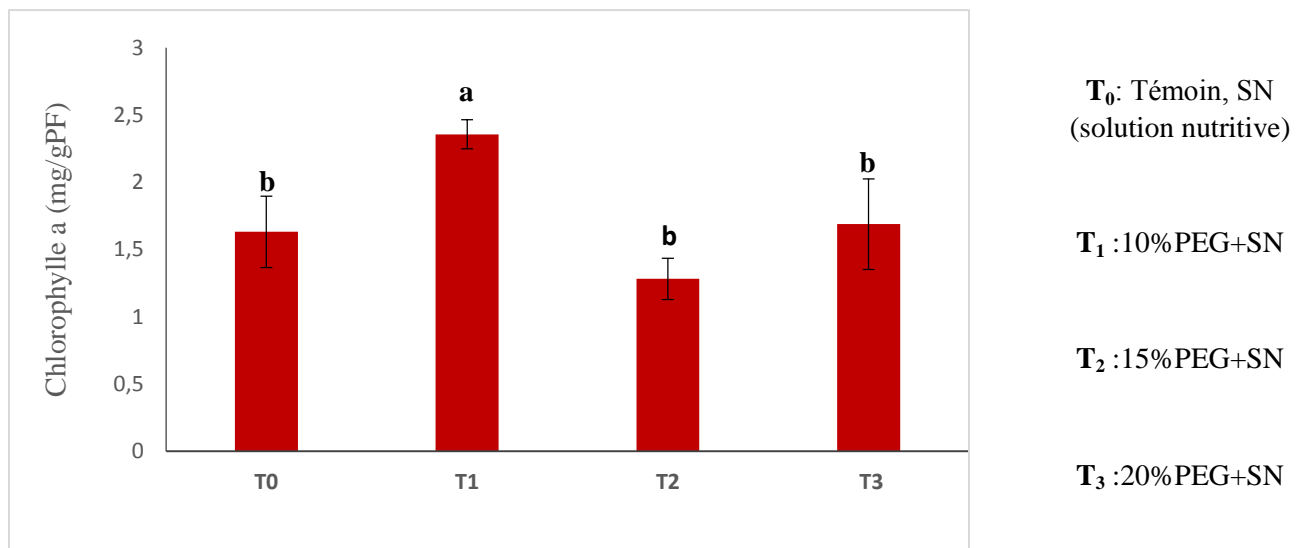


Figure 19: Variation de la teneur en chlorophylle (a) chez les plantules de l'écotype de (Tamanrasset).

Nous remarquons une variation de la teneur en chlorophylle (a) face au stress pour les traitements comparés au témoin. La valeur maximale de la chlorophylle (a) atteinte est de

2,35 $\mu\text{g/g}$ MF enregistrée chez les plantules T_1 stressées à 10% de PEG suivi par le traitement T_3 (20%) et le témoin avec les valeurs respectivement 1,68 $\mu\text{g/g}$ MF et 1,63 $\mu\text{g/g}$ MF. La valeur la plus faible est marquée chez les plantules stressée à 15%. Le test d'homogénéité classe les traitements en 2 groupes **a** et **b** (Annexe 8).

- Groupe **a** : Témoin, T_2 et T_3 avec une quantité de chlorophylle (a) appréciable.
- Groupe **b** : Traitement T_1 (10%) avec une quantité plus importante de chlorophylle (a).

2.2.2. Ecotype de DJELFA

L'effet du stress hydrique provoque une variation de la teneur en chlorophylle (a) pour les plantules issues de graines de l'écotype de Djelfa.

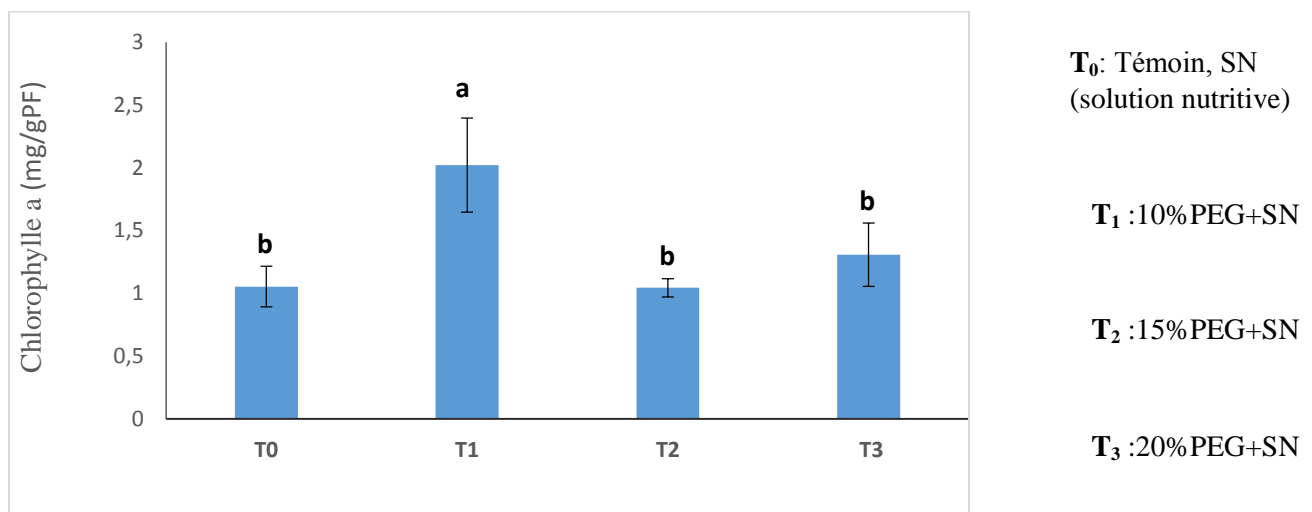


Figure 20: Variation de la teneur en chlorophylle (a) (DJELFA).

Nous remarquons que la valeur maximale de la chlorophylle (a) est obtenue par les plantules stressées à 10% enregistrant aussi la valeur de 2,02 $\mu\text{g/g}$ MF suivie par le traitement T_3 et ensuite le témoin avec respectivement 1,68 $\mu\text{g/g}$ MF et 1,63 $\mu\text{g/g}$ MF. La quantité de la chlorophylle la plus faible est observée chez les plantules stressées avec 15% de PEG6000 (T_2).

Nous remarquons 2 groupes distincts (Annexe 9).

- Groupe **a** : comprenant les plantules stressées par le traitement 1 (10%PEG) avec une quantité importante de chlorophylle (a).
- Groupe **b** se composent de plantules témoins et stressés (T₂ et T₃) avec une quantité de chlorophylle (a) plus faible.

Notons que le traitement T₁ a stimulé les plantules que ont produit une quantité de chlorophylle plus importante.

2.2.3. Différence de la teneur en pigments chlorophylliens chez les 2 écotypes

La figure 21 illustre le comportement de plantules issues de graines des 2 écotypes (Djelfa et Tamanrasset).

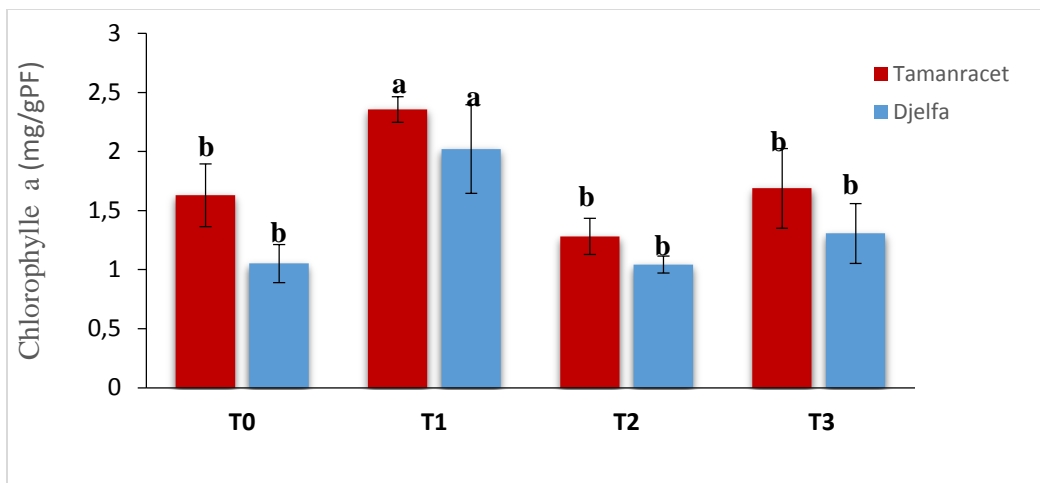


Figure 21: Comparaison de la teneur en chlorophylle (a) chez les 2 écotypes.

Les résultats obtenus montrent une similarité du comportement des deux écotypes face à la contrainte hydrique. L'effet du stress hydrique provoque la variation de la teneur en chlorophylle (a) d'un traitement à autre chez les deux écotypes, où nous enregistrons une quantité de chlorophylle (a) la plus élevée (Tamanrasset) avec 2,35mg/g PF pour le traitement T₁ (10% PEG) suivi par T₃ (20%) avec 1,68mg/g PF.

Même constatation est relevée chez les plantules issues des graines provenant de Djelfa.

2.3 Teneur en pigments chlorophylliens (b)

2.3.1 Ecotype de TAMANRASSET

Nous remarquons que l'effet du stress hydrique provoque une chute de la teneur en chlorophylle (b).

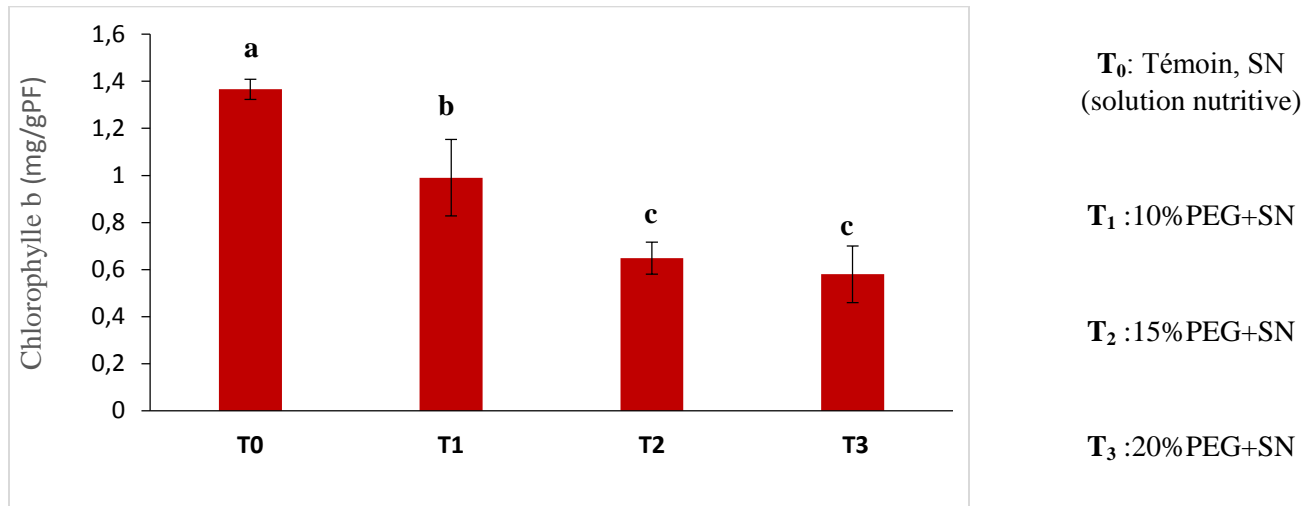


Figure 22: Variation de la teneur en chlorophylle (b) (Tamanrasset).

Cette chute évolue en fonction de l'intensité du stress. Le témoin qui présente une concentration non stressante possède la valeur la plus élevée en chlorophylle (b) avec $1,36\mu\text{g/g PF}$.

Le traitement T₃ (20% PEG) où les plantules ont subi un stress enregistre une quantité plus faible de $0,55\text{mg/g PF}$ suivi par le traitement T₂ aussi faible avec $0,57\mu\text{g/g MF}$.

Trois groupes homogènes distincts (**a**, **b** et **c**) (Annexe 10).

2.3.2. Ecotype de DJELFA

Les résultats obtenus montrent que les plantules manifestent une certaine résistance où nous remarquons que la chlorophylle (b) n'est pas affectée par la contrainte hydrique subit aux plantules aux concentrations 10 et 15% qui sont presque similaires au témoin avec 0,98; 0,64 et $1,36\text{mg/g PF}$ respectivement (Figure 23).

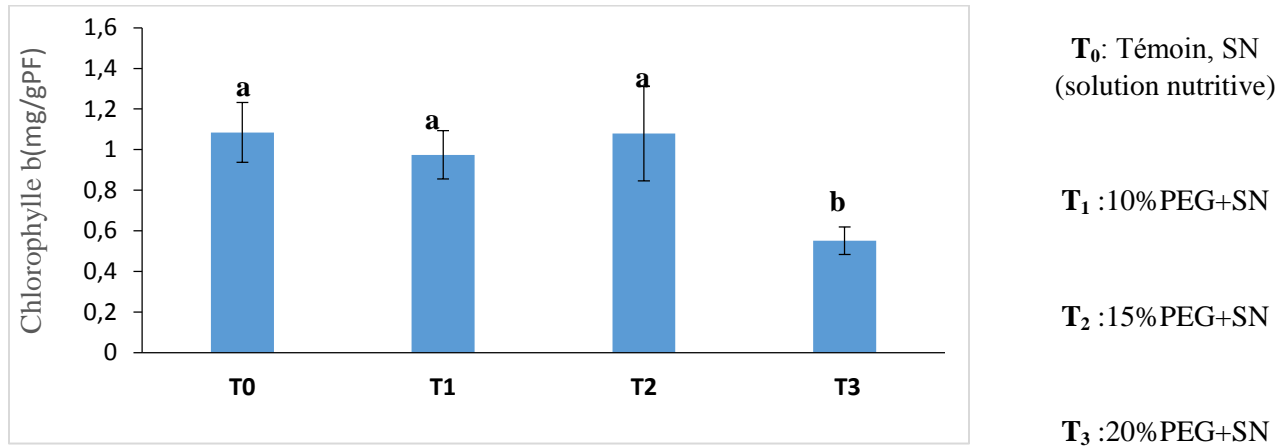


Figure 23: Variation de la teneur en chlorophylle (b) (Djelfa).

Par contre, le traitement T₃ (20%) montre une réduction de la chlorophylle (b) avec 0,57mg/g MF chute sévère et irréversible qui peut entraîner la mort de la plantule.

Deux groupes se dégagent (a et b) où le traitement T₃ renferme les plantules accumulant une quantité faible en chlorophylle (b) (Annexe 11).

2.3.3. Différence de la teneur en chlorophylle (b) chez les 2 écotypes

La figure 24 montre le comportement de la teneur en chlorophylle (b) face au stress hydrique pour les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset).

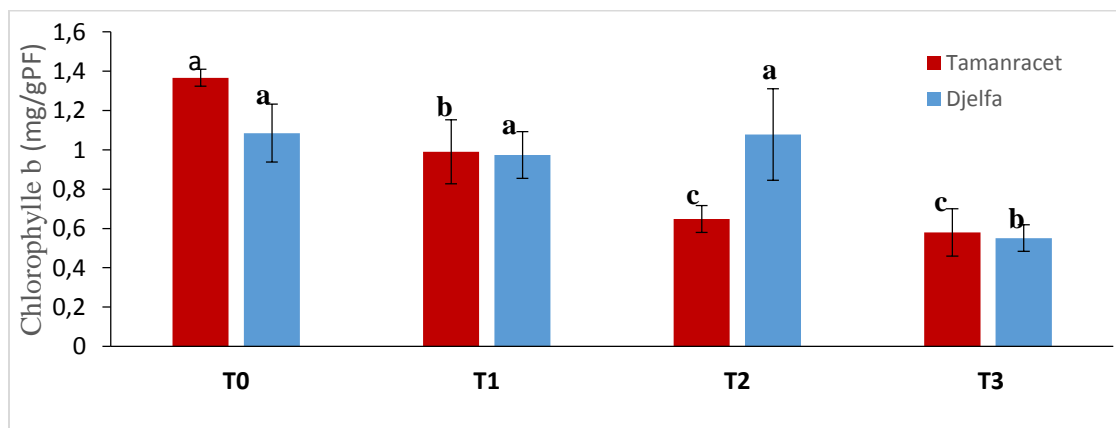


Figure 24: Comparaison de la teneur en chlorophylle (b) chez les 2 écotypes

Nous remarquons une différence de l'effet du stress chez les 2 écotypes. Les plantules issues des graines provenant de la région de Tamanrasset semblent être plus affectées par la contrainte hydrique et provoquent une réduction de la teneur en chlorophylle (b) avec l'intensification des

concentrations de stress, comparées aux plantules issus de Djelfa où on observe une résistance au stress, cette résistance finit pour s'affaiblir dans le milieu où la concentration est assez élevée notamment au niveau du traitement (T₃) à 20% PEG.

2.4. Teneur en pigments chlorophylliens totaux

2.4.1. Ecotype de TAMANRASSET

La figure 25 illustre la teneur en chlorophylle (a+b) où nous constatons que la plus élevée est marquée chez les plantules stressées à 10% où on enregistre une moyenne de 2,99 mg/g PF.

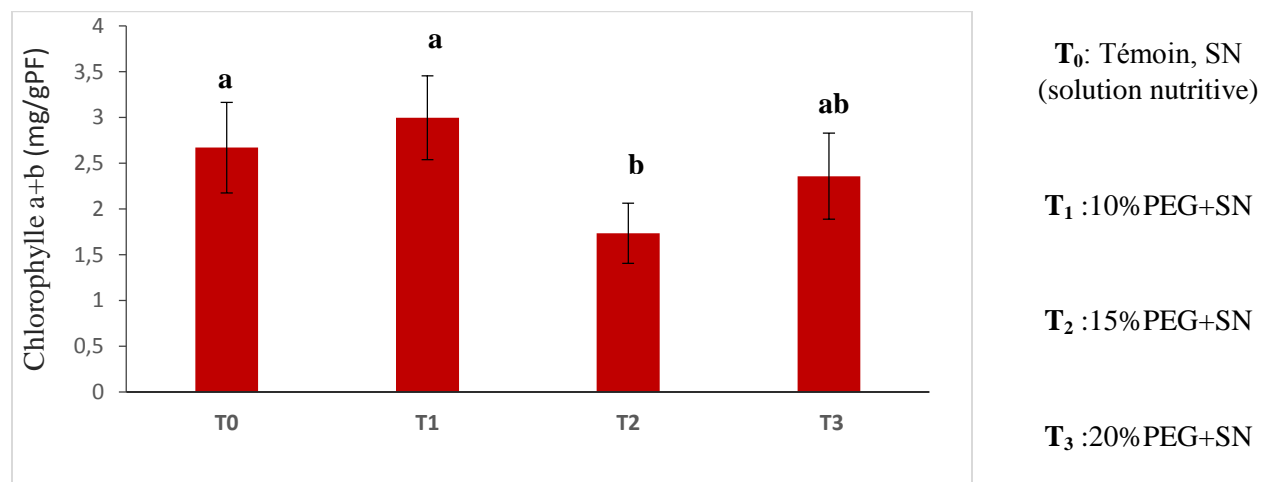


Figure 25: Teneur en chlorophylle total (Tamanrasset).

La teneur en chlorophylle totale la plus faible est enregistrée chez les plantules ayant subi un stress de 15% de PEG soit le traitement (T₂) avec une moyenne de 1,73 mg/g PF.

Cette constatation est confirmée par l'analyse de la variance ANOVA qui dégage 3 groupes : (a, ab et b) (Annexe 12).

2.4.2 Ecotype de DJELFA

La figure 26 montre la variation de la teneur en chlorophylle totale pour les plantules de l'écotype de Djelfa.

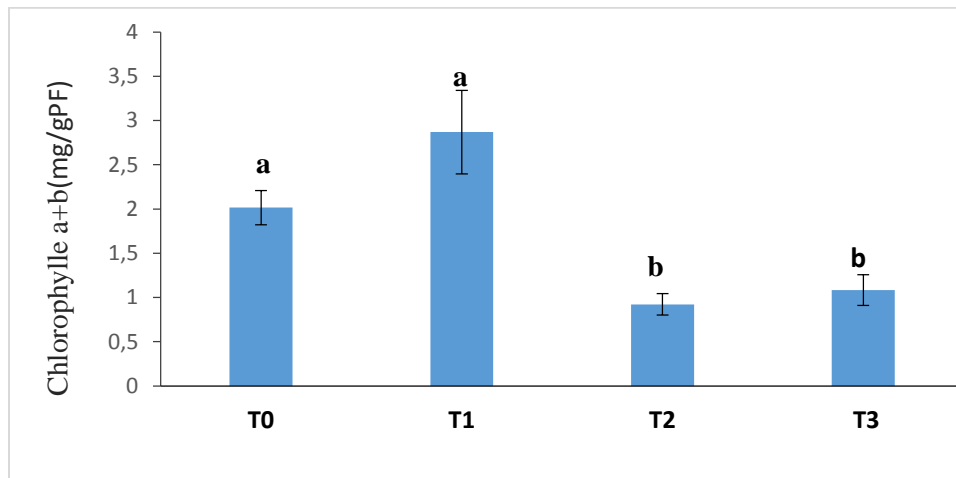


Figure 26: Teneur en chlorophylle totale (Djelfa)

Les plantules de l'écotype de Djelfa montre que la teneur la plus élevée est marquée pour les plantules stressées à 10% où nous enregistrons une moyenne de 2,68 mg/g PF comparées aux plantules stressées à 15% (T₂) suivie par le témoin avec 2,66 mg/g PF. Nous remarquons après traitement statistiques 2 groupes (a et b) (Annexe 13).

2.4.3. Différence de la teneur en chlorophylle total de 2 écotypes

La comparaison de la teneur en chlorophylle totale entre les deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset) est regroupée dans la figure 27.

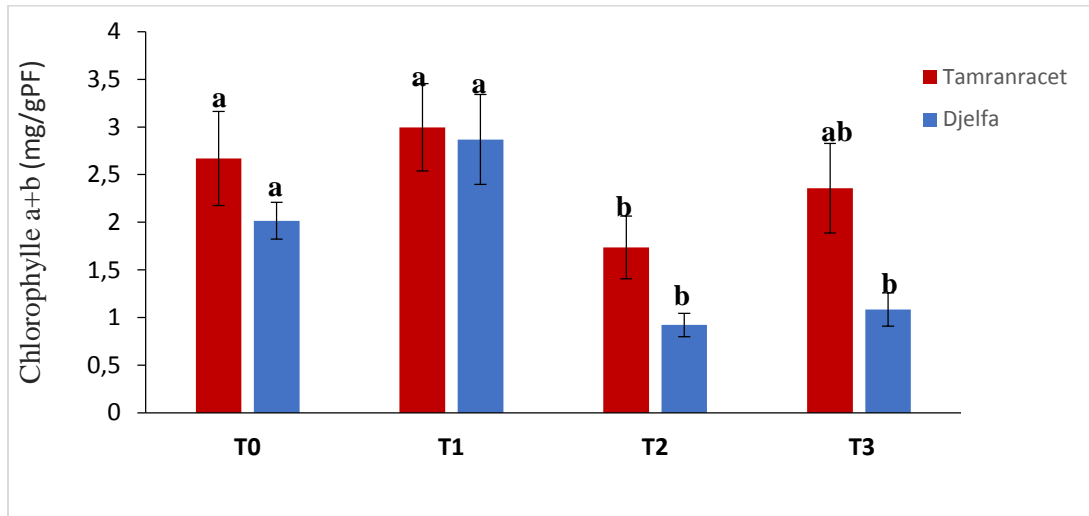


Figure 27: Comparaison de la teneur en chlorophylle totale (a+b) chez les deux écotypes

Les plantules issues des graines de l'écotype de Tamanrasset marquent les teneurs plus élevées par rapport à l'écotype de Djelfa. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées pour le traitement T₁ (10% PEG6000) avec 2,86mg/g PF suivie par le témoin que possèdent 2,01mg/g PF.

L'écotype de Djelfa possède des valeurs élevées dans même milieu (T₁) et le témoin avec 2,99 et 2,66mg/g PF respectivement. Les plantules des deux écotypes ont connu une réduction de leur quantité en chlorophylle totale avec l'intensification du stress T₂ (15%) et T₃ (20%).

Discussion

Les chlorophylles (a) et (b) des feuilles peuvent être influencées par divers des facteurs abiotiques notamment la lumière, la température et la disponibilité en eau (HIKOSAKA *et al.*, 2006). La chute des teneurs en chlorophylles est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée de CO₂ atmosphérique nécessaire pour la photosynthèse.

Durant notre expérimentation, la quantité totale en chlorophylle (a) a connu une variation avec une stimulation des plantules qui ont produit plus de chlorophylle pour le traitement T₁ au cours de l'évolution du stress. Ceci montre le caractère halophyte.

2.4.4 Teneur en caroténoïdes

- ✓ Ecotypes de Djelfa et Tamanrasset

Concernant ce paramètre, les résultats obtenus n'étaient pas conforme malgré les divers répétitions que nous avons réalisé.

3-Effets du stress hydrique sur les paramètres biochimiques

L'effet du stress hydrique sur les plantules est analysé à travers deux paramètres biochimiques (teneur en proline et sucres solubles totaux).

3.1-Teneur en proline

Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress hydrique et notamment le métabolisme des acides aminés dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques.

3.1.1-Ecotype de TAMANRASSET

La figure 28 montre la variation de la teneur en proline à différentes concentrations du PEG-6000 concernant l'écotype de Tamanrasset.

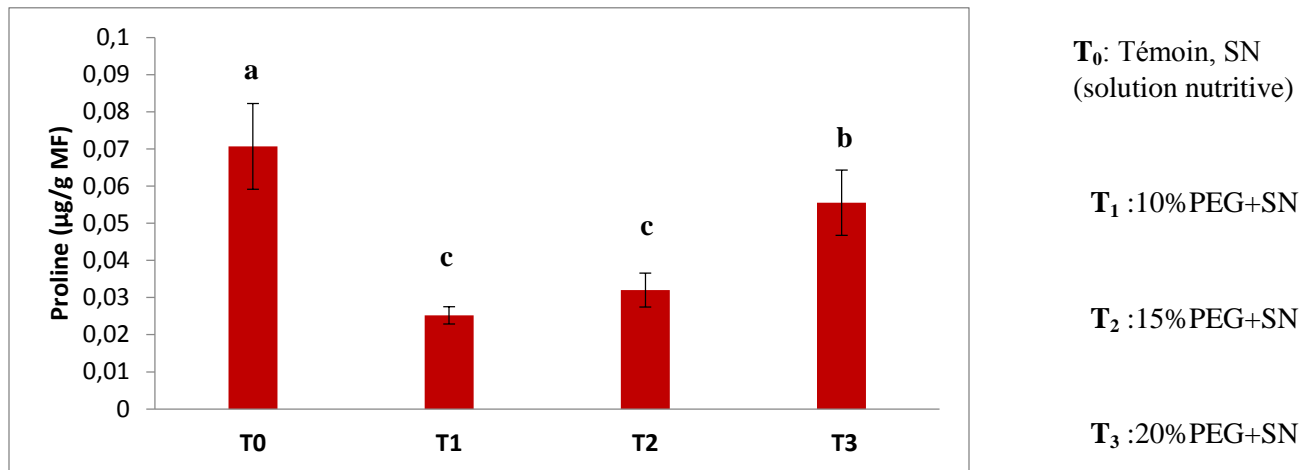


Figure 28: Teneur en proline (Tamanrasset).

L'effet du stress hydrique provoque une augmentation de la teneur en proline au niveau du traitement très sévère T₃ (20%PEG).

Les résultats obtenus avec les plantules ayant subi un stress moins sévère (T₁ et T₂) montrent une teneur moyenne en proline par rapport au témoin. L'analyse statistique montre une différence significative (**P<0.05**) où nous avons 3 groupes distincts : (Annexe 14).

- Groupe **a** : T₀ avec une quantité de proline la plus élevée
- Groupe **b** : T₃ : avec une quantité de proline moyenne à élevée
- Groupe **c** : T₁ et T₂ avec une quantité de proline faible

Nous constatons que les plantules témoin (T₀) accumulent une quantité de proline élevée alors qu'elles n'ont pas subi de stress hydrique simulé par PEG6000, nous pouvons expliquer ce phénomène physiologique par le fait que les plantules témoins provenant des graines de l'écotype de Tamanrasset (milieu aride) et ayant été excessivement arrosées à l'eau du robinet se trouvent donc dans une situation critique et développent des mécanismes de défense en accumulant de la proline.

3.1.2-Ecotype DJELFA

La figure 29 montre la variation de la teneur en proline pour les plantules issues des graines de l'écotype de Djelfa.

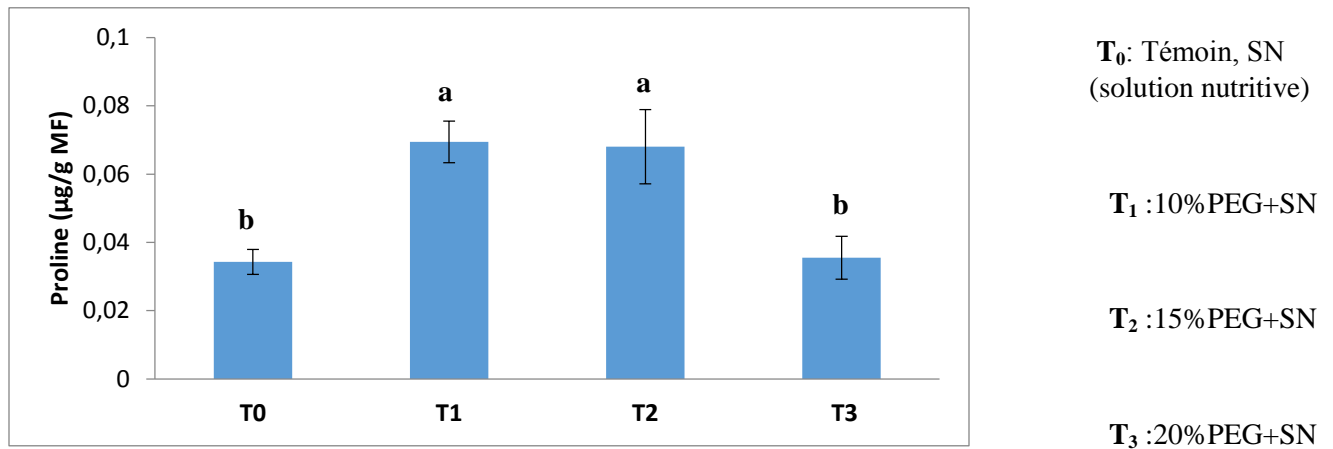


Figure 29 : Teneur en proline(Djelfa)

Au niveau de plantules de l'écotype de Djelfa, l'effet du stress semble stimuler la synthèse de la proline chez les plantules. Une augmentation progressive de la teneur en proline se vérifie au fur à mesure que la concentration en PEG-6000 augmente. Les plantules stressées par 10% et 15% (traitement) enregistrent la même teneur (0,06mg/g). Nous remarquons ensuite une chute de la teneur chez les plantules stressés à 20% avec 0,03µg/g MF.

L'analyse de la variance révèle 2 groupes (a et b) (Annexe 15).

3.1.3-Différence de la teneur en proline issue des 2 écotypes

La figure 30 présente les résultats de la différence de la teneur en proline de deux écotypes (Djelfa et Tamanrasset).

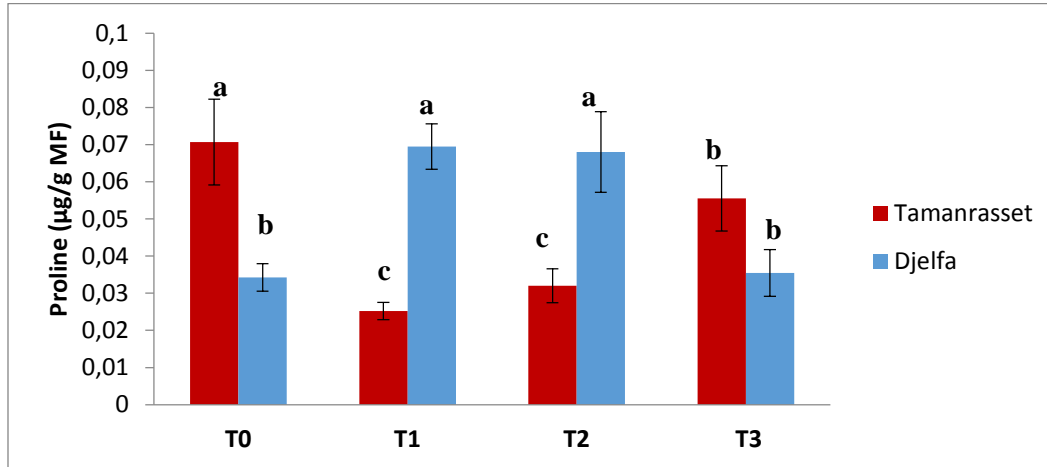


Figure 30: Comparaison de la teneur en proline entre les 2 écotypes (Tamanrasset et Djelfa).

Discussion

La réponse biochimique évaluée à travers le processus d'accumulation de la proline chez deux écotypes d'*Atriplex* face au stress hydrique, a mis en évidence le caractère halophyte de l'espèce qui exprime sa capacité à synthétiser et à accumuler la proline d'une manière différente d'une étage bioclimatique à un autre. En effet, **MONNEVEUX et NEMMAR,(1986)** ont pu établir un classement des variétés de blé dur selon leur teneur en proline et leur résistance à la sécheresse, les accumulations les plus importantes sont connues chez les variétés les plus résistantes.

Pour les plantules issue des graines de la région de Tamanrasset, l'effet du stress semble affecter l'accumulation de la proline négativement, les teneurs de la proline diminuent avec l'intensification du stress, ceci est confirmé par les travaux de (**BOUCHENAK,2015**) qui montre que la proline ne semble pas jouer un rôle direct dans l'ajustement osmotique, elle serait plutôt un symptôme de souffrance. Cette constatation est soulevée pour l'écotype de Tamanrasset où nous remarquons qu'au traitement testé T3 (paraissant le plus sévère avec 20% PEG), les plantules n'ont pas été affectées par ce stress hydrique et l'accumulation en proline analysée est faible comparée au traitement témoin.

En revanche, les plantules issues de graines provenant de la région de Djelfa montrent que l'intensification du stress favorise l'accumulation de ce composé organique. Les solutés organiques comme la proline et les sucres solubles totaux sont connus comme étant osmorégulateurs présents chez les halophytes (BEN HASSINE *et al.*, 2008). En accord avec ces chercheurs nos résultats indiquent que les deux populations accumulent différemment ces solutés en conditions de stress hydrique.

3.2-Effet sur les sucres solubles

3.2.1 Ecotype de TAMANRASSET

La figure 31 représente la variation de la teneur en sucres solubles chez les plantules stressées issues des graines provenant de Tamanrasset.

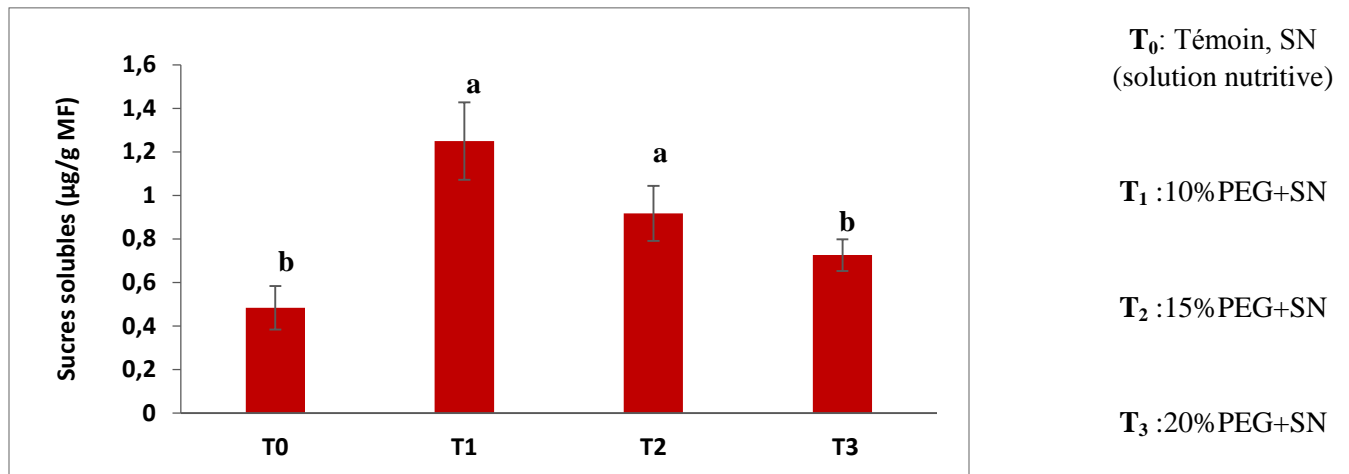


Figure 31: Teneurs en sucres solubles (Tamanrasset).

Au niveau des feuilles, les sucres solubles s'accumulent chez les plantules ayant subi un stress hydrique par ajout du PEG6000 à la solution nutritive. La teneur la plus élevée en sucres solubles est enregistrée pour le traitement T₁ (SN+10%) avec une quantité de 1,24µg/g MF ensuite nous remarquons une chute de la teneur avec l'intensification du milieu pour le traitement T₃ mais toujours plus élevé comparé au témoin où nous enregistrons 0,48µg/g MF.

Le test de Newman et Keuls révèle une différence significative au seuil de 5%.

Deux groupes distincts se dégagent (Annexe 16).

- Groupe **a** : T₁ et T₂ avec des quantités en sucres solubles élevées.
- Groupe **b** : T₀ et T₃ avec des quantités moyennement faibles.

Notons que le groupe **a** (T₁ et T₂), les plantules ont accumulé une quantité de sucres solubles plus importante comparés au groupe **b** (T₀ et T₃) où nous enregistrons de quantités plus faibles. Pour expliquer ce phénomène, nous pouvons déduire et posé comme hypothèse que les plantules stressées par le traitement T₃ (20%PEG) en milieu sec se comportent comme dans leur site naturel (étage bioclimatique aride et rude) et donc accumule une quantité de sucres solubles moyennes à faibles.

3.2.2-Ecotype de DJELFA

La variation de la teneur en sucres solubles chez les plantules issues des graines provenant de la région de Djelfa montre que cet écotype à tendance à augmenter la teneur en sucres solubles totaux quand ces dernières subissent à un stress hydrique sévère par l'application du PEG6000 à 20% (Figure 32).

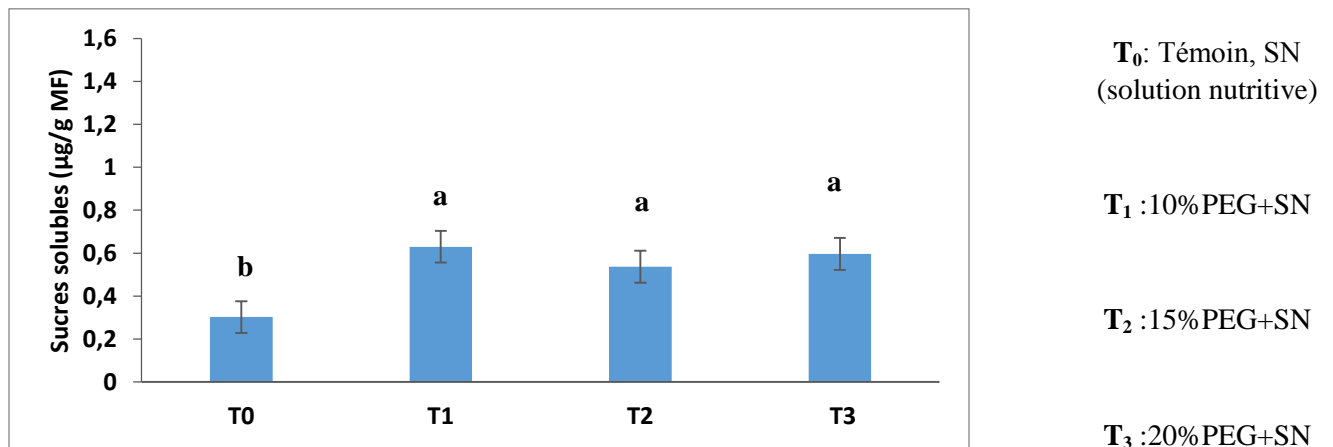


Figure 32 : Teneurs en sucres solubles (Djelfa)

L'analyse de la variance ANOVA montre une différence significative entre le témoin (Groupe **b**) et les traitements (Groupe **a**) ($P < 0.05$) (Annexe 17).

3.2.3-Différence de la teneur en sucres solubles des 2 écotypes

La figure 32 montre la différence de la teneur en sucres solubles totaux des écotypes (Djelfa et Tamanrasset).

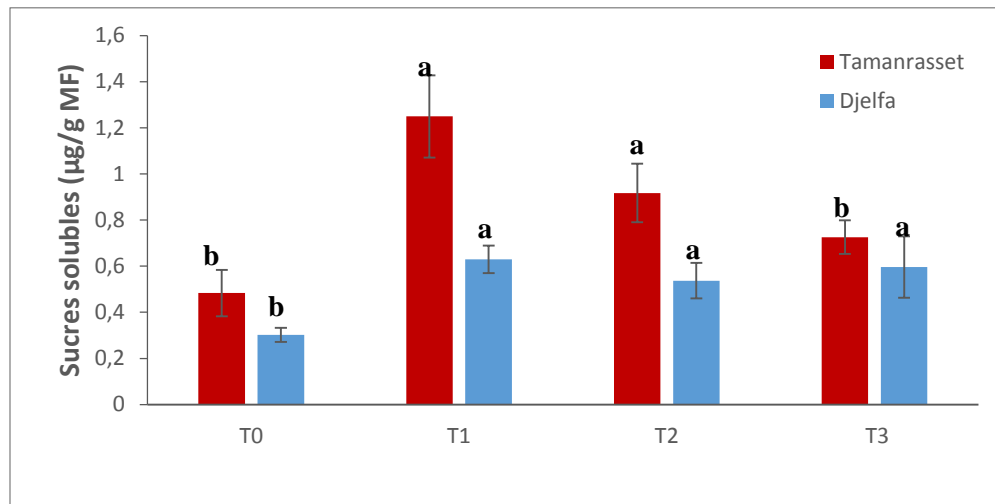


Figure 33: Comparaison des teneurs en sucres chez les 2 écotypes (Djelfa et Tamanrasset).

Les deux écotypes présentent un comportement similaire par rapport au mécanisme de résistance face au stress, on observe une augmentation de l'accumulation des sucres solubles au niveau des feuilles. L'écotype de Tamanrasset présente des teneurs élevées par rapport à celle de Djelfa.

Discussion

Les résultats obtenus montrent que l'évolution des sucres solubles dans la partie aérienne des plantules d'*Atriplex halimus*, présentent une augmentation de la concentration en réponse au stress hydrique pour les deux écotypes. Ces résultats traduisent la capacité des plantules d'*Atriplex* à synthétiser les sucres solubles et les accumuler au niveau des feuilles pour se défendre et résister au manque d'eau en développant des stratégies d'adaptation pour survivre.

Des travaux de recherche de **BOUCHOUKH, (2010)** et plus récemment **OUKARA et al.,(2017)** montrent que les sucres solubles figurent parmi les composés osmotiques les plus fréquemment accumulés au cours des stress environnementaux. **MIKHELICHE et al.**, ont mis en évidence une augmentation de la teneur en sucres solubles chez six variétés de Blé dur en situation de contrainte hydrique sévère. L'accumulation des sucres solubles semble induire la gélification du contenu cellulaire en saturant le milieu extracellulaire, ce phénomène permet d'éviter la cristallisation de molécules contenus dans la cellule, et donc limite les dommages au niveau des structures cellulaires **DUBOIS, (2001)**.

Conclusion et Perspectives

Les stress abiotiques constituent des facteurs limitant la germination, la croissance des plantes, pour cela un moyen efficace de faire face à ces contraintes est d'étudier, tester et améliorer les espèces végétales tolérantes et résistantes à la salinité et à la sécheresse.

Dans ce travail nous avons exploité la variabilité des réponses de deux populations d'*Atriplex halimus* L. différentes par leur date de récolte et leur habitat, vis-à-vis du stress hydrique simulée par polyéthylène glycol (PEG-6000) à travers les paramètres physiologiques et biochimiques.

La mise des graines à germer des graines des deux écotypes ont montré que les facteurs période et région de récolte n'ont pas influencé le taux de germination. Nous avons enregistré un taux de germination élevée pas avec l'utilisation du PEG-6000 pour les graines de deux écotypes.

L'étude de la contrainte hydrique sur les paramètres physiologiques (teneur relative en eau et en pigments chlorophylliens) chez les plantules stressées a enregistré une diminution pour la teneur relative en eau, et une variation de la teneur en pigments chlorophylliens (a).

De même la teneur en chlorophylle (b) étant plus sensible a connu une diminution avec l'intensification du stress.

Concernant les composés osmotiques notamment la proline et les sucres solubles analysés. Le stress hydrique a stimulé la synthèse de ces contenus organiques au niveau des feuilles chez les plantules stressées en fonction de la concentration en PEG. Plus le stress est sévère et plus ces composés s'accumulent dans les cellules.

Il est important de souligner que les deux écotypes n'ont pas connu un comportement similaire à différents niveaux de stress. Notons que l'écotype de Tamanrasset a montré une meilleure adaptation face au stress hydrique par rapport à celui de Djelfa. Cette adaptation de l'écotype de Tamanrasset au stress hydrique peut être lié aux conditions climatiques de la région qui est sec et aride.

Les études menées dans ce travail nous a permis de comprendre que les réponses physiologiques et biochimiques sous les conditions de stress hydrique chez une espèce halophyte à intérêt fourrager comme *Atriplex halimus* L. à développer des stratégies d'adaptation aux conditions de

Conclusion et Perspectives

stress environnementales. Ce travail confirme notamment l'adaptation de l'*Atriplex halimus* à la sécheresse et au climat aride (Tamanrasset) et semi-aride (Djelfa).

❖ Perspectives

Bien que ce travail a permis de caractériser certains paramètres physiologiques et biochimiques face au stress hydrique il serait intéressant de :

- ✓ Etudier d'autres mécanismes d'adaptation et tolérance au stress hydrique tel que le développement du système racinaire, la pression osmotique foliaire ;
- ✓ Identification des mécanismes de résistance comme le système antioxydant ;
- ✓ Etudier l'adaptation d'autres espèces introduites pour enrichir la biodiversité dans les régions arides et semi-arides ;
- ✓ Utiliser des techniques d'amélioration génétique des caractères pour une amélioration des stratégies d'adaptation et tolérance aux environnements abiotiques.

Références bibliographiques

- ABBAD A., EL-HADRAMI A. et BENCHAAABANE A. 2004 (a).** *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae): A halophytie species for restoration and rehabilitation of saline degraded lands. *Pakistan journal of biological sciences*.7(6):1085-1093
- ABBAD A., CHERHAOUI M., WAHID N., EL HADRAMI A. et BENCHAAABANE A. 2004 (b).** Variabilités phénotypiques et génétiques des trois populations naturelles d'*Atriplex halimus* (L). *Comptes Rendus Biologie*. Vol 327, Issue 4 :371-380
- ABELES, J.P., 2003** "Cold acclimation and freezing stress tolerance role of protein metabolism". *An. Rev. Plant physiol.*, 41 187-223
- ABOURA R., 2006** Mémoire de magister : comparaison phytoécologique des *atriplexaies* situées au nord et au sud de Tlemcen. Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen., pp.69.
- ACEVEDO E., HSIAO TC and HENDERSON DW., 1971-**Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant physiology* 48:p.631-636
- ACEVEDO E., 1991-**Improvement of winter cereal crops in mediterranean environment .Use of yield ,morphological traits in physiology breeding of winter cereal to stressed Mediterranean environments (Colloque n° 55). Ed INRA Paris France.
- ADDA A., 2006-**Étude des mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* desf.)Thèse doctorat, Université Es-senia Oran Algérie.
- AGANGA, A.A., MTHETHO, J.K. et TSHWENYANE, S., 2003.** *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbush): A potential forage crop for Arid Regions of Bptswana Asian Network for Scietific Information. *Pakistan Journal of Nutrition* , Vol,2 (2): 72-75.
- AL HAKIMI A., MONNEUX P. and GALIBA G., 1995-**Soluble sugars, proline and relative water content as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T. polonicum* into *T. durum* . *J. Genet. Breed.* 49:27-244.
- ALICATA, M.L, AMATO, G., BONANNO, A., GIAMBALVO, D. et LETO, G., 2002.** In vivo digestibility and nutritive value of *Atriplex halimus* alone and mixed with wheat straw; *Alternative Medicine Review*, Vol 7. Number 1. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 139-142.
- ALVES A.C. and SETTER T.L., 2004-**Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit . *Environ. Exp. Bot.* 51:259-271.

Références bibliographiques

- ANONYME, 2000 : La foret Algerienne.Revue d'information et du vulgarization.
- ANONYME , 2000. *Atriplex halimus* family Chenopodiaceae. Three species N°TTS4., 1-2.
- BADJI,J.,FEYEN,S.,1994. "Relation hydrique sol-plante-atmosphere".In bases physiologiques et agronomiques de la production végétal.Agronomie Moderne. 241-266
- BASIA. V et ARIE.A., 2005- Recent advances in engineering plant tolerannce to abiootic stress : achievements and limitations. Review of Current Opinion in Biotechnology. V16, p 123-132.
- BATANOUNY,K.H.,1993.Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the Arabic world.Advanced Course on halophyte utilization in Agriculture, 12 Sept., Agadiv, Marocco.
- BELHASSEN,E.,DOMINIQUE,T.,MONNEVEUX,P.,1995."Adaptation génétique aux contaites de la sécheresse".Cahier Agriculture Vol 4, 251-261
- BELKHOUDJA,M.et BIDAI, Y., 2004. Réponse des graines *d'Atriplex halimus L.* à la salinité au stade de germination. Laboratoire de physiologie végétale, Université Senia Oran Algérie Sécheresse 2004, Vol.15 (4) : 331-5.
- BELLA KHADER J.1997. La pharmacopée marocaine traditionnelle :Médecine arabe ancienne et savoirs populaires.Ibis Press,764p.in http://www.metafro.be/prelude/View_Country?Cc=MA&cat=V
- BEN AHMED H., ZID E.,EL GAZZAH M. et GRIGNOM C.,1996: Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus L.*Cahier "Agricultures",Vol.5(5): Page 365-372.
- BEN HASSINE, A., GHANEM, MH., BOUZID, S., LUTTS,S., (2008). "An inland and a coastal populations of the Mediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus L.* differ in their ability to accumulate proline and glycine betaine in response to salinity and water stress ".J Expo Bota.59,1315-1320
- BENCHAABANE, A., 1997. Biotechnologie et securité alimentaire. Cas de l'*Atriplex halimus* dans la production de viande de camelides et caprins dans la vallée de Drâa (Maroc), Dans :

Références bibliographiques

Actualité Scientifique : Biotechnologie, Amélioration des plantes et Sécurité Alimentaire : Collection Universités Francophones. Ed .ESTEM, Paris,169p.

-BEN-HAJ-SALAH H. et TARDIEU F., 1997-Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. A superposition of hydraulic and chemical messages ? *Plant physiology* 114, 893-900.

-BEN AYED, H., 1975. Un outil par l'aménagement pastoral des zones arides: les collections et les vergers à graines de plantes fourragères à El Grin. *Bull infor INRF (Tunisie)*, Vol . 19 :1-9.

-BENLARIBI M., 1990-Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse doctorat.Université de Constantine, Algérie,190p.

-BENREBIHA F.Z., 1987 : Contribution de l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites Mémoire de Magister en Science Agronomique L'I.N.A Alger. 119p.

-BEN-SALEM, H., NAFZAOU, A. et BEN SALENI, L., 2002.Supplementing spineless cactas (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman salt bush (*Atriplex nummularia*). Effets on intake, digestion and sheep growth ; *Journal of Agricultural Science*.Vol.138:85-92.

-BENSARI,S.BEALE C.V,MORISON J.L,LONG S.P, 1990 "Water use efficiency of C4 perennial grasses in a temperate climate".*Agriculture and forest Meteorology*.96: 103-115

-BEZZALA A., 2005-Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse.Thèse Magistère En Sciences Agronomiques ,Forêt et Conservation des sols.Université EL HADJ LAKHDAR,p 143.

-BLUM, M.,et EBERCON,V., 1986 "Variabilité of chlorophyll content under fluctuating environmental". *Acta Fytotechnica & Zootechnica*,4:. 5-9

-BLUM A., 1996-Crop responses to drought and the interpretation of adaptation .*Plant Growth Regul*.20:p.135-148.

-BOCK, B., 2009. *Atriplex halimus* L: épinards de mer: *Tela Botanica*, 3p.

Références bibliographiques

- BONNIER, G. et DOUIN, R., 1996.** La grande flore en couleur. In : Atriplex In Vivo ; Bulletin de Liaison du Réseau de Coopération sur l'Atriplex , N°2, Octobre 1996.
- BOOTH, D.T., GOVES, J.K., SCHUMLAN, G.E et OLSON, R.A., 1999.** Shrub densities on prereclaimed mine lands in Wyoming. Restoration Ecology , Vol.7: 24-32.
- BOUABDELLAH E. 1992.** « La végétation steppique sur sols salés des hautes-plaines sud-Algéroises. Composition, structure et production, » Thèse Doc., Univ. Paris sud. Centre d'Orsay, 206 p.
- BOUCHENAK, F., 2015.** Strategies adaptatives au stress hydrique et salin d'une halophyte spontanée *Atriplex halimus* L :Approches physiologiques et biochimiques. Thèse Doc., Uni.Blida. 107p.
- BOYER J.S., 1968-**Relationship of water potential to growth of leaves.Plant Physiology 43:p.1056-1062.
- BOYER J.S., 1970.** Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soy bean , and sunflower at various leaf water potentials . Plant physiology 46: p233-235.
- BOYER J.S., 1985-**Water transport.Annual Review of plant Physiology 36:p.473-516.
- BRANDLE J.R., 1987.** Windbreaks and crop production .SAF National Convention, October 18-21,Minncapolis (USA)
- CASTROVIEJO M., INBAR M., GOMEZ-VILLAR A., GARCIA-RUIZ J M., 1990:** Cambios en el cauce aguas abajo de una prsa de retention de sedimentos », I Reunion Nacional de Geomorfologia, Teruel : 457-468.
- CASTROVIEJO S., LAINZ M., LOPEZ GONZALEZ G., MONTSERRAT P., MUNOZ GARMENDIA F., PAIVA J., VILLAR L., 1990** *Flora Iberica Plantanaceae-Plumbaginaceae* (partim), Real Jardin Botanico, Ed, CSIC, Madrid. Vol. 2, pp. 503-513.
- CIBILIS, A.F., SWIFT, D.M. et MC ARTHUR, E.D., 1998.** Plant-herbivore interactions In : Atriplex : current of knowledje.US Depatement of Agriculture, Forest service General Report RMRS-GTR-14, Rocky Mountain Researche station. Fort Collins CO, USA.

Références bibliographiques

- CHADEFAUD M. et EMBERGER L.1960.** traité de botanique :systématique,les végétaux vasculaires.Tome II.Ed.Masson &Cie. Paris.1540p.
- CHALBI,N.,BEZZAOUIA,M.A. et EL GAZZAH,M.,1997.**Résultats préliminaires sur le polymorphisme morphogénétique et la répartition des populations naturels de l'espèce *Atriplex halimus* en Tunisie, in vitro et in vivo d'individus résistantes à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones, Rapport annuel du projet STD3 no TS3CT 940264, Paris,12p.
- CHAMARD,P.,1993.** Environnement et développement. Références particulières aux états sahariens membres du CCILS.Rev.Sécheresse,4p.
- CHAVEZ M.M., 1991**-Effets of water deficits on carbon assimilation.J.Exp.Bot.42 :1-16.
- CHERNYAD'EV I.I.,2005**-Effets of water stress on the photosynthetic Apparatus of plants and the Protective Role of Cytokininins: A Review.Bach Institute of Biochemistry,Russian Academy of Sciences ,Moscow,119071 Russia E-mail:terekhora@inbi.ras.ru,Applied Biochemistry and Microbiology ,vol.41,No.2,2005,pp.115-128.Translated from Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya ,vol.41,No.2,2005,pp.133-147.Original Russian Text Copyright©2005 by CHERNYAD'EV.
- CHISCI, G., STRINGI, L., MARTINEZ, V., AMATO,G. et GRISTINA, L.,1991.**Ruala degli arbusto foraggeri nell' ambiente semi arido siciliano : 2-Funzione protective contero l'erosione idrometeorica. Riv.Di.Agron., Vol.25: 332-340.
- CHOUKR-ALLAH, R., 1991.** Agriculturel management of salt –affected areas.Ed: Proc. Int.Conf.Morocco, 377-386.
- CHOUKR-ALLAH, R.1996.** The potential of halophytes in the development and rehabilitation of the arid and semi- arid zone. In Redouane, C.A., Malcom, C.V. and Hamed, A.Halophytes and biosaline agriculture. Ed. Marcel Dekker Inc. New York.pp. 1-10.
- CHOUKR-ALLAH,R .,HAMDY,A. et LAHMER, F.Z.,1997.** Gérmination de l'*Atriplex halimus* dans les milieux salés. International Conference on water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region,IAM Valenzamo Bari (Italy), 22-26 September 1997,209p.

Références bibliographiques

- DANIELLE M-L, PAUL M., 1995**-Physiologie végétale Tome I,Nutrition et Métabolisme.Ed Hermann.France,p540.
- DERAISSAC, H., BEWLEY J.D., BLACK,M., 1992** "Cellular events during germination and seeding growth".In :N.Y. Plenum Press.Physiology of development and germination. New York,USA, pp147-197.
- DEY L., ATTELE A., YUAN C.2002**.Alternative Therapies for Type 2 Diabetes.Alternative Medicine Review,7(1) 45-58
- DUTUIT P., POURRAT Y., DODEMAN V.L.1991**.Strategie d'implatantion d'un systeme d'especies adaptées aux conditions d'aridité du Pourtour méditerranéen.L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides.Ed.AUPELPUREF.John Libbey Eurotext.Paris,pp.65-73.
- DUTUIT, P., 1999**. Étude de biodiversité biologique de l'Atriplex halimus par le repérage in vitro et in vivo d'individus résistantes à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones. Université de Paris-Sud. CTA . Contrat TS3-CT94., Vol.264: 138-141.
- EL SHAER H.M and KANDILL H.M.,1998** :Potential of Atriplex species as fodder shrubs under the arid conditions of Egypt.Proc.VIII Int.Congres of Ecology.INTICOL,Florence,Italy,19-25 July 1998.13p
- EL- SHATNAWI, M.J et MOHAWESH, Y.,2000**. Seasonal chemical composition of saltbush insemi arid grassland of Jordan. Journal of Range Management, Vol. 53:211-214.
- ENIXON J.M., 2004**-Étude de l'impact de differents types d'entretien du sols sur l'alimentation ydrique de la vigne ,effect sur son développement végétatif et la maturation des raisins.Mémoire d'Ingénieur ,l'École supérieur d'agriculture ,PURPAN.p 89.
- FAO.1997**. Premier enseignement des arboretums forestiers en Tunisie. FAO. Rapport technique 5.SF/TUN11.
- FERCHICHI, A. et PERIPLOCA L.A., 1990**.Ecologie, biologie et aptitudes germinatives. DEA Ecole végét, Faculté des sciences de Tunis, 108p.

Références bibliographiques

- FERCHICHI, O.H., HARZALLAH, H., BOUZID,S. et REJEB,N.,1997.** Contribution à l'étude de la biologie florale chez *Atriplex halimus* : influence des facteurs environnementaux sur la phénologie de la floraison, in : Étude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistantes à des conditions extrêmes du milieu et constitution des clones, rapport annuel du project STD3 no TS3CT 940264,Paris,6p.
- FERCHICHI, O.H., 2005.** Effet of mineral concentration of culture media without growth substances on the callogenesis of *Atriplex halimus* L. African Journal of biotechnology, Vol 4 (9): 960-962.
- FERNANDES;F. M., ARRABACA;M.C.,CARVALHO ,L.M.M.2004.** "Sucrose metabolism in lupinus albus L. under salt stress ".Biol.Plant.48(2),317-319
- FRANCIET A., LE HOUEROU HN., 1971:** Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture: 249-271.
- FROMENT, D., 1972.** Etablissement des cultures fouragères d'*Atriplex* en Tunisie Central. Bull recherche Agro.C.E.M.L., Vol.2 :540-600.
- GALE,J., NAAMAN, R.et POLJAKOPP-MAYBER, A.,1970.** Growth od *Atriplex halimus* L. in sodium chloride salinated culture solutions as affected by the relative humidity of the air . Ausf. J. Biol. Sci., Vol .23:947-952.
- GATES ,P.,1995**"La tolérance à la sécheresse ,une réalité à valorizer".Persp.Agric.198.. 62-67
- GARCIA-CAMARERO,J.,INGELMO,F. et SOTOMAYOR,M.,1996.**Implantation des Arbustos *Pasciolas* como integracion ganadera en los agrosistemas. Agricultura ecologica y Desarrollo rural.II congreso de la sociedad Espanola de agricultura ecologica. Pamplona-Iruna. Septiembre de.477-488.
- GARG, M ., HERNADEZ J A.,A.CAMPILO,A.JIMENEZ,J J.ALAREON,F.SEVILLA.. 2002.**"Response of antioxidant systems and leaf water relations to NaCl stress in pea plants ".New phytol., 141 241-251.
- GAUTHIER J., 1991.**Notions d'agriculture, le sol, les cultures,les élevages,l'économie et la gestion.Ed.Tech et Doc.p575.

Références bibliographiques

- GLENN EDWARD, P. et BROWN JED, J., 1998.** Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil Environmental Research Laboratory, University of Arizona, 2601 E. Airport Drive, Tucson, Arizona 85706; *American Journal of Botany*, Vol.85 (1) : 10-16
- GRANTZ,D.A., VOUGHN,D.L., FARBER, R.J., KIM,B., ASHBAUGH,L., VANCUREN, T., CAMPBELL, R., BAINBRIDGE,D. et ZINK T., 1998.** Transplanting native plants to revegetate abandoned farmland in the Western Mojave Desert. *J. Environn. Qual.*, Vol.27: 960-967.
- GREGORY ,B .,2005.** Ecophysiology du semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse Doctorat d'Etat, Université Laval. Québec. P81.
- GULIAS,J.,CECCARELLI S.,GRANDO,S.,HAMBLIN,J., 1992** "Relations between barley grain yield measured in low and high yielding environments". *Euphytica*,64: 49-58
- GUIGNARD J.L., 1979-**Abrégé de biochimie végétale à l'usage des étudiants en pharmacie. 2^{ème} édition revue et corrigée. Ed MASSON. P.265 :p.79-86.
- GUO XS, ZHANG WW, HUANG ZYJ.,2010.** *Plant Ecol.*3,79-87, doi : 10.1096/jpe/rtq007.
- GUPTA, R. et ABROL,P., 1990.** Salts affected soils : their reclamation and management for crop production. *Adv soil Science*, 273-287.
- HADDIOUI, A. et BAAZIZ, M., 2001.** Genetic diversity of natural populations of *Atriplex halimus* L. in Morocco: An isoenzyme –based overview, *Euphytica*., Vol.121:99-106.
- HADDIOUI, A. and BAAZIZ, M.2006.** Effect of salinity on seed germination and early growth of five natural populations of *Atriplex halimus* L. in Morocco, *Physical. Mol. Biol. Plants*; 12: 247-251.
- HALLAIRE M.1999-**L'eau et le sol in *Encyclopédie de production végétale* .Département de Bioclimatologie,INRA,France,p.12.
- HANSON,F.,AMZALLAG,G.N.,LEMER,H.R.,POLJAKOFF-MAYBER,A., 1985.**"Induction of increased salt tolerance in sorghum bicolor by NaCl treatment ". *J:Exp.Bot.*41: 29-34

Références bibliographiques

- HANSON,H.M .,1995.**"Variation in proteins syntheses indifferent regions of greening leaves of barley seedlings and effets of composed water stress".J.Exp.Bot,35: 1450-1459
- HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 1998-**Physiologie végétale,Tome I Nutrition.Ed.DUNOD,France,p.323.
- HERMEZ F.,1996-**Etude de comportement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et l'orge (*Hordeum vulgare* L) vis-à-vis du stress hydrique .INA.El Harrach,Alger.Pp 5-21.
- HERRERO J., 1992:**Dégradation du sol,et salinité associées a l'irrigation,corrections apportées en Avagon In:Foesser C.et J.Robert (Eds).Concillier l'agriculture et l'environement,Syros.Alternatives.Paris,pp:127-138
- HIGAZY, M.A., SHEHATA, M.M. et ALLAN, A.I., 1995.** Free proline relation to salinity tolerance of three sugar beet varieties. Egypt. J. Agric .R., Vol .73 (1) : 175-189.
- HOPKINS W.G., 2003-**Physiologie Végétale.Traduction de la 2^{ème} edition par serge RAMBOUR,révision scientifique de Charle-Marie EVRARD.Ed.DE BOEK Université,Bruxelles.p.514.
- HSIAO T.C., 1973-**Plants responses to water stress.Annals Rev.Plant Physiol.,24pp. 530-540pp.
- JOYE,D.,BOUSQUET,U., 1984.**"Effet of far-red light on malate and potassium contents in cotton leaves.Relation to drought resistance ".Physiol.Plant,66,pp 37-40
- KAOCHEKI, A.1996.** The use of halophytes of forage production and combating desertification in Iran. In Redouane, C.A., Malcom, C.V. and Hamed, A. Halophytes and biosaline agriculture. Ed. Marcel Dekken Inc.New York .pp.263-275
- KAUSS,D.S., 1977.**"Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress". New phytol.,132:,57-62.
- KAYOULI, 2001.** Country pasture-Forage Resource Profiles. Tunisia. FAO.
- KELLEY B D., 1982.** Goodin J R., Miller D.R., Biology of *Atriplex* in: Contribution to the ecology of halophytes. *Tasks for Vegetation Science*, Vol. 2, pp. 79-107.

Références bibliographiques

- KHADRE,F.,1994.** An ecological study on the tegulation of seed germination of *Atriplex halimus*. Egyptian Journal of Botany,Vol.34: 49-59.
- KHAN M.A., UNGER I.A. and SHOWELTER A.M.,2000 :**Effets of salinity on growth,water relations and ions accumulation of the subtropical perennial halophytes,*Atriplex griffithii* Var.Stocksir.Ann.Bot.85pp:225-232.
- KILLIAN, C., 1953.** La vegetation autour de chott Hodna indicatrice des possibilités culturales et son milieu édaphique . A.N. Inst. Agro., Vol. 9 :59-80.
- KINET J.M., BERENREBIHA F.Z.,BOUZID S.,LAHACARS S.et DUTUIT P.,1998 :**Le reseau *Atriplex*.Atelier biotechnologies et écologie et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en région arides et semi-arides.Rev.Cahiers d'agricultures.Vol.7(6)pp :505-509
- KINIRY J.R., 1993-**Non structural carbohydrate utilisation by wheat shaded during grain growth.Agron.J.85 :844-449
- KIRKHAM M.B ., 2005-**Principles of soil and plant water realations.Ed Elsevier Academic Press.p 519.
- KORICHI,S., 1990.**"Adaptation reaction of oat strains selected under stress and non stress environmental conditions". Crop Sci., 4:..55–58.
- KORICH,S.,GARCIA A.,RIZZO,C.A.,UDDIN,SL.,BARTOS,D.,SENADHIRA,T J.,2002.**"Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice ,and the mechanism of sodium : potassium selectivity differs between rice and wheat ".Plant Cell Environ.,20: 1167-1174
- KOTCHI S.O.,2004-**Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge .Application à la culture de la pomme de terre.Université Laval,Canada,Faculté de foresterie et géomantique ,Maîtrise en sciences géomantiques,p.130.
- KRAMER P.J., 1980-**Drought,stress and origin of adaptations .In adaptation of plants to water (TURNER N.C. and KRAMER P.J.eds.) Wiley,New York pp.7-29.
- KRÖMER S.,1995-**Respiration during photosynthesis.Annu.Rev.Plant Physiol.Plant Mol.Biol.46,45-70.

Références bibliographiques

- KUSAKA M., OHTA M. and FUJIMURA T., 2005**-Contribution of organic components to osmotic adjustments and leaf foldings for drought tolerance in pearl millet. *Physiol. Planta.* 125:p.474-489.
- LAUCHLI, L. et EPSTEIN., E., 1990.** Plant response to saline conditions. In Tanji KK (Ed). *Agricultural Salinity Assessment and Management*, 113-137.
- LAUER, M.J. and BOYER, J.S.1992**-Internal CO₂ measured directly in leaves: abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiol.* 98:1310-1316.
- LEFEBVRE V, 2005**-Caractérisation des gènes At NCED impliqués dans la biosynthèse de l'ABA dans la graine d'*Arabidopsis thaliana*. Docteur en Sciences de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- LE FLOCH E., 1989** :Plantation d'arbustes fourragers. Bilan préliminaire de 30ans de pastoralisme. Ed. :FAO. 204p
- LE HOUEROU H.N.1980.** Background and justification. In :H.N.Le Houérou (ed) "Browse in Africa .The current state of knowledge". International Livestock Center for Africa ,Addis Abeba (Ethiopia):491
- LE HOUEROU H N., PONTANIER R., 1987:** Les plantations sylvopastorales dans la zone aride de la Tunisie. Notes Techniques du **MAB** 18-UNESCO, Paris: 79.
- LE HOUEROU H.N., 1992:**The role of salt bushes (*Atriplex* sp) in aride land Rehabilitation in the Mediterranean basin. *Review Agroforestry Systems*, 18,107-148.
- LE SALINIER.1999.**Dossier environnement. Le magazine du personnel de salins N°83-août 99. <http://www.salins.fr/maj/phototheque/photos/pdf/suplement plantes.pdf ?PHPSESSID=438°878573ef0Ca9df4a97f4a9d9b15b>
- LEVITT J., 1980**-Responses of plants to environmental stress "Physiological Ecology Series. Acad. Press New York, p. 205-211.

Références bibliographiques

- LIC.L, WANG M, MAXY, ZHANG W., 2014. Mol. Plant .7,1508-1521, doi: 10.1093/mp/ssu061
- LONGUE, H.F., CHELMA,A. et OULED BELKHAR,A.,1989. Quelques aspect botaniques et nutritionnelles des pâturages des dromadaires en Algérie. Option Méditerranéennes Série Séminaires, Vol.2 : 47-53.
- LORIMER G.H., 1981-The carboxylation and oxygenation of ribulose 1,5.bisphosphate . The primary events in photosynthesis and photorespiration .Annu.Rev.Plant Physiol.32:349-383.
- LUTTS, S., MARTINEZ, J.P.,BAJJI , M et KINET,M.,2001. Sodium implication of the response of halophytes species *Atriplex halimus* L. to various abiotic stress. Botany.
- MAALEM, S., 2002. "Etude écophysiological de trois espèces halophytes du genre *Atriplex* (*A.canescens*, *A. halimus* et *A. nummularia*) soumises à l'enrichissement phosphaté". Thèse de magistère en physiologie végétale et applications biotechnologiques. Université Baji Mokhtar, Annaba, Algérie, 76p
- MAAROUF, A., 2003. Les saponines et flavonoids de trois plantes médicinales : (*Achyranthes bidentata* BL ; *Atriplex halimus* L. et *Zyziphus mucronata* wild) détermination structural et approche biologique. Thèse de doctorat.Université d'Oran ,121-124.
- MATTHEWS M.A. and BOYER J.S., 1984-Acclimatation of photosynthesis to Low water Potentials.Plant Physiology 74: 161-166.
- MATTIA, C., BISCHETTI,G.B.,GENTILES,F. "Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species".Plant soil 278:23-32.(2005).
- MARTINEZ J.P., LEDENT J.F., BADJJI M., KINET J.M., LUTTS S.,2003. Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. *Plant Growth Regulation*. Vol. 41, Issue: 1, , pp. 63-73.
- MARTRE P., 1999-Architecture Hydraulique d'une Talle de Fétuque Élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) Implications pour les Relations entre la Transpiration et l'Expansion Foliaire .Thèse doctorat.UNIVERSITÉ DE POITIERS, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées,p.181
- MARTRE P, BOGEAT-TRIOBOULOT MB et DURAND JL.1999-Measurement of a growth-induced water potential gradient in tall fescue leaves.*New Phytologist* 142:435-439.

Références bibliographiques

- MARUYAMA, S. and BOYER, J.S 1994**-Auxin action on growth in intact plants: threshold turgor is regulated. *Planta* 193:44-50
- MAZLIAK P., 1995**-Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. HERMAN. Paris, France, p.539.
- MC MICHEL, J.P., JAN K.P., 1977.**"Inhibition of *Amaranthus caudatus* seed germination by polyethylene glycol-6000 and abscissa acid and its reversal by ethephon or 1aminocyclopropane-1 carboxylic acid ". *Physiol. Plant* .67(4) 588-597
- MESSAILL, B., 1995.** Systématiques des spermaphytes. Office des publications universitaires, 91p.
- MICHELENA V.A. and BOYER J.S., 1982**-Complete turgor maintenance at low water potentials in the elongating region of maize leaves. *Plant physiology* 69:p.1145-1149.
- MILLAR AH, HOEFNAGEL MHN, DAY DA, WISKICHI JT, 1996**-Specificity of the organic acid activation of alternative oxidase in plant mitochondria. *Plant .Physiol* 111:613-618.
- MOLZ F.J. and BOYER J.S., 1978**-Growth-induced water potentials in plants cells and tissues. *Plant physiology* 62:p.423-429.
- MONNEVEUX P et THIS D., 1997.** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficulté. Cahier "Sécheresse", Vol 8, N°1, p 29-37.
- MONNEYEUX, M., et NEMMAR, J., 1986.**"Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials". Interpretation of genotype x environments interaction. *Crop Sci.*, 42: 489-496.
- MOZAFAR, A. et GOODIN, J.R., 1970.** Vesiculated hairs; a mechanism for salt tolerance in *Atriplex halimus* L. *Plant Physiology* , Vol.45: 62-65.
- MULAS, M., 2004.**"Potentialité d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification". Short and Medium, Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). 91p

Références bibliographiques

- MULAS,M.,MULAS.G.2004.**Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short And Medium-Term priority Environmental Action Programme (SMAP). Université Des Etudes De Sassari Groupe De Recherche Sur La Désertification. 112p.
- NAZARI-DASHLI BROWN, P., 1997.** Plantation of fodder shrubs in arid and semi-arid zones of Iran. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*, 143-146.
- NEFZAOU, A et CHERMITI, A., 1991.**Place et rôle des arbustes fouragers dans les parcours des zones arides et semi arides de la Tunisie. *Options Méditerranéennes*, Vol.16 :119-125.
- NEFZAOU, A., 1997.**The integration of fodder shrubs and cactus in the feeding of small ruminants in the arid zones of North Africa. Lifestock feed resource within integrated farming systems. Second FAO ; Electronic conference September 1996. February 1997,467-483.
- NIERKERK.W.A SPARKS.C.F, RETHMAN. N.F.G et COERTZE.R.J.2004.** Mineral composition of certain *Atriplex* species and *Cassia Sturtii*.*South African Journal of Animal Science*.34 (Supplement1) :105-107
- NÉGRE R., 1961.** Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome I. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (France),.
- ORTIZ-DORDA, J., MARTINEZ-MOVA,C.,CORREL,E.,SIMON,B.et CENIS,J.L.,2005.**Genetic structure of *Atriplex halimus* populations in the mediterranean basin.*Ann. Bot.*,Vol.95 (27):827-834
- OSMAN, A.E. et GHASSALI, F., 1997.** Effect of storage conditions and presence of fruiting bracts on the germination of *Atriplex halimus* and *Salsola vermiculata*.*Expl.Agric.*, Vol.33:149-156.
- OSMOND, C .D., BJORKMANN, O. et ANDERSON, D.J.,1980.** Physiological processes in plant ecology : Towards a synthesis with *Atriplex* .Berlin, Heidelberg, New York : Springer-verlag. 463p.
- OUKARA,F/Z.,CHAOUIA,C. et BENREBIHA,F/Z. ,2017.** Contribution de l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantules du Pistachier de L'Atlas *Pistacia Atlantica* Desf. *Rev Agro* (1) 225-232.

Références bibliographiques

-OZENDA, P., 1983. Flore de Sahara, Deuxième édition de centre national de la recherche scientifique Paris, 220-225.

-PAPANASTASIS,V.P.,TSIOUVAVAS,C.N.,DINI-PAPANASTASI,O.,VAITSIS,T.,STRINGI,L.,CERET,C.G.F.,DUPRAZ,C.,ARMAND,D.,MEURET,M. et OLEA,L.,2002.Selection and Utilisation of Cultivated Fodder Trees and Shrubs in the Mediterranean Region.CIHEAM-Options mediterranneennes.

-PAQUIN,R.,1992."Effet de l'humidité du sul sur la teneur de la proline libre et des sucres totaux de la luzerne endurcie au froid et à la sécheresse". Can.J.Plant Scie.66, 95-101.

-PAR-SMITH, G.A., 1982.Biogeography and evaluation of the shrubs Australien especies of Atriplex. In : W.R. Barker and P.J. Greensdale (Eds.) Evolution of the Flora and Fauna of Arid Australia. Peacock, Freville, S.Australia 221-299.

-PICARD, J.F., TIMBALS ,J. et BECKER,M.,1982.Larousse des arbres et arbustes, ed.Librarie Larousse,Paris,266p.

-

PIOTTO,B.,BARTOLONI,G.,BUSSOTTI,F.,GARCIA,A.A.C.,CHESSA,I.,CICCARESE,C.,CICACCARESE,L.,CROSTI,R.,CULLUM,F.J.,NOI,A.D.,GARCIA.FAYOS,P.,LAMBO RDI ,M.,LISCI,M., LUCCI ,S., MELINI , M.,RECINOSO,J.C.M.,MURRANCA, S.,NIEDDU,G.,PACINI,E., PAGNI,G.,PATUMI,M., GARCIA,F.P., PICCINI,C.,ROSSETTOS,M.,TRANNE, G. et TYLKOWSKI, T.,2003.Fact sheets on the propagation of Mediterranean trees and shrubs from seed. Seed propagation of Mediterranean trees and shrubs. APAT-Agency for the protection of the environnement and for technical Service Via vitaliano Brancati,48-00144 Roma-Italy.April 2003.

-PIT, J., 2004.Current distribution and strategic management options for Cenchrus ciliaris L.(Buffet grass) in South Australia. Plant Protection Quarterly, Vol:19 (2) :415-421.

-POUGET, M., 1971. Étude agro-pédologique du bassin du Zahrez Gharbi. Feuille Rocher de sel. Etude D.E.M.R.H., Alger, 160p.

Références bibliographiques

- POUGET M., 1980 :** Les relations sol-végétations dans les steppes Sud-Algériennes. Travaux et document de L'O.R.S.T.O.M. N°116p.555.Paris.
- POURRAT, Y, et DUTUIT, P.,1994.** Etude précoce des effets morphologiques et physiologiques du rapport sodium/calcium in vitro sur une population d'*Atriplex halimus*. Ed : AUPLEF-UREF. Paris, 283-295
- POTTIER, A., 1981.** Flore de la Tunisie. Angiospermes dicotylédones gamétopétales.
- PRIAULT P.2006-** Interactions mitochondries/chloroplastes au cours de la photosynthèse et de la réponse au stress chez *Nicotiana sylvestris*. Thèse de Doct.en Sci.,Univ.Paris.Sud,Orsay,174p.
- PRIAULT P.,VIDALB G.,DE PAEPEB R, and RIBAS-CARBOC M,2007-** Leaf age-related changes in respiratory pathways are dependent on complex I activity in *Nicotina sylvestris*. *Physiologia Plantarum* 129 :152-162.
- QUÈZEL P.et SANTA S., 1962 :** Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Amatol. France. 288p.
- QUÈZEL P., SANTA S.,** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome2, Ed. Centre nationale de la recherche scientifique, Paris, **1963**, pp.935-936.
- RHODES, J., 1993** "Comparative physiology of salt and water stress plant. *Cell and Environment* ".25: . 239-250.
- ROBELIN, M., et DERAISSAC. ,M., 1984.** "Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse". In Gallais (Eds). *Physiologie du maïs* Paris :INRA. pp 345-376.
- ROBISON M.S., JONES,D.,ADAMS P.,THOMAS J.C.,VERNON D.M,BONHERT H.J.,JENSEN R.G.,1986.** "Distinct cellular and organic responses to salt stress". *Plant .Cell.Phys.*33: 1215-1223
- ROSAS, M.R., 1989.** El genero *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. *Gayana Bot.*,Vol.46 (1-2):3-82.
- SAAB I.N.,SHARP R.E.,PRITCHERD J.,1990-** Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedlings at low water potentials. *Plant Physiology*,93,1329-1336.

Références bibliographiques

- SABRI,Z. et TOUATI,H.,2001.** Contribution à l'étude caryologique de trois populations d'*Atriplex halimus* L. dans le littoral Oranais. Mémoire de D.E.S. Université d'Oran Es-Sénia.
- SAID.O,FULDER.S,KHALIL.K,AZAIZEH.H,KASSIS.E et BASHAR SAAD.B.2008.**Maintaining a physiological blood glucose level with 'Glucolovel',a combination of four anti-diabets plants used in the traditional arab herbal medicine.Evid Based Complement Alternat Med.5(4):421-428
- SANTORO,M.,DUAN D.,LIU X.,KHAN X., & GUL B.,1992.**"Effects of salt and water stress on the germination of *chenopodium glaucum* L.,seed ".Pak.J.Bot.36(4) 793-800.
- SARSON G., 1970:**Résultats d'un essai sur l'alimentation du mouton en période de disette fourragere,au centre d'Ousseltia.Tunisie FAO projet Tun.pp:16-17.
- SEEMAN J.R., SHERKEY T.D., WANG J. and OSMOND C.B., 1987-**Environmental effects on photosynthesis,nitrogen use efficiency and metabolites pools in leaves of sun and shade plantes.Plant Physiol. 84:796-802.
- SINGH T.N., STRUIK, P.C., ASPINALL,D.,**"Proline accumulation and varietal adaptability to drought in berley :a potential metabolic measure of drought resistance ".Nature,236:188-190.
- SHOWEMIMO FA, OLAVEWAJU J D., 2007.** Int.J. Plant Breed. Genet.1,29-33, doi: 10.3923/ijpbg.29.33.
- SMAOUM, 1972.** Germination ecology of halophytes. In tashs for vegetation science. Junk.W.Publishers, 2: 143-154.
- SMIRNOFF N., 1993-**The role of active oxygen in the response of plantes to water deficit and desiccation.New Phytol.125:27-58.
- STEWART, M., et LEE,S.,1974.**"Molecular breeding for abiotic stress tolerance :drought perspective".Proc park Acad Sci.,43 189-210
- TAIZ L. and ZEIGER E., 2002-**Plant physiology.3rd ed.Sinaner Associates Publishers,Sunderland,427p.
- TALAMALIA,A., DUTUIT, P.,LE THOMAS, A. et GORENFLOT,R., 2001.** Polygamie chez *Atriplex halimus* L. Life sciences,Vol .342 :107-113.

Références bibliographiques

- TARDIEU,F., and DREYER,E.1997**-Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse.In L'eau dans l'espece rural .Production vegetal et qualité de l'eau .edited by INRA-editions.Institut National de Recherche Agronomique.pp.41-59.
- TERASHIMA I., WONG S.C., OSMOND C.B. and FARQUHAR G.D.,1988**-Characterisation of non-uniform photosynthesis induced by abscisic acid in leaves having different mesophyll anatomies.Plant Cell physiol 29:p.385-394
- THOMPSON J.F., 1980**-Arginine synthetis,proline synthetis,and related processes.In the biochemistry of plants (MIFLIN B.J. eds) academic press New York.5:pp 375-403.
- TIEDEMAN.J.A.,CHOUKI.S.,1989**.Range management in Control Tunisia.Office of Livestock and Pastures,Ministry of Agriculture,Tunisia and Oregon State University,Corvallis OR (USA)
- TURNER N.C., 1979**-Droughth resistance and adaptation to water deficits in crop plant "in sress physiology in crop plants", (H.W.Mussel and R.C Staples,Ed.Wiley,(interscience) New York ,p.343-372.
- TURNER, N.C., 1986** "Adaptation to water deficits: a changing perspective".Aus.J.Plant physiol.13,175-190.
- TURNER N.C.,WALTER R.S and EVANS P.,1987**-Water relatios and osmotic ajustement of leaves and roots of Lupins in response to water deficits.Publised in Crop Sci.,27:p.977-983.
- TURNER N.C., O'TOOLE J.C., CRUZ R.T.,YAMBO E.B.AHMAD S.,NAMUCO O.S. and DINGKUHN M.,1986**-Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. II.Osmotic ajustement,leaf elasticity,leaf extension ,leaf death,stomatal conductance and photosynthesis.Field Crops Res.14:256-273.
- TURNER,R., et JONES,M.F., 2000** "Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaine and other compatible solutes".Curr.Oppin.Plant Biol.5.250-257.
- ULRICH,S.,GARCIA A.,RIZZO,C.A.,UDDIN,SL.,BARTOS,D.,SENADHIRA,T J., 2002** "Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice ,and the mechanisme of sodium :potassium selectivity differs between rice and wheat ".Plant cell Environ.,20 1167-1174

Références bibliographiques

- UPADHAYAYA M.K. and FURNES N.H., 1994**-Influence of lights intensity and water stress on surface characteristics of *Cynoglossum officinale*, *centourea* sp. And *Tragopogon* spp. *Can.J.Bot.* 72:1379-1386
- VASSEY T.L. and SHARKEY T.D., 1989**-Mild water stress of *phaseolus vulgaris* plants leads to reduced starch synthesis and extractable sucrose phosphate synthase activity. *Plant Physiol* 89:p.1066-1070
- VASSEY T.L., QUICK W.P., SHARKEY T.D. and STITT M., 1991**-Water stress, carbon dioxide and light effects on sucrose phosphate synthase activity in *phaseolus vulgaris*. *Physiol Plant* 81: p.37-44
- VENORA G. and CALCAGNO F., 1991**-Study of Stomatal parameters for selection of drought resistance varieties in *Triticulum durum* Desf. *Euphytica* 57:p275-283.
- VILAX, E.J., 1963**. Les cahiers de la recherché agronomique N°17. Ed : INRAT-Rabat, 641p.
- WAINWRIGHT, S.J., 1980**. Plants in relation to salinity. *Adr Bo Res.*, Vol. 8:221-222
- WANG Z. and STUTTLE G.W., 1992**-The role of carbohydrates in active osmotic djustement in apple under water stress. *J.Am.Soc.Hort.Sci.* 117:816-823.
- WARD D.A and BUNCE J.A, 1987**-Abscisic Acid Simultaneously Decreases Carboxylation Efficiency and Quantum Yield in Attached Soybean Leaves.....*J.Exp.Bot.*...,38:1182-1192.
- WESTGATE M.E. and BOYER J.S., 1984**-Transpiration and growth-induced water potentials in maize. *Plant physiology* 74: p.882-889.
- WILLIS, B.J., BEGG, T.S.C. et BROSNAN, M., 1990**. Forage shrubs for the south Island dry hill country: 1. *Atriplex halimus* L.(Mediterranean Saltbusher) proceedings of the New Zealand gross land association . Eds. New Zealand , Vol.52: 161-165.
- WHITE, R.H., WAISE, D.R. et FROMMER., 1996**. Preliminary evaluation of the flammability of native and ornamental plants with the cone colorimeter . Papers presented at the twenty-first international conference on fire safety clavion hotel San Francisco international airport Millbrae, California USA January 8. Vol.12 :256-265.

Références bibliographiques

-ZHANG X., PEI D. and CHEN S., 2004-Root growth and soil water utilization of winter wheat in the north china plain.Hydrological processes 18:2275-2287.

-ZHANG WW, YANG HQ, YOU SZ, FAN SL, RAN K.,2015.Physiol.Biochem.254-260, doi: 10.1016/j. Plaphy. 08.004.

-ZID E., 1982. Relations hydriques dans les feuilles de citrus aurantium: Effets de l'âge et de la salinité. Rev .FAC. Sc.Tunis, 2p 195-205.

-ZOOFOURI, M.S., 1993. Conférences du milieu et réponses de quelques espèces exotiques introduites en Tunisie prés horienne, Thèse de doctorat, Sciences, Université Aix-Marseille,111-200.

Annexes

Annexe 01 : Préparation du système hydroponique à partir du polystyrène.



Annexe 02 : Essai d'installation de la plante



Annexes

Annexe 03 : Aspect des plantules durant l'acclimatation



Annexe 04 : Aspect de plantules de l'écotype de Tamanrasset après l'application du stress hydrique (PEG-6000).

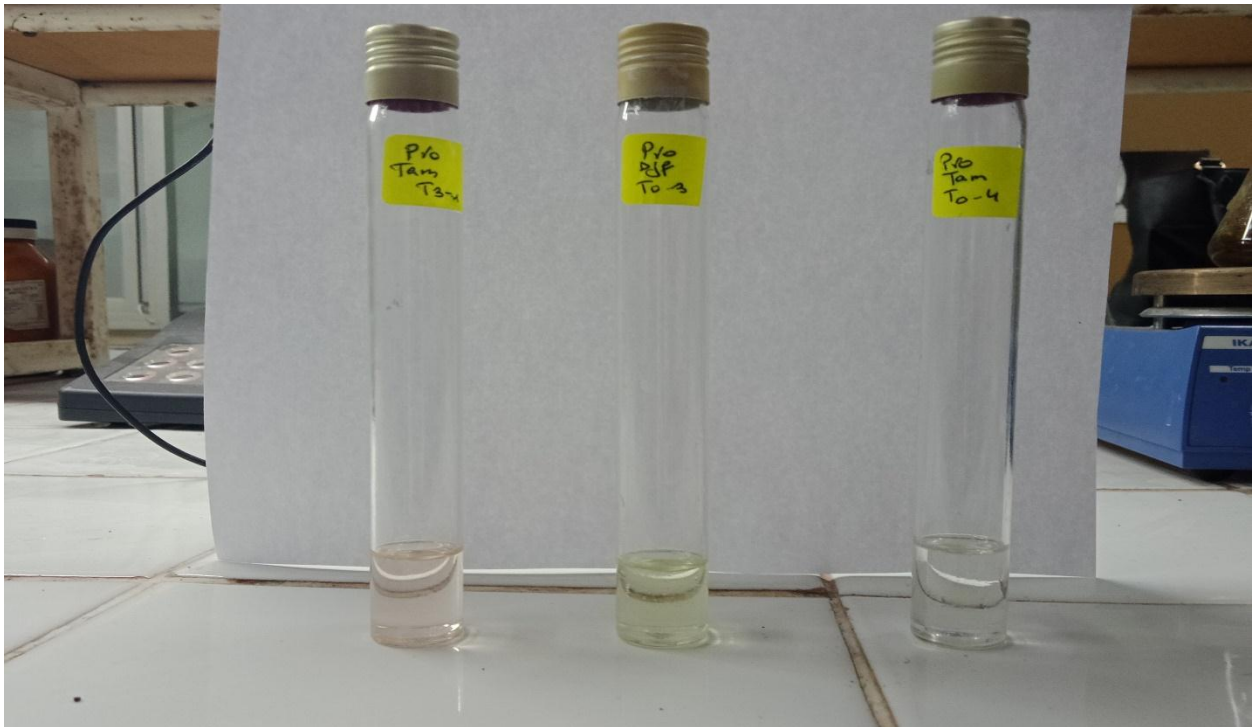


Annexes

Annexe 05 : Concentration de la Chlorophylle dans les feuilles des plantules stressées.

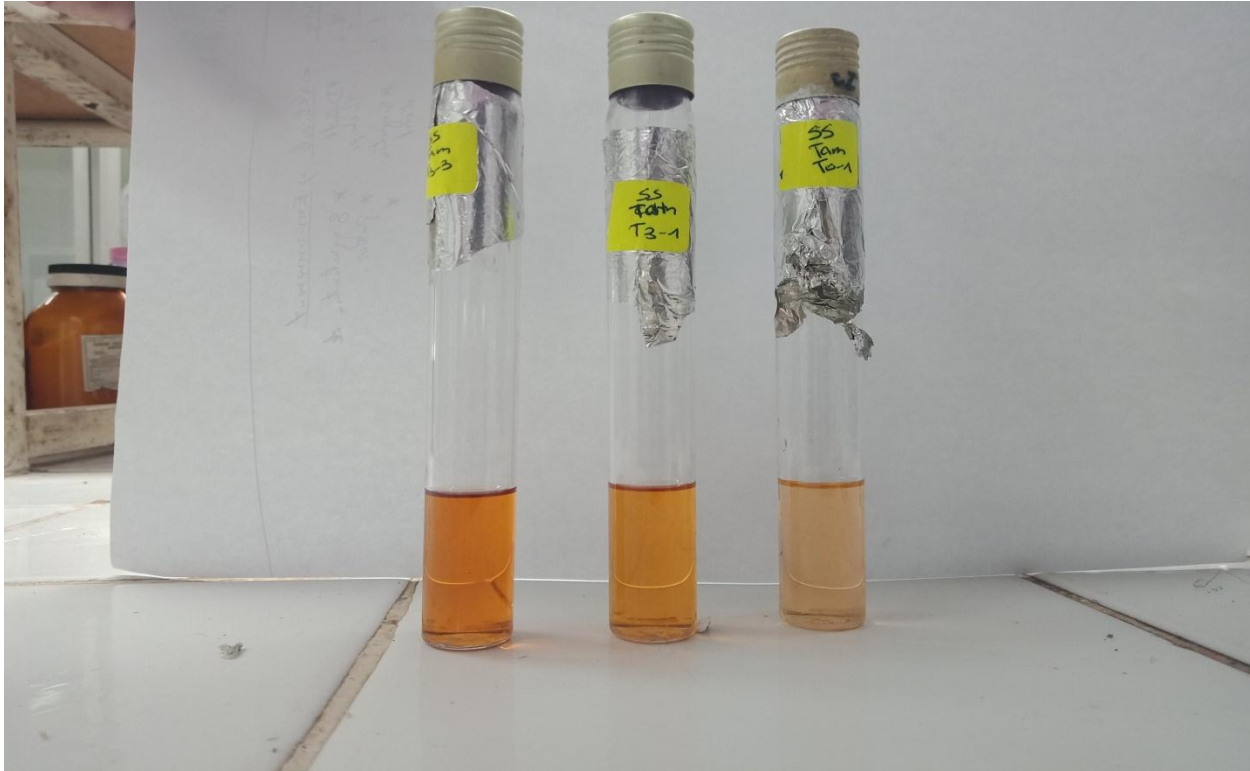


Annexe 06 : Concentration proline dans les feuilles de plantules stressées.



Annexes

Annexes 07: Concentration en sucres solubles



Annexe 08 :Analyses de la variance chlorophylle (a) Tamanrasset

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T2	0,6977		47,489	<0 ,001	Yes
T1 vs T0	0,968		38,775	<0,001	Yes
T1 vs T3	0,714		26,231	<0,001	Yes
T3 vs T2	0,263		32,108	0,325	No
T3 vs T0	0,254		22,452	0,105	No
T0 vs T2	0,00935		20,0773	0,957	No

Annexe 09 :Analyse de la variance chlorophylle (a) Djelfa

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T2	1,075		47,908	<0,001	Yes
T1 vs T0	0,725		35,334	0,007	Yes
T1 vs T3	0,667		25,135	0,004	Yes
T3 vs T2	0,408		33,414	0,078	No
T3 vs T0	0,0576		20,483	0,739	No
T0 vs T2	0,350		22,781	0,073	No

Annexes

Annexe 10 :Analyse de la variance chlorophylle (b) Tamanrasset

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T0 vs T3	0,534		47,393	0,002	yes
T0 vs T1	0,110		31,530	0,544	No
T0 vs T2	0,00587		20,0752	0,959	No
T2 vs T3	0,528		36,769	0,002	Yes
T2 vs T1	0,105		21,342	0,363	No
T1 vs T3	0,423		25,863	0,002	Yes

Annexe 11 :Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle (b) Djelfa

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T0 vs T3	0,787		414,129	<0,001	Yes
T0 vs T2	0,718		312,336	<0,001	Yes
T0 vs T1	0,377		26,049	0,001	Yes
T0 vs T3	0,410		37,366	<0,001	Yes
T0 vs T2	0,342		25,870	0,002	Yes
T2 vs T3	0,0683		21,336	0,365	No

Annexe 12 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle total Tamanrasset

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T2	1,948		412,63	<0,001	Yes
T1 vs T3	1,785		311,513	<0,001	Yes
T1 vs T0	0,853		26,268	<0,001	Yes
T0 vs T2	1,094		37,381	<0,001	Yes
T0 vs T3	0,931		26,283	<0,001	Yes
T3 vs T2	0,163		20,982	0,502	No

Annexe 13 :Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle total Djelfa

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T2	1,261		46,185	0,004	Yes
T1 vs T3	0,639		32,973	0,131	No
T1 vs T0	0,326		21,407	0,340	No
T0 vs T2	0,934		34,210	0,029	Yes
T0 vs T3	0,312		21,346	0,360	No
T3 vs T2	0,622		23,052	0,052	No

Annexes

Annexe 14 : Analyse de la variance de la teneur en proline (Tamanrasset)

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T0 vs T1	0,0455		410,928	<0,001	Yes
T0 vs T2	0,0386		39,289	<0,001	Yes
T0 vs T3	0,0152		23,944	0,011	Yes
T3 vs T1	0,0303		37,277	<0,001	Yes
T3 vs T2	0,0235		25,638	<0,001	Yes
T2 vs T1	0,00682		21,533	0,290	No

Annexe 15 : Analyse de la variance de la teneur en proline (Djelfa)

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T0	0,0352		48,457	<0,001	Yes
T1 vs T3	0,0340		38,540	<0,001	Yes
T1 vs T2	0,00450		21,080	0,453	No
T2 vs T0	0,0307		37,968	<0,001	Yes
T2 vs T3	0,0295		28,068	<0,001	Yes
T3 vs T0	0,00121		20,331	0,817	No

Annexe 16 : Analyses de la variance sucres solubles Tamanrasset

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T0	0.766		412,407	<0,001	yes
T1 vs T3	0.524		38,480	<0,001	yes
T1 vs T2	0.332		25,381	0,002	yes
T2 vs T0	0.434		37,027	<0,001	yes
T2 vs T3	0.191		23,100	0,044	yes
T3 vs T0	0.242		23,927	0,014	yes

Annexe 17 : Analyse de la variannce sucres solubles Djelfa

Comparaison	Differ of means	P	q	P	p<0.05
T1 vs T0	0,328		45,305	0,009	Yes
T1 vs T2	0,0928		31,501	0,550	No
T1 vs T3	0,0331		20,537	0,709	No
T3 vs T0	0,294		34,768	0,010	Yes
T3 vs T2	0,0597		20,966	0,504	No
T2 vs T0	0,235		23,802	0,016	Yes

TABLE DE MATIERE

Introduction	1
Partie I	
Chapitre I: Genre <i>Atriplex</i>	
1.Présentation du genre <i>Atriplex</i>	3
2.Répartition dans le monde.....	3
2.1-Répartition en Afrique.....	4
2.2-Répartition en Algérie.....	5
3.Potentiel écologique et économique des <i>Atriplex</i>	6
3.1-Potentiel fourrager.....	6
3.2-Mise en valeurs des sols.....	6
3.3-Mise en valeur des sols salés.....	6
3.4-Potentiel économique.....	8
Chapitre II: Représentation de l'espèce <i>Atriplex halimus</i>	
1.Origine et répartition géographique.....	9
2.Classification et nomenclature	9
2.1-Noms vernaculaires.....	10
3.Description botanique et morphologique	10
4.Characteristiques botaniques.....	14
5.Techniques de propagation et plantation.. ..	15
6. Potentialités d' <i>Atriplex halimus</i> L.	15
6.1-Potentiel agronomique.....	15
6.2-Potentiel écologique.....	17
6.3-Potentiel économique.....	18
6.4-Potentiel médicinal.....	18
Chapitre III : Stress abiotiques	
1.Stress thermique.....	20
2.Stress salin.....	20
3.Stress hydrique.....	21
3.1-Généralités sur le stress hydrique et la sécheresse.....	21
3.1.1-Sécheresse.....	22
4.Consequences du déficit hydrique sur les plantes.....	23
4.1-Action sur le métabolisme glucidique.....	23
4.2- Action sur le métabolisme protidique.....	24
4.3- Action sur le métabolisme lipidique.....	24
4.4-Actions sur l'intégrité membranaire.....	24
4.5-Action sur les feuilles	25
4.6-Action sur la transpiration	25
4.7-Action sur la photosynthèse	25
4.8-Action sur la température interne	26
4.9-Action sur la croissance et le développement	26
5. L'eau, le sol et les plantes.....	28
5.1-Importance de l'eau pour la croissance et le développement des végétaux.....	28
5.2-L'eau dans le sol.....	28
5.3-Potentiel hydrique des plantes.....	29

5.4-Importance et nécessité de la transpiration.....	29
6. Différentes formes de réponses des plantes au stress hydrique.....	30
6.1-Les mécanismes d'adaptation phénologiques, physiologiques et morphologiques.....	30
6.1.1-L'évitement ou le contournement.....	30
6.1.1.2-L'esquive.....	30
6.1.1.3-La tolérance à la dessiccation.....	31
6.2-Mécanismes biochimiques.....	32
6.2.1-Ajustement Osmotique.....	32
6.2.2-Synthèse d'osmoprotecteurs.....	32

Partie II

Chapitre I : Matériel et Méthodes

1.Origine du matériel végétal.....	34
2.Lieu d'expérimentation.....	35
3.Germination des graines.....	35
3.1-Préparation des plantules.....	37
4. Préparation de la solution PEG6000.....	39
5.Dispositif Expérimental.....	40
6.Paramètres étudiés.....	41
6.1-Paramètres de germination.....	41
6.1.1-Taux de germination.....	41
6.1.2-Cinétique de la germination.....	41
6.1.3-Vitesse de germination.....	41
7.Analyses physiologiques.....	42
7.1-Teneur relative en eau (TRE).....	42
7.2-Dosage des pigments chlorophylliens.....	42
7.3-Dosage de caroténoïdes.....	43
8.Analyses biochimiques.....	43
8.1-Dosage de la proline.....	43
8.2-Dosage des sucres solubles totaux.....	44
9.Analyses statistiques.....	45

Chapitre II : Résultats et Discussion

1.Essai de la germination des graines de <i>A. halimus L.</i>	46
1.1-Taux de germination.....	46
1.2-Cinétique de la germination.....	47
2.Effets du stress hydrique sur les paramètres physiologiques chez <i>A. halimus L.</i>	48
2.1-Teneur relative en eau.....	48
2.1.1-Ecotype de Tamanrasset.....	48
2.1.2-Ecotype de Djelfa.....	49
2.1.3-Différence de teneurs relatives en eau chez les 2 écotypes.....	50
2.2-Teneur en pigments chlorophylliens (a).....	51
2.2.1-Ecotype de Tamanrasset.....	51
2.2.2-Ecotype de Djelfa.....	52
2.2.3-Différence de la teneur en pigments chlorophylliens (a) chez les 2 écotypes.....	53
2.3-Teneur en pigments chlorophylliens (b).....	54
2.3.1-Ecotype de Tamanrasset.....	54
2.3.2-Ecotype de Djelfa.....	55

2.3.3-Différence de la teneur en pigments chlorophylliens (b) chez les 2 écotypes.....	55
2.4-Teneur en pigments chlorophylliens totaux.....	56
2.4.1-Ecotype de Tamanrasset.....	56
2.4.2-Ecotype de Djelfa.....	57
2.4.3-Différence de la teneur en pigments chlorophylliens totaux chez les 2 écotypes.....	57
2.4.4-Teneur en caroténoïdes.....	58
3-Effets du stress hydrique sur les paramètres biochimiques.....	58
3.1-Teneur en proline.....	59
3.1.1-Ecotype de Tamanrasset.....	59
3.1.2-Ecotype de Djelfa.....	60
3.1.3-Différence de la teneur en proline chez les 2 écotypes.....	61
3.2-Effets sur les sucres solubles.....	62
3.2.1-Ecotype de Tamanrasset.....	62
3.2.2-Ecotype de Djelfa.....	63
3.2.3-Différence de la teneur en sucres solubles des 2 écotypes.....	64
Conclusion et Perspectives.....	66
Références bibliographiques.....	68
Annexes.....	88