

INTRODUCTION

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation (**Iptrid, 2006**). 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (**Mermoud, 2006**). En Afrique, près de 40 M d'hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale (**Iptrid, 2006**). Les sols salins sont très répandus à la surface du globe, leur salinité constitue l'un des principaux problèmes du développement agricole (**Beldjoud et Daoud, 2002**).

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (**Zid et Grignon, 1991**). L'introduction des espèces tolérantes au stress salin est l'une des techniques utilisées pour faire face à ce problème.

La capacité d'évaluer les performances des plantes cultivées ou spontanées subissant un stress salin est très importante au niveau des programmes de recherche qui visent la réhabilitation et l'amélioration de la production en région semi-aride et aride. De nombreux chercheurs travaillent sur la réponse des plantes à la salinité afin de produire le maximum de biomasse ou de graines en condition de stress salin.

L'identification et la diversification des espèces qui présentent de nombreuses possibilités d'utilisation (médicinale, fourragère, matériaux à haute valeur économique, source de substances bioactives, dessalement des sols et phytoremédiation) adaptées aux conditions contraignantes de ces milieux passent par la compréhension des mécanismes physiologiques et morphologiques impliqués dans leur tolérance à la salinité.

En réponse au stress salin, les plantes simulent des changements significatifs que ce soit sur le plan morphologique ou physiologique.

Parmi ces espèces : *Pistacia atlantica* Desf. qui appartient à la famille des Anacardiacees. Les pistachiers sont dioïques, pour fructifier il est nécessaire de lui fournir une pollinisation croisée, il faut donc planter un pied mâle et un pied femelle.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet du stress salin sur, le taux de germination des graines, et sur les caractères morpho-physiologiques du *Pistacia atlantica* Desf.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE L'ESPECES

1.1. Historique

Le fameux bétoum des Dayas remonte aux années 1700. Dans sa publication « flora atlantica » parue en 1798, le botaniste français René Louiche Desfontaines décrira et présentera, pour la première fois au monde scientifique, le pistachier de l'Atlas. Ce dernier fut souvent confondu avec *P. térébinthus*; en 1909, LAPIE l'appelait «Térébinthe » (**Monjauze, 1980**).

Le pistachier est une Angiosperme dicotylédone dioïque appartenant à la famille des Anacardiacees. L'étude monographique du genre comprend 4 sections et 11 espèces ; *Pistacia vera* L. est la seule espèce produisant des fruits comestibles (**Joley, 1979**). Il est probablement originaire d'Asie centrale (**Whitehouse, 1957**).

1.2. Répartition du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)

1.2.1. Dans le monde

Pistacia atlantica Desf. Ainsi que ses sous-espèces : *Cabulica*, *Mutica*, *kurdica* et *Atlantica*, occupent une aire très vaste englobant le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Lybie, la Turquie, la Syrie, la Jordanie, le Palestine occupé, l'Iran et l'Afghanistan (**Kaska, 1996**).

Khalif (1995), indique que la région méditerranéenne est la plus riche en espèces du pistachier et compte plusieurs espèces telles que :

- * Le lentisque : *Pistacia lentiscus*.
- * Le bétoum : *Pistacia atlantica*.
- * Le térébinthe : *Pistacia terebinthus*.
- * Le pistachier palestinien : *Pistacia palestinae*.

Le Pistachier de l'Atlas est associé dans le Proche-Orient aux *Quercus ithaburensis* (chêne vélani), en Afrique du Nord à *Ziziphus lotus* (jujubier sauvage) (**Seigne, 1985**).

1.2.2. En Algérie

Les populations des pistachiers : *P. lentiscus*, *P. terebinthus*, *P. atlantica* se trouvent à l'état de groupements isolés concentrés particulièrement dans les régions des Dayas entre Djelfa et Tiaret en passant par Laghouat (**Monjauze, 1982**). **Monjauze (1982)**, rapporte que le pistachier de l'Atlas se trouve entre Mascara, Sidi Bel Abbès, Saida, M'sila, Biskra, au sud de Laghouat, au Mزاب, à Ouargla, dans le secteur de Sahara et dans le Hoggar.

Baba Aissa (2000), ajoute que le pistachier de l'Atlas est une espèce nord-africaine, endémique, relativement commune dans toute l'Algérie (avec une prédilection pour les lieux arides), mais moins répandue dans le Sahara: Hassi R'mel, Hoggar et Tassili.

1.3. Systématique

Selon **Emberger (1960)**, *Pistacia atlantica* Desf est classé taxonomiquement de la façon suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiosperme

Classe : Dicotylédones

Ordre : Térébinthales

Famille : Anacardiaceae

Sous-famille : Rhoiadeae

Genre : *Pistacia*

Espèce : *Pistacia atlantica* Desf.

1.4. Caractéristiques morphologiques

1.4.1. Le port

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) ; *elbetoum*, *botma*, *betouma* ou *btouma* en Arabe local et *Iggh* en berbère, est un bel arbre (**Monjauze, 1980**), son allure évoque celle du frêne. Dans les bonnes conditions, le bétoum peut atteindre 25 mètres de hauteur et 1 mètre de diamètre au niveau du tronc (**Monjauze, 1980**). Le port est arrondi, à ramification étalée (**Baba Aissa, 2000**) (Figure 1.1).



Figure 1.1 : Port botanique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)

1.4.2. Les feuille

Les feuilles du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) sont caduques. Elles sont composées, alternes et mesurant jusqu'à 12 cm de longueur totale (Figure 1.2) (**Sahli, 1997**).



Figure 1.2 : Feuille du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)

1.4.3. Les fleurs

D'après **Monjauze (1980)**, le pistachier de l'Atlas est un arbre dioïque, dont on distingue les fleurs mâles et les fleurs femelles portées par des pieds différents. Sa pollinisation est anémophile, rarement entomophile.

La floraison a lieu en été (**Baba Aissa, 2000**), les fleurs sont apétales de couleur rougeâtre ; les fleurs femelles sont en grappes axillaires à calice très réduit et à ovaire de 3 stylets. Les fleurs mâles sont des grappes terminales à calice de 3 à 4 sépales et 5 à 7 étamines (**Monjauze, 1980**). **Morsli (1992)**, a identifié quatre stades phénologiques pour la floraison mâle (Figure 1.3) et cinq pour la floraison femelle (Figure 1.4) :

- Floraison mâle

Inflorescence groupée

Pré-déhiscence des inflorescences

Déhiscence des inflorescences

Fanage des inflorescences.



Figure 1.3 : Fleurs mâles du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)
(Yaaqobi, 2005).

- Floraison femelle

Fleurs femelles non apparentées

Début d'apparition des fleurs

Fleurs apparentées

Fleurs femelles en cours de pollinisation

Fleurs femelles fécondées.



Figure 1.4 : Fleurs femelles du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)
(Yaaqobi, 2005).

1.4.4. Le fruit

Les fruits sont appelés El Khodiri par les populations locales, appellation due à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 2001). Le fruit est une drupe

mesurant entre 6 à 8 mm de long sur 5 à 6 mm de large (**Ozenda, 1977**). Il est ovale et quelque fois trapu (Figure 1.5). Il atteint sa maturation en Septembre (**Monjauze, 1980**).



Figure 1.5 : Fruits du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) (**Yaaqobi, 2005**).

1.4.5. Le système racinaire

Khichane (1988), montre que le système racinaire du pistachier de l'Atlas est très vigoureux, pouvant atteindre 6 mètres de profondeur ce qui lui assure une bonne fixation au sol. Il présente un type d'architecture bien hiérarchisée, comportant un épais pivot vertical, orthogéotrope à croissance rapide et de fines racines latérales plagiotropes à croissance lente et peu durable. La croissance est lente et ne produit qu'à partir de 5 à 7 ans (**Baba Aissa, 2000**).

1.5. La multiplication

Comme la plupart des plantes, le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) peut se multiplier par deux modalités de propagation qui s'opposent par de nombreuses caractéristiques : la reproduction sexuée et la reproduction asexuée. Selon **Boxus (1995)**, la reproduction par voie sexuée donne souvent naissance à la création des types génétiques nouveaux par recombinaison des gènes, lors de la fusion des gamètes. Au contraire, la multiplication végétative faisant intervenir seulement le processus de mitose reproduira des individus conformes aux parents.

1.5.1. Reproduction sexuée ou générative

Selon **Bonne et al. (1986)**, la reproduction sexuée est souvent utilisée dans les stratégies d'amélioration. Elle permet la création d'un matériel nouveau, présentant par rapport au matériel disponible une supériorité qualitative et quantitative, par le biais de la recombinaison des gènes portés par les deux parents. La germination des semences de *Pistacia atlantica* Desf. Passe pour être difficile et capricieuse (**Khelil, et Khellal, 1980**). Cette difficulté est due à plusieurs facteurs qui sont liés, soit à la semence elle-même, soit aux conditions de récolte et de conservation des graines. La maturité de la semence joue un rôle important, car une immaturité à la récolte se traduit généralement par une faculté germinative faible et surtout par une inaptitude à la conservation (**Muller, 1986**). D'après **Monjauze (1980)**, la semence du pistachier de l'Atlas est très huileuse pour être conservée plus d'un printemps, mais conservée en chambre froide, elle peut rester quelques années. Cependant, **Khelil et Khellal (1980)**, affirment que les graines du bétoum perdent leur faculté germinative très rapidement après quelques mois de conservation au frais. D'après **Morsli (1992)**, la reproduction sexuée de cette espèce aboutit le plus souvent à la production de fruits parthénocarpiques. Ce phénomène se traduit sur le terrain par une diminution de semences fertiles.

Les graines de feuillus présentent souvent des phénomènes de dormance, qui s'opposent à leur germination, c'est le cas de la graine du pistachier, qui est affectée d'une dormance embryonnaire associée à une légère inhibition tégumentaire (**Muller, 1992**).

Le froid est un facteur important pour la levée de la dormance (**Mazliak, 1982**). Cela a été déjà signalé par **Monjauze (1968)** disant que, les graines du bétoum exigent une stratification, et elles ne doivent être semées qu'à une température moyenne ayant atteint au moins 12° C. Il ajoute aussi que le pourcentage de la germination est globalement au maximum après 30 jours de la stratification, mais la vitesse de germination augmente graduellement avec la durée du traitement au froid appliqué.

D'après **Chaussat et Bigot (1980)**, le traitement à l'acide gibbérellique permet généralement une meilleure germination des embryons dormants. **Gaspar (1994)**, affirme qu'une bonne germination a été observée chez les graines du pistachier traitées avec 50 ppm de l'AG3 et stratifiées pendant 36 jours.

1.5.2. Reproduction asexuée ou végétative

La reproduction asexuée est basée sur deux principes : la totipotence cellulaire et le pouvoir de régénération (la dédifférenciation puis la différenciation) (**Martin, 1981**). **Margara (1989)**, ajoute que la propagation végétative, quelles que soient les modalités, implique toujours la formation de méristèmes nouveaux par le phénomène de régénération.

Le pistachier d'atlas sont multiplier par bouture ou par greffage sur des lentisques ou térébinthes.

Les horticulteurs ont depuis des siècles, développé des techniques artificielles de multiplication végétative comme le bouturage, le marcottage et le greffage. En reproduisant des individus génétiquement identiques à la plante-mère, ils créent ainsi des clones homogènes **Boxus (1995)**. **Boxus (1995)**, note que l'introduction des techniques de multiplication "*in vitro*" ou "micropropagation" a bouleversé complètement la reproduction végétale. En effet, partant d'un fragment de plante placé en conditions plus ou moins aseptiques, la plante-mère peut être multipliée en un an en plusieurs millions d'exemplaires, et cela à l'infini.

1.6. Exigences pédo-climatiques du *Pistacia atlantica* Desf.

1.6.1. Exigences pédologiques

De point de vue édaphique, *Pistacia atlantica* Desf. Se trouve planté sur une large gamme de sols, tels que les sols gypso-calciques, préférant ceux profonds et bien drainés (**Woodroof, 1979**). **Khalif (1959)**, a noté que le bétoum préfère cependant des sols argileux et argilo-limoneux (Daya à *Ziziphus lotus*), mais aussi les alluvions des plaines (**Seigne, 1985**).

1.6.2. Exigences climatiques

Selon **Monjauze (1968)**, le pistachier de l'Atlas ne serait à sa place que dans la moitié de l'étage aride tempéré et de l'étage semi-aride, se trouvant généralement dans les dayas. **Maggs (1973)**, a recommandé de retenir l'isotherme 5° C comme limite pour la culture du pistachier.

D'après **Evreinoff (1964)**, l'altitude d'implantation du pistachier de l'Atlas varie de 100 à 1200 m d'altitude. Il semble que l'altitude comprise entre 600 à 1200 m permet un meilleur développement de l'espèce. Elle se contente d'une faible pluviométrie de l'ordre de 150 mm et parfois moins (**Benhssaini et Belkhodja, 2004**).

Monjauze (1980), note que le bétoum ne peut se développer que sous une tranche pluviométrique allant de 250 à 600 mm.

1.7. Intérêts de l'espèce

Pistacia atlantica est une essence très plastique dans le milieu de l'atlas saharien est révélatrice des potentialités en matière de phytogénétiques, néanmoins sa présence dans le sud-ouest joue un rôle non négligeable dans les équilibres des écosystèmes sahariens d'une part et dans le traitement de nombreuses maladies d'autre part. Elle a donc un double aspect : écologique (lutte contre la désertification et l'érosion des sols etc) et socio-économique (cuisson, chauffage, intérêts thérapeutiques) (**Benaradj et al, 2015**).

1.7.1. Intérêts écologiques

Le pistachier de l'Atlas est l'espèce la plus représentée de la steppe pastorale et des zones arides en raison de sa rusticité et de sa résistance à la sécheresse. Le bétoum occupe généralement les sols peu profonds grâce à son système racinaire puissant. Il contribue favorablement à la lutte contre l'érosion et la désertification qui menace constamment les régions arides et semi-arides (**Aoudjit et Mouissa, 1997**). **Belhadj (2001)**, ajoute que *Pistacia atlantica* Desf. Est utilisée pour la fixation des dunes et ce comme brise-vents.

Le pistachier de l'Atlas tolère parfaitement les conditions de salinité les plus extrêmes, donc cette espèce peut valoriser de larges régions arides et semi-arides où le problème de salinité s'accroît de plus en plus (**Whitehouse, 1957**).

1.7.2. Intérêts socio-économiques

C'est une espèce utilisée comme porte-greffe de *Pistacia vera* L., elle est considérée comme la plus résistante à l'asphyxie racinaire par rapport aux autres espèces du genre *Pistacia* (**Monastra et al, 1997**).

Le bétoum peut être utilisé comme espèce pastorale surtout en période de disette car ses feuilles constituent un apport en unités fourragères important dont la valeur nutritive est estimée à 0.35 UF et 41g de matière azotée digestible par kg de matière sèche (**Aoudjit et Mouissa, 1997**).

Selon **Ozenda (1977)**, le bois du bétoum est largement utilisé comme combustible seulement sa dureté le met quelque peu à l'abri des coupes.

Les populations locales utilisent les semences du bétoum à des fins culinaires et médicinales (**Belhadj, 2001**). Le même auteur ajoute que le fruit est riche en huile très

énergétique, comestible, a un goût très proche de celui du beurre. L'écorce produit une résine mastic qui exsude naturellement de façon abondante par temps chaud. Très utile comme antiseptique, antifongique et dans des maladies abdominales (**Baba Aissa, 2000**).

Belhadj (2001), trouve que le fruit séché préparé en tisane aurait également une action contre le diabète.

CHAPITRE II

SALINITE ET REPOSE DES PLANTES AU STRESS SALIN

2.1. La salinité des sols

2.1.1. Généralités sur la salinisation des sols

Les sols salés sont caractérisés généralement par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux. Les sols salés se caractérisent par des teneurs élevées de sels solubles dans la solution du sol (**Charreau et Fauck, 1965**).

Selon **Calvet (2003)**, les sols salés et les sols sodiques, possèdent en effet une phase liquide très riche en sel dissous qui leur confère des propriétés souvent défavorables, en particulier à l'égard des plantes. Ces sols salés représenteraient sur la planète une superficie de l'ordre de 260 millions à 340 millions d'hectares, en fonction de l'intensité du phénomène pris en compte, très répartis dans les régions arides à semi-aride.

La salinité est par définition l'accumulation des sels solubles dans le sol ou sur sa surface (**Benchallal et al, 2009**). Selon **Marlet et Job (2006)**, la salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...).

La salinité varie au cours du temps en fonction des apports d'eau douce et des conditions hydrodynamiques de transport et mélange. Les apports d'eau douce par les fleuves ou les précipitations ont tendance à diminuer la salinité, alors qu'à l'inverse, l'évaporation qui dépend de la vitesse du vent, de l'humidité de l'air (un air sec accroît l'évaporation), la nature du sol et sa surface aura tendance à l'augmenter (**Paillet et Lazure, 2011**).

2.1.2. Causes de la salinisation des sols

- **La salinisation primaire** : 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. On parle alors de salinisation "primaire", due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (**FAO, 2006**).

Selon **Citeau et al (2008)** la salinisation primaire est liée à la proximité de l'océan ou à l'altération de roches salines.

- **La salinisation secondaire** : 20% des terres salinisées, soit près de 15 M ha sur le continent africain, ont une origine « anthropique ». On parle alors de salinisation “secondaire”, induite par l’activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l’irrigation (FAO, 2006). Selon Citeau et al (2008), la salinisation secondaire d'origine anthropique, liée principalement à la pratique de l'irrigation avec des eaux légèrement salées.

2.1.3. La genèse des sols salins

Duchaufour (1983), signale que la formation d’un sol salin résulte généralement de l’accumulation de sels dans les horizons de surface. Ce processus dépend essentiellement de deux conditions :

a. Une condition climatique où la demande évaporative est grande conduisant ainsi à des concentrations d’ions souvent très élevées. Ces concentrations interviennent dans la pédogenèse par la formation de minéraux résultant de l’évaporation et de cristallisation des sels dissous.

b. Une condition de station : concernant la présence obligatoire d’une source de sel. Les sels les plus fréquemment présents dans la solution du sol des sols salés correspondent aux cations : sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), et aux anions : carbonates (CO_3^{2-}), sulfates (SO_4^{2-}), chlorure (Cl^-), nitrates (NO_3^-).

Les sels présents dans la solution du sol ont trois origines principales (**Calvet, 2003**):

- L’altération des minéraux est la source naturelle dominante.
- Le transport dans le sol d’eaux chargées en sels minéraux est une source (nappe salée) ainsi que l’intrusion d’eaux marines dans les zones côtières.
- Des apports parfois importants sont aussi le résultat de mauvaises pratiques d’irrigation avec des eaux saumâtres et d’épandages de divers déchets liquides d’origine agro-industrielle.

Selon l’origine de ces sels, on peut distinguer une salinisation naturelle, que l’on peut dénommer primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l’irrigation que l’on appellera secondaire (**Robert, 1996**).

2.1.4 Les conséquences de la salinisation des sols

L’excès de sel modifie principalement les propriétés physico-chimiques et biologiques dans le sol. Les effets chimiques sont liés à la concentration des solutions et à la valeur du pH.

Selon **Stengel et Gelin (1998)**, il existe deux cas spectaculaires du changement du pH du sol qui peuvent survenir au phénomène de la salinisation :

a. Le premier est celui de forte augmentation du pH lorsque les sels qui s'accumulent sont des bicarbonates ou carbonates de sodium (processus d'alcalinisation), dans ce cas la matière organique du sol est solubilisée, la fertilité est alors très réduite car de nombreux éléments indispensables à la plante sont totalement insolubilisés.

b. Le cas inverse est celui des sols acides ex : sols sulfatés acides, dont le pH peut descendre de 2 à 4 à cause de l'accumulation des sulfures à faible profondeur.

La dégradation physique des sols peut intervenir pour de très faibles teneurs en sels alors que la dégradation chimique et les effets biologiques sont encore quasi nuls (**Robert, 1996**). Dans le cas des sols riches en sodium, les effets sur les propriétés physiques deviennent prépondérants et s'expliquent par le rôle spécifique de cet élément sur les argiles.

D'après **Donahue (1958)**, le sodium présent en solution va s'échanger sur les sites externes des feuillettes, par son effet sur la couche diffuse des argiles ; l'argile aussi bien que la matière organique est dispersée, ce qui provoque un tassage serré des particules de sol. Ce tassage des particules réduit le volume et le nombre des espaces poreux, et de ce fait, l'eau et l'air ne peuvent se mouvoir rapidement dans le sol.

Les densités des populations microbiennes dans les sols salés relativement plus faibles que dans les sols sains (**Chaussod et al, 1986**). **Dommergue (1962)**; mentionne que la baisse de la microflore totale ne s'observe qu'à des niveaux de salinité relativement élevés.

Les minéralisations, primaire et secondaire sont peu actives en sols salés, le primaire peut être relativement actif lorsque la matière organique apportée est facilement biodégradable. L'humification en milieu salé aboutit à des composés peu poly-condensés hydrosolubles ou pseudo solubles, ce qui défavorise la stabilité structurale et l'alimentation des cultures (**Mallouhi et Jacquin, 1986**).

2.2. Le stress salin

2.2.1. Définition du stress salin

Le stress est fondamentalement un concept de mécanique, défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet. En réponse au stress, l'objet oppose une déformation, ou un changement de dimensions. Il est difficile

de définir aussi précisément le stress en biologie. la terminologie employée en physique peut et devrait être appliquée aux organismes vivants, mais en pratique, le concept de stress en biologie contient des connotations plus générales. La définition, peut-être la plus pertinente d'un stress biologique, serait «une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner » (**Shakespeare, 2003**).

Chez les végétaux, le stress peut être représenté comme étant une agression ou contrainte provoquée sur une plante par des variations des facteurs climatiques ou liés au sol. On parle par exemple : de stress hydrique (manque d'eau), de stress thermique (chaud ou froid), de stress lumineux (intensité lumineuse excessive) et de stress salin : brusque élévation de la teneur en sel dans le milieu racinaire (**Mazoyer, 2002**).

2.2.2. Effet de stress salin sur les végétaux

La salinité du sol est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affectent la production agricole dans les régions arides et semi-arides (**Djekoun, 2010**), est un problème majeur affectant l'agriculture dans le monde (**Carillo, 2011**). Processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol. Les sels provenant de l'eau d'irrigation s'accumulent dans le sol en provoquant l'augmentation de la pression osmotique et peuvent conduire à la stérilisation du sol. D'une façon générale, la relation entre le rendement relatif des cultures et la salinité est à peu près linéaire sur la base de comparaison entre le rendement de la même culture en sols salé et non salé (**Masmoudi, 2011**).

2.2.3. Effet sur l'absorption

Le stress salin influence la croissance à travers de nombreuses facettes du métabolisme, tel que l'absorption des éléments nutritifs et leur distribution au sein de la plante (**El-Iklil et al, 2001**), l'altération de la photosynthèse et de la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques.

En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^- et NO_3^- , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les chlorures (Cl^-) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en 29 plus grandes quantités que le Na^+ (**Rahmoune et al, 2000**).

Le chlore, en entrant en compétition avec le NO_3^- , inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et

engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- (**Slama, 1986**).

D'après **Rasanen (2002)**, le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote N_2 et l'activité nitrogénase de nodosités chez les légumineuses herbacées.

2.2.4. Effet sur le métabolisme cellulaire

Sous les conditions salines, il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (**Reynolds et al, 2001**).

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (**Alem et Amri, 2005**). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse par l'imposition d'un stress osmotique sur la cellule et par la toxicité du sodium et du chlorure dans le cytoplasme (**Baba Sidi-Kaci, 2010**).

2.2.5. Effet sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse. Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse (**Bouزيد, 2010**).

La teneur en sel élevée dans les tissus influence directement les enzymes photosynthétiques et par voie de conséquence les réactions d'échange de lumière et de gaz (**El Hendawy, 2004**). Or, la réduction de la photosynthèse à long terme entraîne l'inhibition de la formation et de l'expansion de la feuille ainsi que l'abscission précoce de cette dernière (**Kozłowski et Pallardy, 1997**).

2.2.6. Effet sur la respiration

D'après **Rains (1972)**, la plante augmente sa respiration en condition de stress salin. L'accroissement de la respiration résulte de l'énergie nécessaire à l'absorption ionique, produisant ainsi un effet néfaste sur la balance d'énergie disponible pour la plante.

2.2.7. Effet sur la croissance et le développement

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole (**Zid et Grignon, 1991**).

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (**Wang et Nil, 2000**). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (**Chartzoulakis et Klapaki, 2000**).

La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (**Mohammad, 1998**). La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (**Bouaouina et al, 2000**). La salinité des sols et des eaux demeure, pour les régions arides et semi arides, un obstacle majeur à la croissance des végétaux. En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (**Arbaoui et al, 1999**).

Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (**Calu, 2006**).

2.2.8. Effets toxiques

Certains sels peuvent être toxiques pour les plantes et peuvent en affecter la balance nutritionnelle s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale (**Bouchoukh, 2010**). Selon **Maillard (2001)**, des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. Si l'eau d'irrigation a une salinité proche de concentrations critiques, il sera nécessaire d'en doser précisément les concentrations en ions chlorites et sodium.

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al, 1995**). L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption

des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Berthomieu et al, 2003**).

2.3. La réponse des plantes au stress salin

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante (**Berthomieu et al, 2003**).

Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na^+ s'accumule dans les racines, puis exclu des feuilles, ces plantes sont dites « exclure ». A l'inverse, les plantes tolérant le NaCl, sont dites « inclure » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na^+ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (**Haouala et al, 2007**).

2.3.1. Les mécanismes morphologiques

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus communs aux halophytes. La succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles sont l'une des modifications qui apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. On note de plus la réduction de la surface foliaire, (**Raache et Karboussa-Haloua, 2004**); la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes chez les plantes de types inclure, les flux de sodium sont essentiellement ascendants (en rose) et le sel est accumulé dans les parties aériennes. Chez celles de type exclure, la plus grande partie du sodium véhiculé vers les feuilles est réexporté vers les racines via le phloème (en bleu).

Les intensités relatives des flux sont symbolisées par la largeur des traits à la fin de leur cycle de vie (**Poljakoff-Mayber, 1975**).

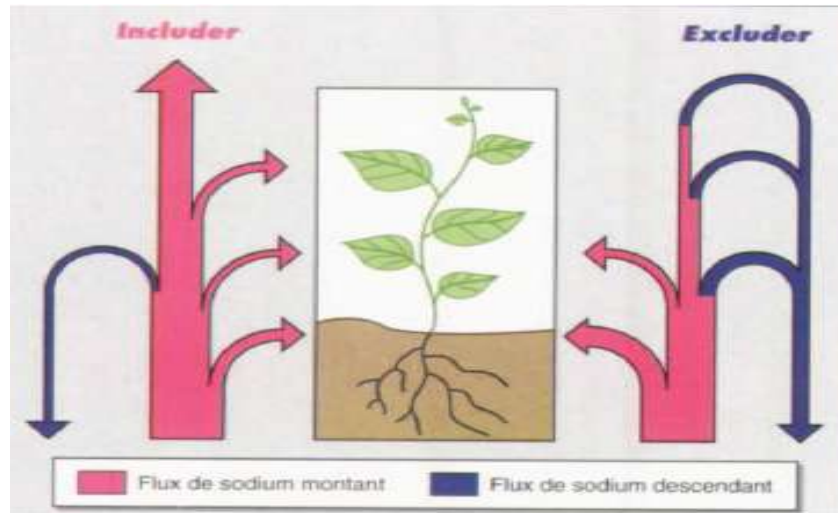


Figure 2.1 : Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes incluser ou excluser (**Levigneron et al, 1995**).

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance ou encore par la détoxification des espèces oxygénées radicalaires (EOR). La plante peut ensuite rétablir l'équilibre homéostatique dans le nouvel environnement stressant ; l'homéostasie se définit comme la capacité d'autorégulation d'un organisme pour maintenir un état d'équilibre dynamique constant entre les conditions extérieures et les différentes composantes de son milieu interne (**Niu et al, 1995**).

2.3.2. Les mécanismes physiologiques

En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques et biochimiques impliquant une activité enzymatique (**Chaffei et al, 2004**).

- **L'ajustement osmotique :**

L'ajustement osmotique est un processus par lequel le potentiel hydrique de la plante peut être diminué sans être accompagné d'une baisse de la turgescence **Rasanen (2002)**. **Rasanen (2002)** ; définissent l'ajustement osmotique comme une accumulation active de solutés par la plante en réponse au déficit hydrique croissant dans le sol et/ou la plante en maintenant la turgescence ou en réduisant le taux de perte de celle-ci, comme réponse à la baisse du potentiel hydrique. L'ajustement osmotique se produit alors à travers une compartimentation d'ions toxiques loin du cytoplasme dans la vacuole et/ou à travers l'accumulation de solutés organiques, tel que les solutés compatibles dans le cytosol (**Hasegawa et al, 2000**).

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (**El Midaoui et al, 2007**)

Selon **Hassani et al. (2008)**, l'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose), aminoacides (proline, glycine bêtaïne, β -alaninebêtaïne, prolinebêtaïne). Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH.

L'ajustement osmotique est l'un des mécanismes adaptatifs principal, qui comporte l'accumulation des molécules en réponse à un stress hydrique (**Zhang et al, 1999**) grâce à l'induction des gènes impliqués dans la synthèse des acides aminés comme la proline, la glycine bêtaïne des hormones tels que l'acide abscissique (**Belkhodja et Ouis, 2009**).

- **L'accumulation de proline :**

L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (**Belkhodja et Benkabilia, 2000**). Chez les halophytes, la proline est un marqueur intéressant pour évaluer leur résistance au stress salin (**Belkhodja et Bidai, 2007**). L'accumulation des solutés compatibles induit une diminution du potentiel hydrique et permet l'absorption de l'eau de l'environnement.

La proline est désigné généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. Deux voies possibles de la synthèse de proline ont été démontrées chez les plantes.

La première utilisant le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur. La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase. Il est démontré que la dégradation de la proline est inhibée sous le stress hydrique et salin. Une diminution dans le niveau de ProDH ARNm et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline (**Messedi et al, 2006**).

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines (**Tahri et al, 1998**). L'accumulation de ces composés organiques au niveau des organes est un phénomène lié aux régimes salins et à l'espèce (**Hadjadj, 2009**).

- **L'accumulation de sucre :**

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, il a été observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (**Asloum, 1990**).

Selon **Hadjadj (2009)**, l'accumulation des sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* Pursh. Soumises à un stress salin.

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

3.1. But de l'expérimentation

L'objectifs de notre travail est d'étudier l'effet du stress salin sur le processus de germination des graines du pistachier d'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.), Ainsi d'étudier les comportements morphologiques et physiologiques dans des conditions contrôlées « *in vitro* », il s'est réalisé sur une seul espèce avec différentes concentrations de NaCl.

Les différentes doses de NaCl ajoutées au milieu de culture « MS » déterminent le seuil de tolérances pour cette espèce dans nos conditions expérimentales, et les modifications morphologiques et physiologiques pour cette espèce.

3.2. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au sein de laboratoire d'amélioration des plantes du département des sciences Agronomique de la faculté des Sciences de l'université Mohamed Boudiaf - M'sila.

3.3. Matériels et produits

3.3.1. Matériel végétal de départ

Le matériel végétal ayant fait l'objet de la présente étude concerne des graines du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) d'un seul écotype ont été récoltées en Septembre 2016 dans un peuplement naturel de la région MESSAAD, Wilaya de DJELFA (Figure 3.1).



Figure 3.1 : Les graines du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf).

3.3.2. Matériels et produits de travail

3.3.2.1. Matériels

Balance de précision (0, 0001g), pH-mètre, 4 agitateurs magnétique, étuve, autoclave, hotte, une minuterie, 1 bec Benzène, 3 pinces stériles, spatule, papiers-filtres stériles dans une boîte de Pétri stérile (en verre), papier d'aluminium, coton, papier hygiénique, une règle graduée ou papier millimétré.

- **Les instruments verreries (en verre) :** 400 tubes à essai, 5 béchers stériles pour la désinfection du matériel végétal, 1 verre stérile pour placer les instruments dans l'alcool, un bécher stérile (ou récipient servant de poubelle), 1 fiole de 1L, 1 fiole de 2L, pipettes (10ml, 25ml, 50ml), 4 erlenmeyers de 250ml pour appliquer les différents doses de NaCl, bécher de 500ml pour préparer solution d'hypochlorite de calcium, entonnoir, 20 boîtes de Pétri.

Tous les instruments utilisés (métalliques ou verreries tel que les pinces, les béchers, les boîtes de pétri,.....etc.) ont été stérilisés au préalable à l'étuve à 120° C pendant 3 à 4 heures tout en prenant le soin de les envelopper avec du papier aluminium. Les boîtes de Pétri dont le fond est recouvert de papiers filtre sont aussi stérilisées à l'étuve après avoir enveloppées dans du papier aluminium.

- **Appareils pour l'analyse végétale :** - Chlorophylle-mètre.
- Thermomètre.
- Spectrophotométrie de flamme en émission (photomètre Jenway).

3.3.2.2. Les produits

- L'eau distillée, chlorures de sodium, hypochlorite de calcium à raison de 6g/100ml d'eau distillée.

- Acide Chlorhydrique diluée ou de la Soude diluée pour ajuster le pH des milieux de culture.

- Alcool 70 % (l'alcool utilisé dans notre essai est un Ethanol chirurgical à 70°).

- Eau distillée stérile (l'eau distillée a été stérilisée dans l'autoclave à 120° pendant 20 minutes à une pression d'un bar).

- Acide nitrique 0.5 M.

3.4. Méthodes d'étude:

3.4.1. Germination des graines

3.4.1.1. Stratification (levée de dormance des graines)

Les graines matures ont subi un traitement au froid à une température de 4 °C durant 40 jours, dans le but de lever la dormance (**Rouskas, 1996**).

3.4.1.2. Scarification (levée des inhibiteurs tégumentaires)

Après la stratification, les graines ont été trempées dans de l'eau distillée, changée régulièrement pendant 24 à 48 heures afin de ramollir l'épicarpe. Par un test densimétrique nous avons éliminé les graines qui flottent car elles sont vides. Le mésocarpe vide a été éliminé à l'aide d'un coupe-ongle (scarification mécanique), car celui-ci est considéré comme un inhibiteur de la germination (**Aleta et al., 1997**). Par la suite les graines ont subi une désinfection et un semis.

3.4.2. Techniques de culture *in vitro*

3.4.2.1. Désinfections des graines

La désinfection du matériel végétal se déroule dans des conditions d'asepsie totale sous une hotte à flux laminaire, juste avant la mise en culture des graines.

Les graines sont désinfectées selon le protocole expérimental décrit par **Lallouche (2003)**, qui consiste en un trempage des graines dans l'alcool à 70° pendant quelques secondes puis par trempage dans l'hypochlorite de calcium 6 % pendant 15 minutes (6g d'hypochlorite de calcium + 100 ml d'eau distillée avec agitation pendant 15 minutes + filtration) , enfin rincées trois fois à l'eau distillée stérile afin d'éliminer toutes traces d'hypochlorite de calcium.

3.4.2.2. Composition du milieu de culture

Pour chaque produit entrant dans la composition du milieu, nous avons utilisé des solutions concentrées (solutions mères) de ces produits.

Les solutions mères ont été diluées de manière adéquate (Tableaux 3.1, 3.2 et 3.3).

3.4.2.2.1. Préparation des solutions mères du milieu de culture

- Une solution mère comprenant : les macro-éléments; concentrée vingt fois (x 20).
- Une solution mère comprenant : les micro-éléments; concentrée cinquante fois (x 50).
- Une solution mère comprenant : les chélates de fer; concentrée cent fois (x 100).
- Une solution mère comprenant toutes les vitamines ; concentrée cent fois (x 100).

a- Préparation de la solution mère de « Macro-éléments »

Les Macro-éléments interviennent en grande quantité, il s'agit de 5 éléments présents à des concentrations élevées (Tableau 3.1).

Elle consiste à:

- Peser les éléments indiqués (A).
- Poser les 5 éléments un par un dans une fiole de 1l avec l'ajoutation de l'eau distillée et agiter jusqu'à dissoudre les éléments totalement dans l'eau distillée.
- Compléter le volume jusqu'à 1 litre avec l'eau distillée.
- Prendre le pH et ajuster éventuellement avec de l'HCl dilué ou de NaOH dilué (pH 5.7 à 5.8).
- Transférer la solution dans un flacon de 1l et étiqueter (le nom de solution et volume prélevé par 1 litre du milieu de culture et la date de préparation), puis stocker au réfrigérateur.

b- Préparation de la solution mère de « Micro-éléments »

Il s'agit de 7 éléments leur rôle est essentiel (Tableau 3.1).

Elle consiste à:

- Peser les éléments indiqués (B).
- Poser les 7 éléments un par un dans une fiole de 1l avec l'ajoutation de l'eau distillée et agiter jusqu'à dissoudre les éléments totalement dans l'eau distillée.
- Compléter le volume jusqu'à 1 litre avec l'eau distillée.
- Prendre le pH et ajuster éventuellement avec de l'HCl dilué ou de NaOH dilué (pH 5.7 à 5.8).
- Transférer la solution dans un flacon de 1l et étiqueter (le nom de solution et volume prélevé par 1 litre du milieu de culture et la date de préparation), puis stocker au réfrigérateur.

c- Préparation de la solution mère de Fe-EDTA

Tableau 3.2). Elle consiste à:

- Peser les deux éléments indiqués (C).
- Verser 600 ml d'eau distillée dans une fiole de 1l et ajouter quelques gouttes de NaOH et chauffer jusqu'à ébullition, puis couper la source de chaleur.
- Ajouter le Na_2EDTA et agiter jusqu'à dissolution, puis ajouter le $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et agiter à la couleur jaune transparent.
- Compléter le volume jusqu'à 1 litre avec l'eau distillée.
- Transférer la solution dans un flacon de 1l et étiqueter (le nom de solution et volume prélevé par 1 litre du milieu de culture et la date de préparation), puis stocker au réfrigérateur.

d- Préparation de la solution mère des vitamines et acides aminés

(Tableau 3.3). Elle consiste à:

- Peser les éléments indiqués (D).
- Poser ces éléments dans un bécher de 100 ml un par un avec l'ajoutation de l'eau distillée et agiter jusqu'à dissoudre les éléments totalement dans l'eau distillée.
- Compléter le volume jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée.
- Transférer la solution dans un flacon de 100 ml et étiqueter (le nom de solution et volume prélevé par 1 litre du milieu de culture et la date de préparation), puis stocker au réfrigérateur.

3.4.2.2.2. Les sucres

Afin fournir à l'explant une source de Carbone nous avons utilisé le Saccharose $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ au milieu de culture à une concentration de 30 g/l pour les étapes de germination des graines (Tableau 3.4) les éléments indiqués (E).

3.4.2.2.3. La gélose

Pour la solidification des milieux de culture nous avons utilisé l'Agar-agar à raison de 8 g/l.

Il s'agit d'un poly galactoside sulfaté présentant la propriété de former avec l'eau un gel solide à une température inférieure à environ 60°C tout en étant liquéfiable par ébullition, auquel cas, il reste en surfusion (liquide) jusqu'aux environs de 45°C .

3.4.2.2.4. Les régulateurs de croissance

Pour favoriser la germination des graines de pistachier de l'Atlas, nous avons ajouté au milieu de culture l'acide gibbérellique (AG₃) à raison de 0.4g/l.

3.4.2.3. Préparation et stérilisation du milieu de culture

A partir de solutions mères préparées, on peut préparer la solution final, L'ajustement de potentiel hydrique (pH) qui est de 5.7 à 5.8 se fait par l'utilisation de la Soude diluée (NaOH) ou de l'Acide chlorhydrique diluée (HCL) selon que le milieu serait acide ou basique.

Les milieux de culture distribués dans des tubes à essai à raison de 25 ml par tube, ils sont stérilisés à l'autoclave pendant 20 minutes à 120° C, et sous une pression de un bar.

3.4.2.4. Mise en culture

La mise en culture se déroule dans des conditions d'asepsie totale sous une hotte à flux laminaire.

Les graines sont mises à germer à raison d'une graine par tube à essai, contenant environ 25 ml de milieu de culture (Figure 3.2).



Figure 3.2 : Mise en culture d'une graine du pistachier de l'Atlas.

La germination a été effectuée sous différentes concentrations de chlorures de sodium (NaCl), elles sont réparties suivant les traitements : T₀, T₁, T₂ et T₃, chaque traitement est répété 90 fois.

Des observations journalières ont été effectuées afin de suivre la germination ainsi que l'élimination des tubes contaminés.

3.4.2.5. Les conditions de culture

Les graines placées dans des tubes à essai sont entreposés dans la chambre de culture (Figure 3.3) où la température et la photopériode sont maintenues au seuil optimum de croissance selon les phases.

- La température réglée dans la chambre de culture est de $25 \pm 1^\circ \text{C}$.

Comme le prouvent de nombreux travaux, la lumière est indispensable pour réguler certains processus morphogénétiques, l'éclairage est assuré par une série de néons d'une intensité lumineuse de l'ordre de 2000 à 3000 lux environ.

- La photopériode est réglée par une 16 heures de lumière et de 8 heures d'obscurité.



Figure 3.3 : Les tubes placés dans une chambre de culture.

3.4.2.6. Prélèvement de matériel végétal

La plante entière est soigneusement prélevée. La partie aérienne est séparée de la partie souterraine. La partie aérienne a été séparée en tiges et feuilles. Ces organes sont séparées ont été rapidement rincées avec l'eau distille puis séchées à l'aide du papier hygiénique.

Le poids frais des tiges et des feuilles a été déterminé avec une balance de précision.

Chaque échantillon pesé est enveloppé dans du papier aluminium.

Tableau 3.1 : Composition du milieu de culture de MURASHIGE et SKOOG (1962).

Solutions	MS g/l	concentration	Prélèvement	Solution mère
Macro-éléments				
NH ₄ NO ₃	1650 = 33	20 fois	50 ml	A
KNO ₃	1900 = 38 g/l			
CaCl ₂ , 2H ₂ O	440 = 8.8 g/l			
KH ₂ PO ₄	170 = 3.4 g/l			
MgSO ₄ , 7H ₂ O	370 = 7.4 g/l			
Micro-éléments g/l				
MnSO ₄ , H ₂ O	22.30 = 1.115	50 fois	20 ml	B
H ₃ BO ₃	6.20 = 0.31			
ZnSO ₄ , 7H ₂ O	8.60 = 0.43			
KI	0.83 = 0.0415			
Na ₂ Mo ₄ , H ₂ O	0.25 = 0.0125			
CuSO ₄ , 5H ₂ O	0.025 = 0.00125			
CoCl ₂ , 6H ₂ O	0.025 = 0.00125			

Tableau 3.2 : Solution Fe-EDTA.

Fe-EDTA (mg/l)				
Na ₂ EDTA	37.25 mg/l = 3.73 g/l	100 fois	10 ml	C
FeSO ₄ , 7H ₂ O	27.85 mg/l = 2.785 g/l			

Tableau 3.3 : Solution vitaminique de MOREL (1952).

Ingrédients	SM en mg/100ml	Concentration	SM en g/100ml	Prélèvement	Solution
Vitamines et Acides Aminés					
Glycine (acide aminé)	0.2	100 fois	0.02	10 ml	D
Acide nicotinique (acide aminé)	0.5		0.05		
Pyridoxine HCl (vitamine B6)	0.5		0.05		
Thiamine HCl (vitamine B1)	0.1		0.01		

Tableau 3.4 : Les sucres.

Saccharose	30000 mg	30 g	E
Myo-inositol	100 mg	0.1 g	

3.4.2.7. Séchage et le broyage

Les échantillons ont été mis dans une étuve réglée à 80 °C durant 48 heures (ou à 70 °C durant 72h). Après séchage les échantillons sont repesés et ensuite broyés avec un mortier ; la poudre obtenue est déposée dans un flacon hermétique pour la conserver jusqu'au moment des analyses (Figure 3.4).



Figure 3.4 : Matière sèche broyée avec un mortier.

3.5. Les paramètres à étudier

3.5.1. Les paramètres de germination

3.5.1.1. Temps de latence (jours) : Qui représente le moment où la première graine germe, Il est exprimé par jours.

3.5.1.2. Taux de germination (%) : Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (Côme, 1970).

3.5.2. Les paramètres morphologiques

3.5.2.1. Nombre de feuilles : On comptera seulement le nombre de vraies feuilles.

3.5.2.2. Longueur de racine et hauteur de tige (Cm) : Elle s'effectue avec une règle graduée (Figure 3.5).



Figure 3.5 : Mesure la longueur de racine et de tige.

3.5.2.3. Poids frais partie aérienne et racinaire : après la mesure de la longueur de chaque partie avec une règle graduée, on sépare la partie aérienne de la partie racinaire, et on pèse les deux parties séparément avec une balance de précision.

3.5.2.4. Poids sèche racinaire et aérienne : On fait sécher les deux parties dans une étuve à 80°C pendant 24h, puis on les pèse avec une balance de précision (**Bouزيد, 2010**).

3.5.3. Les paramètres physiologiques

3.5.3.1. Teneurs en chlorophylle totale : La teneur en chlorophylle, mesurée à l'aide d'un chlorophylle-mètre (figure 3.6).



Figure 3.6 : Dosage de chlorophylle (chlorophylle-mètre).

3.5.3.2. Teneurs relative en eau TRE (%) : La teneur relative en eau est déterminée par le pourcentage d'eau présenté dans les feuilles excisées avec la mesure de leur poids avant (poids frais) et après trempage dans l'eau distillée pendant 24 heures à l'obscurité (poids de

turgescence) (Figure 3.7), de même elles seront pesées après les avoir mises dans une étuve (80°C) pendant une durée de 24 heures (poids sec). La TRE est ainsi calculée par la formule suivante :

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

TRE% : Teneur relative en eau.

PF : poids frais, PS : poids sec, PT : poids de turgescence.



Figure 3.7 : Feuilles trempées dans l'eau distillée pendant 24 heures.

3.5.3.3. Dosage des ions minéraux

La composition chimique de la matière végétale est déterminée à l'arrêt de la culture soit après 30 jours de traitement salin. Les plantes sont séparés en parties aérienne et racinaire et leur organes sont préalablement séchés pendant 72 heures à 70°C et mise dans des tubes à essai contenant l'acide nitrique 0.5 % (10g de matière sèche pour 25 ml d'acide nitrique 0.5%). Mettre les extraits (tubes avec de la MS et de l'acide nitrique 0.5%) dans l'étuve à 80°C pendant 1 heure. Les différents dosages se font sur le filtrat de l'extraction acide à froid.

Les cations Na^+ , K^+ , Ca^{++} sont dosés par spectrophotométrie à flamme en émission (photomètre Jenway) par comparaison à une solution étalon traitée dans les mêmes conditions (Figure 3.8). Le calcul se fait à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage.

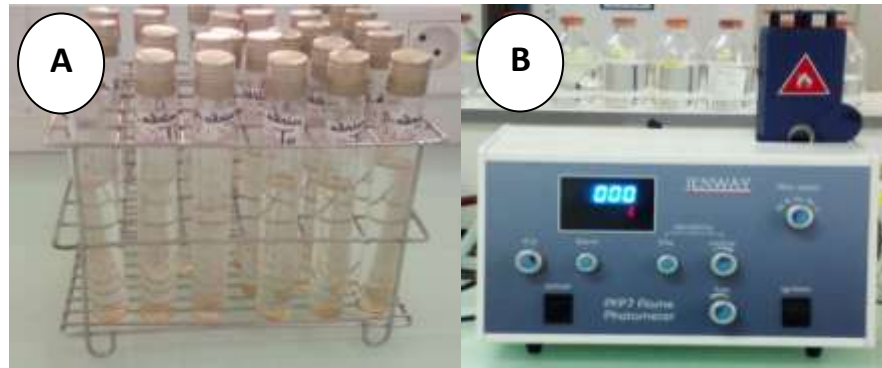


Figure 3.8 : (A) : Tubes avec les extraits de la MS et de l'acide nitrique 0.5% ; (B) : spectrophotométrie à flamme (Photomètre Jenway).

3.6. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est une randomisation totale sans contrôle d'hétérogénéité à un facteur étudié qui est facteur dose de NaCl avec quatre niveaux répartis aléatoirement (0, 2.92g/l, 5.85g/l et 8.78g/l). Chaque traitement a été réalisé avec trois répétitions et chaque répétition comprend 30 graines.

3.7. Analyse statistique

Le logiciel utilisé pour l'analyse statistique est le StatBox 6.4, avec le programme de Microsoft Office Excel 2007.

Une analyse de la variance au seuil 5 % a été utilisée pour le traitement des résultats et qui consiste à rechercher si l'effet traitement est significatif avec certains risques d'erreurs. La signification des résultats est exprimée en fonction de la probabilité pour une erreur réellement commise.

Dans notre cas, nous avons utilisé la probabilité d'erreur de 5 %. Les comparaisons multiples de moyennes (CMM) constituent un moyen, permettant de dégager des différences entre les moyennes. La méthode de NEWMAN et KEULS dite aussi de la plus petite amplitude significative (PPAS), permet de comparer les amplitudes observées de deux ou plusieurs moyennes avec une amplitude maximale attendue à un niveau de signification donné (**Dagneli, 1975**).

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Résultats

4.1.1. Taux de germination

La germination des graines stressées et non stressées commence dès le deuxième jour de culture. Il y a apparition des radicules et ce quel que soit la concentration testée (figure 4.1).

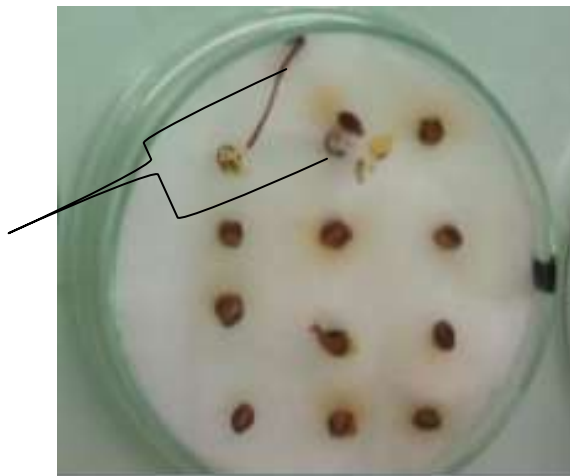


Figure 4.1 : Germination des graines de *Pistacia atlantica* Desf.

Les résultats obtenus montrent que les taux de germination des graines diminuent au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente (Figure 4.2).

Les résultats de cette expérimentation ont montré l'existence d'une différence très hautement significative du taux de germination entre le milieu témoin et le milieu salin (Tableau 1, annexe 1). En effet ; le taux de germination varie entre 63.89% pour le témoin et 17.64 % pour le traitement T3 (150mM). Le pourcentage de germination diminue significativement à partir de la dose 50mM NaCl par rapport au témoin.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de taux de germination de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
63,89 \pm 4.815A	31,65 \pm 2.688B	30,567 \pm 2.522B	17,643 \pm 0.202C	0	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

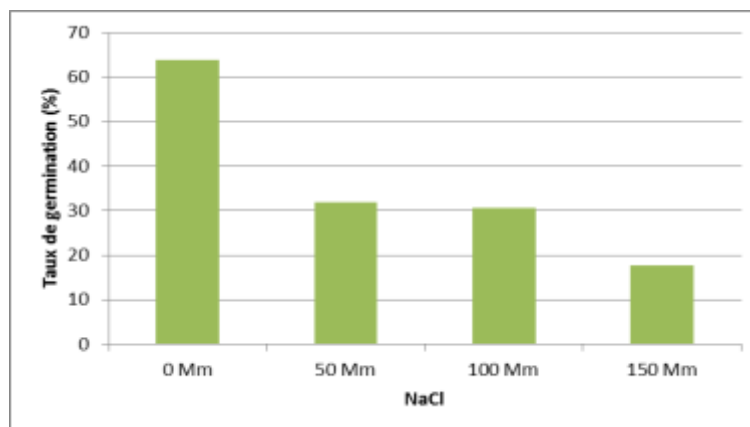


Figure 4.2 : Effet de NaCl sur le taux de germination

4.1.2. Effet de stress salin sur le nombre de feuilles

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 2. Annexe 1) obtenu révèlent que le nombre de feuilles par vitro plants est non significatif. L'effet de stress n'a pas d'effet dépressif sur ce paramètre (tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% du nombre des feuilles de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
3.333 \pm 1.155	2.667 \pm 1.155	2 \pm 0	1.333 \pm 0.577	0.09715	ns

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

4.1.3. Effet de stress salin sur la longueur des racines

Tableau 4.3 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la longueur de racine de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
2.4 \pm 0.52A	0.933 \pm 0.306B	0.7 \pm 0B	0.567 \pm 0.058B	0.00036	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

L'effet de la salinité sur la croissance de la racine est très remarquable (Figures 4.3 et 4.4).

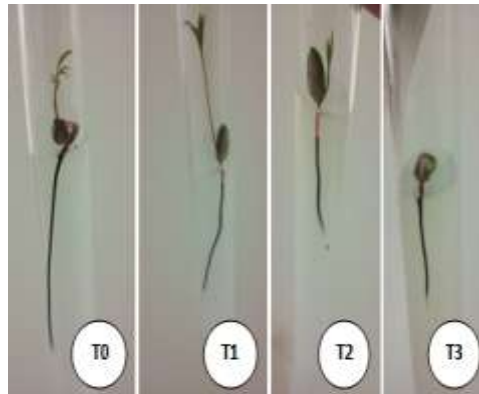


Figure 4.3 : La longueur de la racine des vitro-plantes sous différentes concentrations de NaCl.

En effet, l'étude statistique montre une différence très hautement significative pour les différentes concentrations (p=0.00036) (tableau 3, annexe 1). La croissance racinaire diminue sous l'action du chlorure de sodium : quand la concentration du sel augmente, la longueur de la racine diminue. Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en deux groupes homogènes (Tableau 4.3).

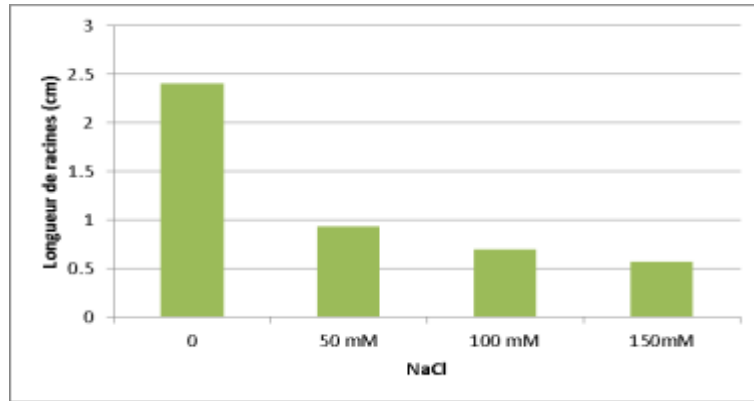


Figure 4.4 : Effet de NaCl sur la longueur de racine

4.1.4. Effet de stress salin sur la hauteur de tige

Tableau 4.4 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la longueur de tige de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
0.433 \pm 0.115B	1.167 \pm 0.907B	2.467 \pm 0.058A	0.333 \pm 0.058B	0.00183	**

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

Les résultats obtenus montrent que les différentes concentrations de NaCl testées ont un effet sur la croissance en longueur des tiges chez le *Pistacia atlantica* Desf. (Figure 4.5 et 4.6).



Figure 4.5 : La hauteur de la tige des vitro-plantes sous différentes concentrations de NaCl.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence hautement significative entre les moyennes de la longueur des tiges pour les différents traitements : ($p < 0,001$) (tableau 4, annexe 1). Les concentrations de 50 mM et 100 mM NaCl a induit un effet positif, en accélérant significativement la croissance des plantules. La concentration de 150 mM NaCl ralentit ce phénomène (Figure 4.6). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en deux groupes homogènes (Tableau 4.4).

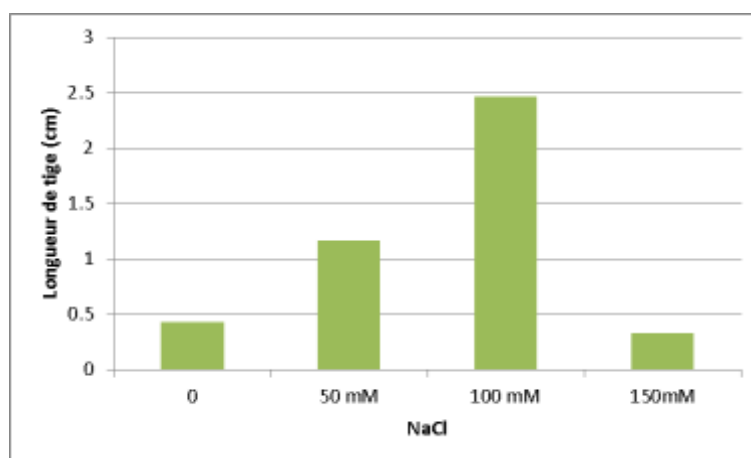


Figure 4.6 : Effet de NaCl sur la hauteur de tige

4.1.5. Effet de stress salin sur le poids frais de la partie racinaire

Tableau 4.5 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de Poids frais partie racinaire (g) de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0.00003	***
0.004 \pm 0.001B	0.007 \pm 0.001A	0.002 \pm 0C	0.001 \pm 0C		

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

La figure (4.7) montre que chez les plantules de *Pistacia atlantica* Desf., plus la contrainte saline devient sévère, plus le poids frais des racines diminué. Par ailleurs, la valeur maximale est observée chez les plantules arrosées avec une concentration de 50 mM de NaCl où nous notons un poids e 0.007 (g).

Chez les plantules traitées à 100 mM le poids frais de la partie racinaire diminue progressivement pour atteindre 0.002 g. Ces valeurs continuent à chuter où nous enregistrons 0.001g pour le traitement T3 (150 mM NaCl). Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de ce paramètre ($p=0,000$) (tableau 5, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.5).

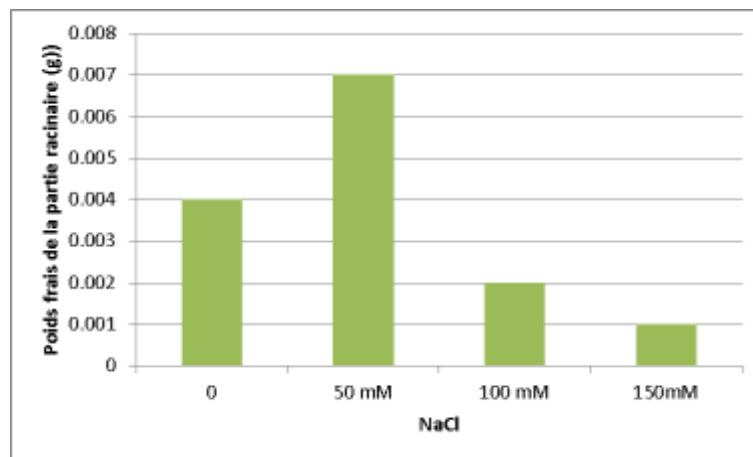


Figure 4.7 : Effet de NaCl sur le poids frais de la partie racinaire

4.1.6. Effet de stress salin sur le poids frais de la partie aérienne

Tableau 4.6 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de Poids frais partie aérienne (g) de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0.42643	Ns
0.005 \pm 0.003	0.019 \pm 0.027	0.002 \pm 0.001	0.001 \pm 0.001		

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 6. Annexe 1) obtenu révèlent que le poids frais de la partie aérienne est non significatif. L'effet de stress n'a pas d'effet dépressif sur ce paramètre (tableau 4.6).

4.1.7. Effet de stress salin sur le poids sec de la partie racinaire

Tableau 4.7 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de poids sec de la partie racinaire (g) de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0	***
0.001 \pm 0B	0.007 \pm 0.001A	0 \pm 0C	0 \pm 0C		

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

Les vitro plants cultivée sur un milieu de culture contenant 50 mM NaCl présentent un poids moyen le plus élevée avec une valeur de 0.007 (g) suivi par les plants témoin qui enregistrent une valeur estimé à 0.001 (g).

L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats. Des différences très hautement significative entre les moyennes de la production de la matière sèche racinaire sont enregistrées chez le *Pistacia atlantica* Desf. ($p \leq 0,055$) (Tableau 7, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.7).

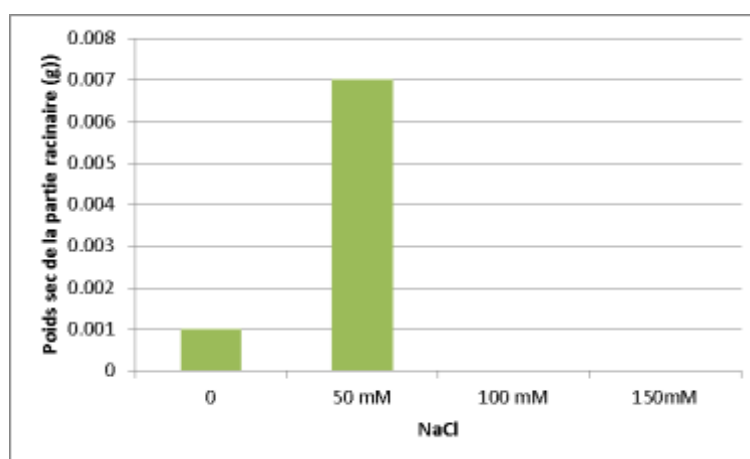


Figure 4.8 : Effet de NaCl sur le poids sec de la partie racinaire

4.1.8. Effet de stress salin sur le poids sec de la partie aérienne

Tableau 4.8 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de poids sec de la partie aérienne (g) de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0.00014	***
0.001 \pm 0.001B	0.003 \pm 0.001A	0.001 \pm 0BC	0 \pm 0C		

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements de NaCl influe aussi bien sur la production de la matière sèche aérienne que la partie souterraine (Figure 4.9, tableau 8, annexe 1). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats. Des différences très hautement significative entre les moyennes de la production de la matière sèche aérienne et racinaire sont enregistrées chez le *Pistacia atlantica* Desf. (P \leq 0,055) (Tableau 8, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.8).

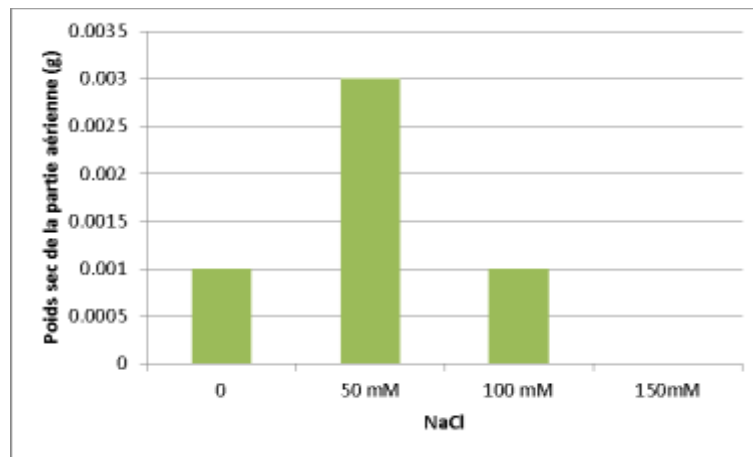


Figure 4.9 : Effet de NaCl sur le poids frais de la partie aérienne

Le poids le plus élevé est enregistré au niveau de traitement à 50 mM NaCl (T1) (Figure 4.9). Au-delà de ce traitement nous observons une diminution progressive de la production des matières sèche aérienne et racinaire des plantules stressées.

4.1.9. Effet de stress salin sur la teneur en chlorophylle totale

Tableau 4.9 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la Teneur en chlorophylle totale (CCI) de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
2 \pm 0.1A	1.533 \pm 0.231B	1.367 \pm 0.115B	0.967 \pm 0.058C	0.00022	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

La présence de sel dans le milieu de culture engendre des baisses significatives des teneurs en chlorophylle totale (tableau 4.9, figure 4.10). En effet à la présence de 50 mM, 100 mM et 150 mM, les vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf. Affichent respectivement des réductions de 23.5%, 32%, 52% par rapport au témoin. Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.9).

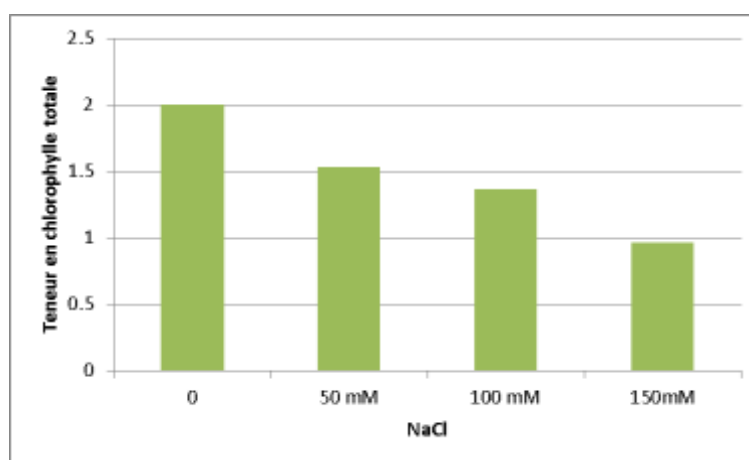


Figure 4.10 : Effet de NaCl sur la teneur en chlorophylle totale

L'analyse de la variance sur ces données montre des effets très hautement significatifs de la teneur en chlorophylle totale (tableau 9, annexe 1).

4.1.10. Effet de stress salin sur la teneur relative en eau

Tableau 4.10 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur relative en eau ; TRE % de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
70.78 \pm 1A	63.64 \pm 0.24B	62.67 \pm 1B	50 \pm 0.2C	0	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

La figure 4.11 montre que la teneur relative en eau subi une chute sous l'effet de 50 mM NaCl, cette réduction s'accroît davantage sous le traitement à 100 mM et 150 mM ou la TRE affiche respectivement 63.64 %, 62.67et 50%.

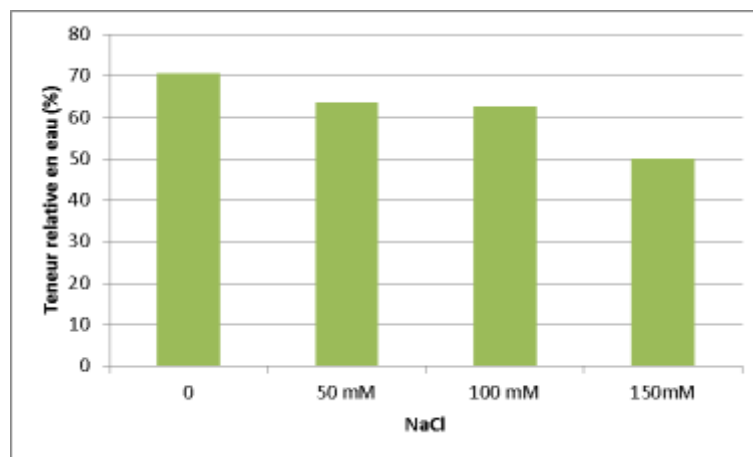


Figure 4.11 : Effet de NaCl sur la teneur relative en eau

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur relative en eau des feuilles pour les différents traitements (p=0,000) (tableau 10, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.10).

4.1.11. Effet de stress salin sur la teneur en sodium dans les racines

Tableau 4.11 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en Na⁺ (g/100 mg de matière sèche) dans les racines de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne ±écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0.0007	***
6.451±0.574C	5.788±0.994C	7.777±0B	9.435±0.574A		

P>0.05 non significatifs (ns); P≤0.05 significatif (*); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***).

Le stress salin a provoqué une augmentation significative de la teneur en Na⁺ chez les racines des vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf. Cette augmentation est proportionnelle à la concentration en sel. La valeur la plus faible a été enregistrée chez le témoin (figure 4.12, tableau 4.11).

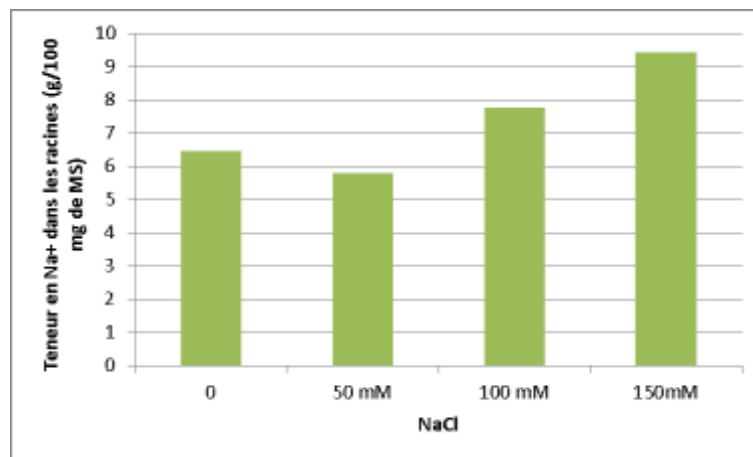


Figure 4.12 : Effet de NaCl sur la teneur en sodium (Na⁺) dans les racines

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en sodium au niveau des racines des vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf pour les différents traitements (p=0,000) (tableau 11, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.11).

4.1.12. Effet de stress salin sur la teneur en potassium dans les racines

Tableau 4.12 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en K⁺ (g/100 mg de matière sèche) dans les racines de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne ±écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
4.498±0.281A	2.629±0.244C	3.279±0.141B	3.116±0.244B	0.00011	***

P>0.05 non significatifs (ns); P≤0.05 significatif (*); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***)

L'examen de la figure 4.13 montre que, chez les racines de *Pistacia atlantica* Defs., c'est le témoin qui autorise les teneurs en K⁺ les plus élevées suivi par la concentration de 100 mM NaCl et. Le sel réduit nettement les teneurs dans les racines lorsque sa concentration est de 50 mM NaCl.

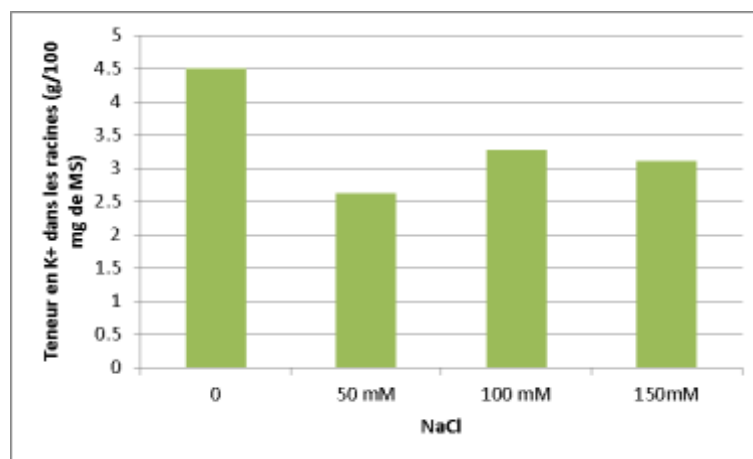


Figure 4.13 : Effet de NaCl sur la teneur en potassium (K⁺) dans les racines

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en potassium dans les racines des vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf. Pour les différents traitements (p=0,000) (tableau 12, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en trois groupes homogènes (Tableau 4.12).

4.1.13. Effet de stress salin sur la teneur en calcium dans les racines

Tableau 4.13 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en Ca^{2+} (g/100 mg de matière sèche) dans les racines de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM	0.00897	**
0.096 \pm 0.284B	0.068 \pm 0B	0.068 \pm 0B	0.0424 \pm 0A		

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

A travers les résultats illustrés dans la figure 4.14 et tableau 4.13, l'augmentation de la concentration saline dans le milieu est accompagnée d'une diminution hautement significative en Ca^{2+} dans la partie racinaire (Tableau 13, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en deux groupes homogènes (Tableau 4.13).

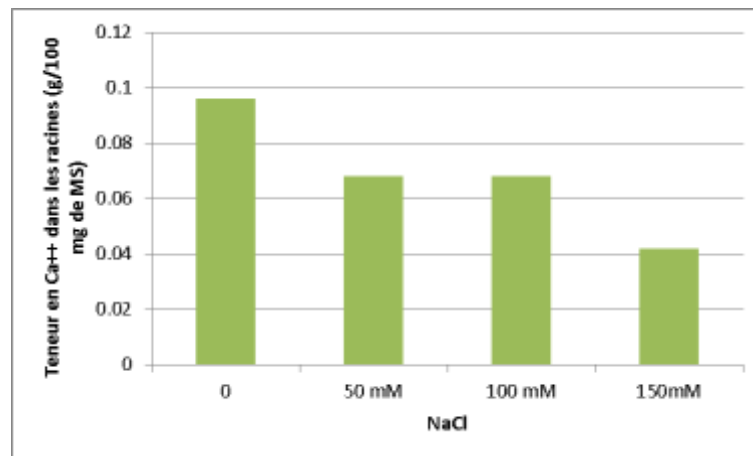


Figure 4.14 : Effet de NaCl sur la teneur en calcium (Ca^{2+}) dans les racines

4.1.14. Effet de stress salin sur la teneur en sodium dans la partie aérienne (tige+ feuilles)

Tableau 4.14 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en Na⁺ (g/100 mg de matière sèche) dans la partie aérienne de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
5.788 \pm 2.631D	10.407 \pm 0.574B	14.098 \pm 0.574C	17.722 \pm 0.994A	0.00009	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

Le stress salin a provoqué une augmentation significative de la teneur en Na⁺ chez les tiges et les feuilles des vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf. Cette augmentation est proportionnelle à la concentration en sel. La valeur la plus faible a été enregistrée chez le témoin (figure 4.15, tableau 4.14).

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en sodium au niveau des feuilles et tiges des vitro plants de *Pistacia atlantica* Desf. Pour les différents traitements (p=0,000) (tableau 14, annexe 1). Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en quatre groupes homogènes (Tableau 4.14).

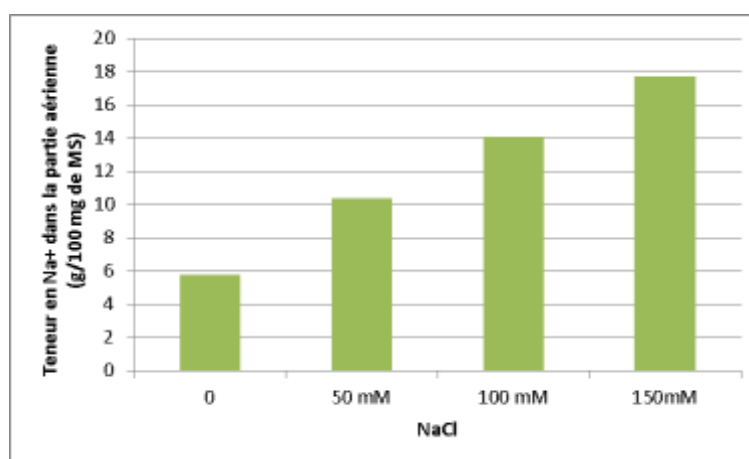


Figure 4.15 : Effet de NaCl sur la teneur en sodium (Na⁺) dans la partie aérienne

4.1.15. Effet de stress salin sur la teneur en potassium dans la partie aérienne (tige + feuilles)

Tableau 4.15 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en K^+ (g/100 mg de matière sèche) dans la partie aérienne de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
6.286 \pm 0.24A	4.33 \pm 0B	6.286 \pm 0.24A	7.261 \pm 0.8A	0.00056	***

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***).

A travers les résultats illustrés dans la figure 4.16 et le tableau 4.15, la présence de sel (50 mM NaCl) dans le milieu de culture entraîne une diminution très hautement significative en K^+ (Tableau 15, annexe 1) dans la partie aérienne des vitro-plants de *Pistacia atlantica* Desf. Et en parallèle nous avons enregistré une augmentation très hautement significative à la concentration de 150 mM NaCl dans le milieu de culture.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en deux groupes homogènes (Tableau 4.15).

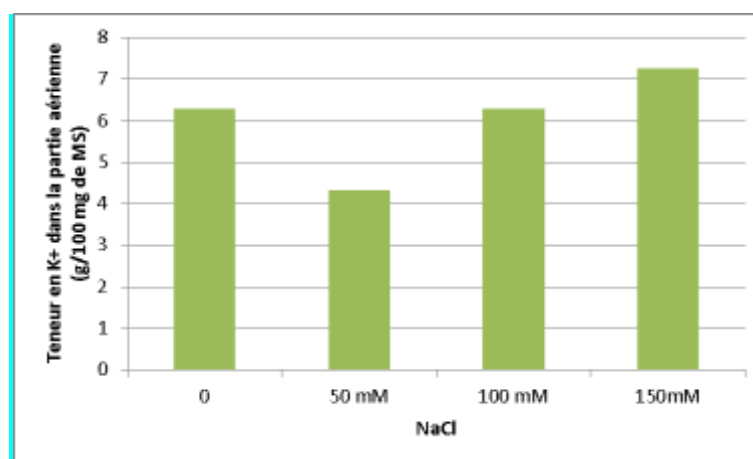


Figure 4.16 : Effet de NaCl sur la teneur en potassium (K^+) dans la partie aérienne

4.1.16. Effet de stress salin sur la teneur en calcium dans la partie aérienne (tige + feuilles)

Tableau 4.16 : Test statistique de signification de NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5% de la teneur en Ca^{2+} (g/100 mg de matière sèche) dans la partie aérienne de *Pistacia atlantica* stressées pendant 30 jours aux différents niveaux de NaCl.

Moyenne \pm écart type				P	S
T0 NaCl	T1 NaCl	T2 NaCl	T3 NaCl		
0	50 mM	100 mM	150mM		
0.424 \pm 0A	0.068 \pm 0B	0.068 \pm 0B	0.096 \pm 0.284B	0.00897	**

P>0.05 non significatifs (ns); P \leq 0.05 significatif (*); P \leq 0.01 hautement significatif (**); P \leq 0.001 très hautement significatif (***)

A travers les résultats illustrés dans la figure 4.17 et le tableau 4.16, l'augmentation de la concentration saline dans le milieu est accompagnée d'une diminution très hautement significative en Ca^{2+} (Tableau 16, annexe 1) dans la partie aérienne. Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe le facteur traitement salin en deux groupes homogènes (Tableau 4.16).

La teneur en Ca^{2+} aérienne diminue plus rapidement avec l'augmentation de la concentration de NaCl que la partie racinaire (Tableau 4.16).

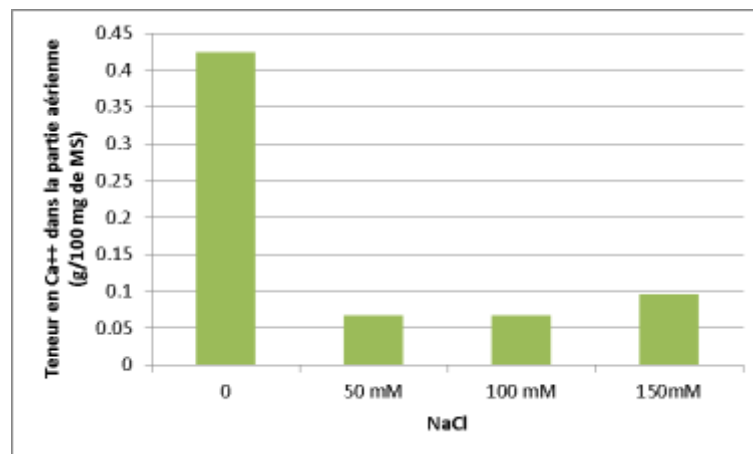


Figure 4.17 : Effet de NaCl sur la teneur en calcium (Ca^{2+}) dans la partie aérienne (tige + feuilles)

4.2. DISCUSSION

Taux de germination : La salinité agit sur la germination des graines en ralentissant sa vitesse, ce qui expose les semences aux risques de NaCl, en diminuant plus au moins fortement son taux, ainsi il réduit l'utilisation des réserves nutritives des graines (**Ahmad et Bano, 1992**).

Selon **Yapsanis et al. (1994)** ; la salinité intervient sur la germination des graines par deux effets :

a- L'effet osmotique se traduit par la difficulté que trouve l'embryon à absorber une quantité d'eau suffisante pour déclencher les processus métaboliques de la germination.

b- L'effet toxique résulte de l'envahissement de l'embryon par Na^+ et Cl^- .

La salinité affecte la germination par une faible hydratation des réserves nutritives (**Mondal, 1988**) et une diminution de l'activité des enzymes impliqués dans la germination des graines (**Dubey et Rani, 1995**).

La diminution de l'indice de germination correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines et/ou bien à une accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans l'embryon. Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions (**Bliss et al, 1986**).

Partie aérienne et racinaire : Pour l'émergence de l'appareil végétatif des vitro-plants, la présence de 50 mM ou 100 mM de NaCl dans le milieu de culture paraît parfois bénéfique sinon sans effet sur les paramètres mesurés, ce qui pourrait refléter l'expression du caractère halophile de l'espèce déjà signalé par d'autres auteurs (**Oukara et al. (2014a)** ; **et al. (2014b)**). Cette stimulation de la croissance pourrait s'expliquer par une pénétration plus aisée dans la plante des ions Na^+ et Cl^- qui abaissent le potentiel osmotique interne et favorisent ainsi une entrée plus rapide de l'eau. Ce bon comportement des vitro-plants âgés d'un mois face au stress salin témoigne de leur bonne tolérance au sel à ce stade de développement, meilleure que durant la germination. Des changements du niveau de résistance à la salinité en cours de développement sont signalés chez plusieurs espèces (**Uchiyama, 1987** ; **Ungar, 1996**). **Bourgeois-Chaillou et al. (1992)**, parlent d'une

évolution adaptative du degré de tolérance au sel pour des espèces qui, entre autres beaucoup d'espèces d'halophytes, germent sous des doses de sel maximales inférieures à celles supportées par les plantes adultes et d'une évolution non adaptative pour des plantes comme le tourne sol, le trèfle ou le maïs qui apparaissent plus tolérantes au sel pendant la phase de germination.

Cependant, à une forte dose de sel (150 mM NaCl) une forte réduction de la longueur de racine, de la hauteur de tige, du poids frais et sec des racines des vitro-plants se produit. En revanche, le poids frais de la partie aérienne (tige + feuilles) reste insensible à l'effet de l'augmentation du sel dans le milieu de culture, ce qui corrobore les résultats trouvés par **Kaddour (2008)**.

Teneur en chlorophylle : La teneur en chlorophylle est significativement réduite par la salinité surtout pour le traitement sévère T3 (150 mM NaCl). Ces résultats corroborent avec les observations de **Cengiz et al (2009)** sur le piment. Selon **Feigin et al. (1991)** ; **Grattan et Grieve, (1994)**, NaCl a un effet antagoniste sur l'absorption de l'azote (N) qui est une composante essentielle de la structure de la molécule de chlorophylle. **Levit (1980)** note que ces réductions sont dues à l'instabilité du complexe protéique, du fait que la salinité affecte les forces de liaisons des complexes protéines pigments. Par ailleurs, **Jaleel et al. (2007)** ont rapporté que les réductions sont dues à l'interférence des ions salins avec la synthèse de nouvelles protéines, composantes principales des pigments, plutôt qu'à la dégradation des chlorophylles.

Teneur relative en eau : La turgescence varie inversement avec le taux de salinité, lorsque la salinité du milieu augmente, la teneur relative en eau diminue. La teneur relative en eau dans les feuilles est un bon indicateur de l'état hydrique, elle diminue légèrement chez les plantes stressées à la salinité. Cela se remarque particulièrement lorsque le végétal est soumis au stress salin sévère (150 mM NaCl) avec un taux de réduction de 29.35%. Ce qui semble être un comportement de résistance au stress salin. En effet, les teneurs relatives en eau obtenues sont de 70.78%, 63.64%, 62.67% et 50%, représentant respectivement le témoin, 50 mM NaCl, 100 mM NaCl et 150 mM NaCl. L'absorption d'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante et pouvoir ainsi diluer les sels introduits dans les cellules. Ces constatations sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs. En effet, le stress salin, induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (**Hasegawa et al, 2000**), réduit le contenu relatif

en eau des feuilles (**Kaddour, 2008**), diminue l'absorption hydrique par les racines (**Snoussi et al, 2004**). Ce fait a été établi chez des plantes de résistance différentes comme *Atriplex verrucifera* et *Pistacia atlantica* Desf.

Nos résultats peuvent aussi s'expliquer par le phénomène d'ajustement osmotique, caractérisé par la diminution du potentiel hydrique, permettant ainsi de maintenir les mouvements d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence (**Monneveux, 1989**). En effet, lors d'un stress salin, il y'a accumulation au niveau cellulaire d'osmoprotecteurs qui sont des composés fortement solubles, neutres, incluant des métabolites secondaires tels que la glycine bétaine, des polyols tels que le mannitol ou autres composés tels que les sucres (**Levitt, 1980 ; Chen et Murata, 2002**). L'analyse de la teneur relative en eau, permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (**El Djaafari, 2000**). Une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Celle-ci est associée à une baisse de la turgescence, elle-même liée à la diminution du gradient du potentiel hydrique entre les tissus de la plante et le milieu.

La teneur en sodium (Na^+) en potassium (K^+) et en calcium (Ca^{++}) : La tolérance au sel chez les plantes supérieures dépend de la façon dont les plantes contrôlent le transport du sel à travers les organes (**Niu et al, 2010**). En effet, les mécanismes de tolérance au sel sont de trois types distincts chez les plantes : celles qui tolèrent le stress osmotique, celles qui excluent le Na^+ et le Cl^- de leurs tissus et celles qui tolèrent l'accumulation de Na^+ et Cl^- dans leurs tissus (**Munns et tester, 2008**). Cette sensibilité ou cette tolérance à la salinité varie selon les espèces et les variétés. Les résultats obtenus à travers de cette étude montrent que le Na^+ migre remarquablement vers le système aérien sous la contrainte salin. Ce qui laisse indiquer que l'espèce étudiée est de type includer. En effet chez les plante includer les flux de sodium sont essentiellement ascendants, et le sel est accumulée dans la partie aérienne au niveau des vacuoles (**Levigneron et al ; 1995 ; Borsani et al ; 2003**).

La Salinité peut affecter l'absorption de Ca^{2+} et K^+ , en fonction du niveau de salinité (**Grattan et Grieve, 1999**). Dans cette étude, les concentrations de Ca^{2+} et de K^+ dans les deux parties (aériennes et racinaires) varient selon les concentrations de NaCl dans le milieu de culture.

Ces résultats sont en accord avec **Murillo- Amador et al ; (2006)** chez *Vigna unguiculata* qui ont noté une forte baisse des teneurs en K^+ en présence de sel. Cette diminution pourrait être expliquée par la compétition le Na^+ et le K^+ par les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Haouala et al ; 2007**).

La teneur en Ca^{++} racinaire diminue plus rapidement avec l'augmentation de la concentration en NaCl du milieu. Ceci suggère que le niveau de tolérance d'une espèce pourrait être également lié à sa teneur racinaire en Ca^{++} (**Pourrat et Dutuit, 1994**).

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie. Nos résultats montrent que la salinité affecte les paramètres de germination examinés. En tenant compte de l'ensemble des paramètres de germination étudiés, le pistachier de l'atlas « *Pistacia atlantica* Desf. » est montrées plus tolérantes à la salinité. L'effet du NaCl peut être toxique et/ou osmotique. En effet, le pistachier de l'atlas « *Pistacia atlantica* Desf. » testées est affectées par une dépression osmotique. D'autre part, les concentrations élevées de salinité agissent négativement sur la croissance en longueur des racines des vitro-plants. La salinité modifie le poids frais et sec des deux partis (aériens et racinaires) et conduit à une diminution de la teneur en chlorophylle totale, la teneur relative en eau et la teneur en Ca^{++} dans les deux parties.

Et en parallèle nous avons enregistré une augmentation sur la longueur des tiges pour les concentrations de 50mM NaCl et 100 mM NaCl, de la teneur en Na^+ dans les deux parties aériennes et racinaires et la teneur en K^+ au niveau de la partie aériennes pour les deux concentrations (100 mMNaCl et 150 mM NaCl).

Bien que ce travail ait tenté de caractériser la réaction des vitro-plant du pistachier de l'atlas « *Pistacia atlantica* Desf. » vis-a-vis du stress salin, en se basant sur des critères morphologiques et physiologiques au stade de la germination et au stade de la croissance, rendant compte de l'aptitude de l'espèce étudiée à supporter le sel et sur la base de quelques critères physiologiques dans des conditions contrôlées, plusieurs autres questions restent encore posées et nécessitent d'être approfondies à savoir:

- l'étude de ces paramètres en fonction des stades de développement afin de déterminer le stade le plus sensible et celui à partir duquel le sel n'a plus d'effet.

- L'identification des osmoticums comme la proline et les sucres solubles, car il est connu que, l'ajustement osmotique est l'un des plus efficaces mécanismes utilisés par les plantes, en conditions de stress salin.

- Ainsi qu'une étude génétique pour identifier les gènes responsables de la tolérance à la salinité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- **Ahmad, J., Bano, M.**, “The effect of sodium chloride on the physiology of cotyledons and mobilization of reserve food in *Cicer arietinum*”. Pak. J. Bot. 24 (1992), 40-48.
- **Alem, C. et Amri, A.**, “Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l’orge”. Reviews in Biology and Biotechnology, V. 4, (2005).
- **Aleta, N., Ninot, A., Rouskas, D., Zakinthinos, G., Avanzato, D. et Mendes, Gaspar A.**, “La multiplication du Pistachier. Rev Option méditerranéenne. Améliorat d'espèces à fruits à coque: Noyer, Amandier, Pistachier”. Série B: Etudes et recherches N° 16, Ed. E, Germain, (1997), 121-132.
- **Aoudjit, H. et Mouissa, H.**, “Contribution à l'étude de la propagation végétative du pistachier de l'Atlas”, Mémoire d'ing., Inst. nati. agro., El-Harrach, (1997), 61p.
- **Arbaoui, M., Benkhalif, M. et Belkhodja, M.**, “Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile”. CIHEAM – Options Méditerranéennes, (1999), 167-178.
- **Asloun, H.**, “Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate : *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres”, Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia Antipolis, (1990), 24-32.

B

- **Baba Aissa, F.**, “Encyclopédie des plantes utiles: Flore d'Algérie et du Maghreb”, Ed. EDAS, (2000), 217p.
- **Baba Sidi-Kaci, S.**, “Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l’Atriplex en vue d’une valorisation agronomique”, Mémoire magister : agronomie saharienne, Option : Gestion des agrosystèmes sahariens, Algérie, (2010), 133 p.
- **Benaradj, A., Boucherit, H., Bouazza, M. et Hasnaoui, O.**, “Ethnobotanique du pistachier de l’atlas (*Pistacia atlantica*) auprès la population de Béchar (Algérie occidentale) ”, Journal of Advanced Research in Science and Technology, 2(1), (2015), 139-146.

- **Belhadj, S.**, “Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation”, *Cahier Option Méditerranéenne*, 56 (2001), 107-109.
- **Belkhodja, M. et Ouis, M.**, “Réponse protéique d’une halophyte face aux stress salin”, Laboratoire de physiologie végétale, faculté des sciences Université Es-Senia, Oran, Algérie, (2009), 16-24.
- **Belkhodja, M. et Benkabilia, M.**, “Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress”, *Egypt. J. Agric. Res.* 78 (1), (2000), 185-195.
- **Belkhodja, M. et Bidai, Y.**, “Analyse de la proline pour l’étude de la résistance d’une halophyte *Atriplex halimus* L. à la salinité”. Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d’Oran - Algérie, (2007), 8p.
- **Benchallal, A., Oukil, A. et Belhadi Aissa, A.**, “Identification et détection, par imagerie satellitaire, de la dégradation des sols par la salinité dans la cuvette d’Ouargla. Sud de l’Algérie”. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, BP. 32, El Alia, Bab Ezzouar, 1611, Alger, Algérie, (2009), 1.
- **Benhssaini, H. et Belkhodja, M.**, “Le pistachier de l’Atlas en Algérie entre la survie et disparition: La feuille et l’aiguille”, 54 (2004), 1-2.
- **Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W.J., Lambert, C., Savio, C., Uozumi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., Gosti, F., Simonneau, T., Essah, P.A., Tester, M., Very, A-A., Sentenac, H. et Casse, F.**, “Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance”. *Embo Journal*, 22 (2003), 2004-2014.
- **Bliss, R.D., Platt-Aloria, K.A. et Thomson, W.W.**, “Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds”. *Plant Cell and Env.*, 9 (1986), 721-725.
- **Bonne, T., Masimbert, M. et Villar, M.**, “La maîtrise de la reproduction sexuée”, *Rev. For. Fr.*, XXXVIII, (1986), 49-58.
- **Borsani, O., Valpuesta, V., Botella, MA.**, “Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach”. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 73: (2003), 101–115
- **Bouaouina, S., Zid, E. et Hajji, M.**, “Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) ”. In: Royo, C., Nachit, M.M., Di Fonzo, N. et Araus, J.L., éd. *L’amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : nouveaux défis*. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, (2000), 239-243.

C

- **Bouchoukh, I.**, “Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin”. Mémoire magistère. Univ. Mentouri – Constantine, (2010), 112p.
- **Bourgeois-Chaillou, P., Pérès-Alfocéa, F., Guerrier, G.**, “Evolution ontogénique de la tolérance au NaCl chez le soja : comparaison des réponses au sel à deux stades de développement et chez les calcs correspondants”, *Can. J. Bot.*, 70 (1992), 1346-54.
- **Bouزيد, S.**, “Etude de l’effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysiological de deux variétés de plantes de l’espèce *Phaseolus vulgaris* L.”, Mémoire magistère, Univ. Mentouri Constantine, (2010), 124p.
- **Boxus, PH.**, “Multiplication végétative, micropropagation et embryogenèse somatique (Biotechnologie végétale) ”, Ed. Belgique, (1995), 191p.
- **Calu, G.**, “Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*”. Master1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule SpectroSciences, article 23. (2006), 10 p.
- **Calvet, R.**, “Le sol, propriétés et fonctions. Phénomènes physiques et chimiques, Applications agronomiques et environnementales”. Tome 2. Ed.France agricole, (2003), 287-291.
- **Cengiz, K., Muhammed, A., Osman, S., Salih, A., Atilla Levent, T., Mehmet Ali, C.**, “The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity”. *Scientia Horticulturae* 121 (2009), 1–6.
- **Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H. et Masclaux-Daubresse, C.**, “Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy”. *Plant Cell Physiol*, (2004), 1681–1693
- **Charreau, C.I. et Fauck, R.**, “Les sols du Sénégal”, ORSTOM fond documentaire, (1965), 105p.
- **Chartzoulakis, K. et Klapaki, G.**, “Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages”. *Scientia Horticulturae*, 86 (2000), 247-260.
- **Chaussat, R. et Bigot, C.**, “La multiplication végétative des plantes”, Ed. Gauthier et Villars, Paris, (1980), 277p.
- **Chaussod, R., Nicolardo, B. et Gatroux, G.**, “Mesure en routine de la biomasse

microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme”. *Sci. Soil.* 2 (1986), 201-211.

- **Chen, T.H.H., Murata, N .,** “ Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes”, *current opinionin Plant Biology*, 5 (2002) 257.
- **CIHEAM-Options Méditerranéennes, Série B:** Etudes et recherches, n° 16, (1997), 133-142.
- **Cîteau, L., Bispo, A., Bardy, et King, D.,** “Gestion durable des sols”. Edit. Quae, (2008), 336p.
- **Côme, D.,** Ed. Masson et Cie, Paris.1970, 162.
- **Dagneli, P.,** “Théories et méthode statistiques. Application agronomiques”. Vol I. La statistique descriptive et les fondements de l'interférence statistique. *Press Agronomique de Gembloux.* (1975) 378p.
- **Djekoun, A., Benderradji, L., Bouzerzour, H., Kelloul, N., Ykhlef, K., Brini, F. et Masmoudi, K.,** “Etude des mécanismes de tolérance a la salinité chez deux variétés de blé tendre (*triticum aestivum* l.) soumises à un stress salin”. *Sciences & technologie c – n° 32,* (2010), 23-30.
- **Dommergue, Y.,** “Contribution à l'étude de la dynamique de simulation application aux sols salés du Tchad”, *Sci. Soil,* 46 (1962), 177p.
- **Donahue, L.,** “Nature des sols et croissance végétale”. Ed. Intercontinental Inc. New York, (1958), 281-286.
- **Dubey, R.S. et Rani, M.,** “Influence of NaCl salinity on the behaviour of protease, aminopeptidase and carboxyl-peptidase in rice seedlings in relation to salt tolerance”. *Australian Journal of Plant Physiology,* 17 (1995), 215-224.
- **Duchaufour, Ph.,** “Pédologie : pédogénèse et classification”. Ed. Masson, (1983), 468-481.

D

- **El djaafari, S.,** Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance: Definin physiological traits and criteria. *Option Mediterranean,* 40 (2000) 256.
- **El Hendawy, S.E.S.,** “Salinity tolerance in Egyptian Spring Wheat”, Thèse de Doctorat du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* V.11, n° 3, (2004), 235-244
- **El-Iklil, Y., Karrou, M., Mrabet, R. et Benichou, M.,** “Effet du stress salin sur la variation de certains metabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon*

sheesmanii”, Centre Aridoculture, INRA, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
Entomologiste 84 (4), (Décembre 2001), 474-483. Environnement, V. 11, n° 3,
(2001), 235- 244.

- **El Midaoui, M., Benbella, M., Ait Houssa, A., Ibriz, M. et Talouizte, A.,** “Contribution à l’étude de quelques mécanismes d’adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) ”, Revue HTE n° 136, (mars 2007), 29-34.
- **Emberger, L.,** “Les végétaux vasculaires”, T. II, Fasc. I in Chadeaud et Emberger L. Traite de botanique et systématique. Ed. Masson et C^{ie}, (1960) 262p.
- **Evreinoff, A.V.,** “Note sur le pistachier”, Pomologie Française, V. 1, (1964), 115-123.

F

- **FAO.,** Conférence électronique sur la salinisation : Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation éd IPTRID, (2006), 4.
- **Feigin, A., Pressman, E., Imas, P., Milta, O.,** “Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage”. Irrig.Sci. 12 (1991), 223–230.

G

- **Gaspar, T.,** New growth regulators in tissue culture. Proceedings of the BPTCG autumn symposium: "New hormones in the control of plant cell, tissue and organ culture". Ulg. (November 18th 1994).
- **Grattan, S.R., Grieve, C.M.,** “Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments”. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, (1994), 203–226.

H

- **Hadjadj, S.,** “Contribution à l’étude de l’effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d’*Atriplex halimus* L. et d’*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt”. Mémoire de Magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Univer Kasdi Merbah Ouargla, (2009), 100p.
- **Haouala, F., Ferjani, H. et Ben El-Hadj, S.,** “Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent”. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, V. 11, n° 3, (2007), 235- 244.
- **Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. et Bohnert, H.J.,** “Plant cellular and molecular responses to high salinity”, Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51 (2000), 463-499.
- **Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M. et Kaid- Harche, M.,** “Effet de la salinité

sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare* L.) ”, European Journal of Scientific Research, V. 23, n° 1, (2008), 61-69.

- **Hatimi, A., Elghazouli & Saadi, B.**, Effet de la salinité sur l'association symbiotes racinaires- *Accacia cyanophylla*. Actes du colloque international sur les ressources végétales “L'Arganier et les plantes des zones arides et semi-arides”, Faculté des Sciences, Agadir, 23-25 avril pp. (1998), 38-44

J

- **Jaleel, A. C., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M. A., Sridharan, R. et Panneerselvam, R.**, “NaCl as a physiological modulator of proline metabolism and antioxidant potential in *Phyllanthus amarus* ” *C. R. Biologies*, 330 (2007), 806–813.
- **Joley, L.E.**, “Pistachios”. Dans : *Nut Tree Culture in North America*, Jaynes R. A. (éd), The North American Nut Growers Association, Hamden, CT, (1979), 163-174.

K

- **Kaddour, A.**, “Contribution à l'étude du comportement morpho-physiologique et biochimique de *Pistacia atlantica* Desf.sp. *atlantica*, stressée à la salinité”. Thèse. Mag. Université d'oran. (2008), 59p.
- **Kaska, N., Caglar, S. et Kafkas, S.**, “Genetic diversity and germplasm conservation of *Pistacia* species in Turkey”. in Padulosi S.; Caruso T. et Barone S. «Taxonomy, Distribution, Conservation and Uses of *Pistacia* Genetic Resources». Ed. IPGRI Workshop, Palermo, Italy, 2 (1996), 46-50.
- **Khalif, T.**, “Recherche sur la culture du pistachier”, Thèse de doctorat, Université de Gembloux, (1959), 150p.
- **Khichane, M.**, “Etude de la morphogenèse et des rythmes de croissance de système racinaire du jojoba (*Simmondsia chinensis* Link.) et de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): Essai de production de plants en pépinière”, Mémoire d'ing., Inst. nati. agro., El-Harrach, (1988), 68p.
- **Khelil, A. et Khellal, A.**, “Possibilité de culture et délimitation des zones à vocation Pistachier en Algérie”, pp: 177-185. Institut de recherche sur les Fruits et Agrumes. Ed. FRUIAS, V. 35, n° 3, (1980), 137-202.

- **Kozlowski, T.T. et Pallardy, S.G.**, “Physiology of woody plants”. 2nd Edn. Academic Press, San Diego, (1997).

L

- **Lallouche, B.**, “Propagation *in vitro* et *ex vitro* de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) en tant que porte-greffe, en vue d'un microgreffage avec le pistachier vrai (*Pistacia vera* L.) ”. Th., Ing., Saad Dahlab, Blida, (2003), 59p.
- **Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., Casse**

M

- Delbart, F.**, “Les plantes face au stress salin”, Cah Agric 4 (1995), 263-73.
- **Levitt, L.K.**, “Promotion of stomatal opening by indoleacetic acid and ethrel in epidermal strips of *Vicia faba* L.”, *Edit. Plant Physiology*, Vol. 85, pp318 (1980) 321.
 - **Maggs, D.H.**, “Genetic resources in pistachio”. Plant Genetics Resources Newsletter, 29 (1973), 7-15.
 - **Maillard, J.**, “Le point sur l’Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations”. Handicap International, (Novembre 2001), 35p.
 - **Margara, J.**, “Bases de la multiplication végétative (Les méristèmes et l'organogénèse) ”, Ed. INRA, Paris, (1989), 230p.
 - **Marlet, S. et Job, J.O.**, “Processus et gestion de la salinité des sols”. In : Tiercelin J.R., *Traité d’irrigation*, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier, (2006), 2.
 - **Martin, C.**, “La multiplication végétative *in vitro*: une technique de pointe au service de l'agriculture”, C.R. Acad. Agr. Fr., 66 (1981), 629- 637.
 - **Mazliak, P.**, “Physiologie végétale, croissance et développement”, T. 2, (1982).
 - **Mazoyer, M.**, “Larousse Agricole”, Ed. Larousse/UUEF, Québec, (2002), 767p.
 - **Messedi, D., Slama, I., Laabidi, N., Ghnaya, T., Savoure, A., Soltani, and Abdelly, C.**, “Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*” in : *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*, Ozlturk M., Waisel Y, Khan M.A. and Gork G., (2006) 65-72.
 - **Mohammad, M., Shibli, R., Ajouni, M. and Nimri, L.**, “Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition”, *J. Plant Nutr.*, 21 (1998), 1667–1680.
 - **Monastra, F., Rovira, M., Vargas, F.J., Romero, M.A., Batlle, I., Roukas, D. et Mendes Gaspar, A.**, “Caractérisation isoenzymatique de diverses espèces du genre *Pistacia* et leurs hybrides: Etude de leur comportement comme porte-greffe du pistachier *Pisfacia vera* L. ”, Ed.
 - **Mondal, T.K., Bal, A.R. et Pal, S.**, “Effect of salinity on germination and seedling growth of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars”, *J. Indian Soc. Coast. Agric. Res.*, 6 (1988), 91–97.
 - **Monjauze, A.**, “Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie”, *Bull. Soc. His. Nat. de l'Afrique du Nord*, T. 56-2, (1968), 128p.
 - **Monjauze, A.**, “Connaissance du bétoum (*Pistacia atlantica* Desf.) ”, *Biologie et*

Forêt. *Rev. For. Fr.*, XXXII, 4 (1980), 357-363.

- **Monjauze, A.**, “Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara algérien”, *Biologie et Forêt. Rev. For. Fr.*, XXXIV, 4 (1982), 277-291.
- **Monneveux, P.**, Les céréales à paille : présentation générale in Amélioration des espèces végétales cultivées. Edit. INRA. Paris, pp. 13 (1989) 21.
- **Morsli, A.**, “Analyse de la floraison et de la structure sexuelle d'un peuplement de *Pistacia atlantica* Desf. dans une daya de la région de Messaad”, *Mémoire d'ing.*, Inst. nati. agro., El-Harrach, (1992), 57p.
- **Muller, C.**, “Le point sur la conservation des semences forestières et la levée de dormance”, *Rev. For. Fr.*, V. 38, n° 3, (1986), 202-204.
- **Munns, R., Tester, M.**, “Mechanisms of salinity tolerance”, *Annu. Rev. Plant Biol.* 59 (2008), 651–681 p.
- **Murillo-amador, B., Troyo-dieguez, E., Hernandez, J. L. G., Lopezaguilar, R., Avila-serrano, N. Y., Zamora-salgado, S., Rueda-puente, E. O. et Kaya, C.**, “Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth”, *Scientia Horticulturae*. (2006).

N

- **Niu, G., Rodriguez, D.S., Starman, T.**, “Response of bedding plants to saline water irrigation”, *Hort Science* 45 (4): (2010), 628–636.
- **Niu, X., Rsessan, R.A., Hasegawa, P.M. et Pardo, J.M.**, “Ion homeostasis in NaCl stress environments”, *Plant Physiology*. 109 (3): (1995), 735-742.

O

- **Oukara, F.Z., Chaouia, C. et Assel, A.**, “Effet du stress salin sur la germination des graines du pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* Desf. ”, *Agrobiologia* 5 (2014), 53-56.
- **Oukara, FZ., Assel, A., Baghlal, K., et Chaouia, C.**, “Effet du NaCl sur les parametres morphologiques physiologiques et biochimiques du pistachier de l'atlas *Pistacia atlantica* Desf. ”, *Revue Agrobiologia* 2014; N°6, (2014), 67-74.
- **Ozenda, P.**, “Flore du Sahara”, Ed. CNRS, Paris, (1977), 622p.

P

- **Paillet, P. et Lazure, P.**, “Modification du régime de salinité / SRM MMN”, Ifremer/DYNECO, Agence des aires marines protégées, Brest, (2011), 6.
- **Poljakoff-Mayber, A.**, “Morphological and anatomical changens as a 17. Springer”, Berlin. Analysis and Synthesis (POLJAKOFF-MAYBER, A. et GALE, J., Eds). Vol. 15: 97-1 polytechnique fédérale de Lausanne, (1975), 23 p.
- **Pourrat, Y., Dutuit, P.**, “Etude précoce des effets morphologiques et physiologiques

du rapport sodium/calcium *in vitro* sur une population d'*Atriplex halimus*", in : J. Dubois, Y. Demarly (Eds.), Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Editions John Libbey Eurotext, (1994), 283–295.

R

- **Raache, I. et Karboussa-Haloua, R.**, "Caractérisation morphologique et anatomique de quelques espèces halophiles dans la cuvette de Ouargla". Mémoire Ingénieur, Université de Ouargla, (2004), 67p.
- **Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. et Drez, P.**, "Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave". Agricultural Sciences. V. 27, n° 1, (2000), 72-77.
- **Rains, D.W.**, "Salt transport by plants in relation to salinity". *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 23 (1972), 367-388.
- **Rasanen, L.A.**, "Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes Acacia and Prosopis". Academic dissertation in microbiology. Helsinki. Thesis. (2002), 80p.
- **Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. et McNab, A.**, "Application of Physiology in Wheat Breeding". Mexico, D.F.: CIMMYT, (2001), 101-111.
- **Robert, M.**, "Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement", Ed. Msson, Paris, (1996), 96-101.
- **Rouskas, D.**, "Conservation strategies of *Pistacia* genetic resources in Greece", Dans workshop "Taxonomy, Distribution, Conservation and Uses of *Pistacia* genetic resources" Palermo, Italie, 1995, Padulosi S. Caruso, et Barone, E. IPGRI. (1996), 37-41.

S

- **Sahli, F.**, "Note sur deux espèces sahariennes le cyprès du Tassili et le pistachier de l'Atlas", journées d'étude sur les zones arides et sahariennes. Wilaya de Ghardaïa. Publication de l'Institut National de Recherche Forestière (INRF), (du 08 au 10 Avril 1997), 34-39.
- **Seigne, A.**, "La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes: Techniques Agricoles et Productions Méditerranéennes", Ed. G.P. Maisonneuve et Larousse, Paris, (1985), 137-141
- **Shakespeare, W.**, "La physiologie des plantes soumises aux stress", In: Physiologie végétale, Ed. De Boeck et Larcier, Bruxelles, (2003), 451- 475.
- **Slama, F.**, "Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. Colloque sur les végétaux en milieu aride", Jerba,

Tunisie, (8-10 septembre 1986). Tunis : Agence de coopération culturelle et technique, (1986), 460-473

- T**
- **Snoussi, S.A., Halitim, A., Valles, V.**, Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Agriculture*, 13 (2004) 287.
 - **Stengel, P. et Gelin, S.**, “Sol interface fragile”. Ed. INRA, Paris, (1998), 109-127.
 - **Tahri, E.H., Belabed, A.M. et Sadki, K.**, “Effet d’un stress osmotique sur l’accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*) ”, Université Mohamed Premier. Maroc. Bulletin de l’Institut Scientifique, Rabat, 1997-1998, n° 21, (1998), 81-87.
- U**
- **Uchiyama, Y.**, “salt tolerance of *Atriplex nummularia*”, Tech. Bull. Trop. Agrc. Res. Cent. 22 (1987), 1-69.
 - **Ungar, IA.**, “Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae) ”, Am. J. Bot. 83 (1996), 604-7
- W**
- **Wang, Y. et Nil, N.**, “Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress”. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75 (2000), 623-627.
 - **Whitehouse, W.E.**, “The pistachio nut, a new crop for the Western United States”, Econ. Bot., (1957), 281-321.
 - **Woodroof, J.G.**, “The nuts, Production processing products”, The AVI. Publishing Comp . Inc. Westport Connecticut., 2nd Ed., V. 3, (1979), 261-287.
- Y**
- **Yaaqobi, A; El Hafid, L. et Haloui, B.**, “Etude Biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc”, Université Mohamed I, Oujda (Maroc). V. 3, n° 6, (2005), 39-49.
 - **Yupsanis, T., Moustakas, M., Domiandou, K.**, “Protein phosphorylation dephosphorylation in alfalfa seeds germination under salt stress”. *Journal of Plant Physiology*, 143 (1994), 234-240.
- Z**
- **Zhang, J., Nguyen, H.T. et Blumo, A.**, “Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plant ”, *Journal of exp. Bot.*, 50, (1999), 322 p.
 - **Zid, E. et Grignon, C.**, “Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L’amélioration des plantes pour l’adaptation aux milieux arides”, Ed. Aupelf-Uref. John Libbey. Eurotext, Paris, (1991), 91-108.

