



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA 01

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT de Biotechnologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Spécialité : Biotechnologie végétale

THÈME

**Stratégies d'adaptation aux stress abiotiques du
pistachier de l'Atlas**

Pistacia atlantica Desf.

Présenté par :

- ❖ ACHOUR Rachid.
- ❖ TEBBAL Nesrine.

Devant le jury :

Mme BENREBIHA F.Z.	Professeur	USD. Blida 1	Présidente
Mme CHAOUIA C.	MCA	USD. Blida 1	Promotrice
Mme MOUAS Y.	MCB	USD. Blida 1	Examinatrice
M ^{lle} CASASNI L.	Doctorante	USD. Blida 1	Co-promotrice

Année universitaire : 2017/2018.

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur **Mme CHAOUIA C.**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Nous adressons tous nos remerciements à **Mme OUKARA F.Z.** qui été présente, en particulier lorsque je me suis confrontée au doute. Nous sommes reconnaissants également à **M^{lle} CASASNI L.** pour sa grande disponibilité, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques et humains.*

*Nos vifs remerciements s'étendent également au présidente de jury Professeur **BENREBIHA F.Z.** qui a bien voulu accepter de nous faire le grand honneur de présider le jury de ce mémoire et à notre examinatrice **Mme MOUAS Y.** pour l'intérêt qu'elle a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par ces propositions
Ma gratitude va également à Mr **DEGAÏCHIA H.** qui nous a aidé à traiter nos résultats statistiquement.*

*Nous tenons à remercier également **M^{me} Souhila**, technicienne de laboratoire d'Amélioration des plantes, et aussi nous voulons remercier **M^{me} Karima**, technicienne de laboratoire de physiologie et **Mr. Abd El Rahman** technicien du laboratoire de Biotechnologie végétale pour leurs aides et leurs encouragements.*

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Ce travail n'aurait pas été efficace sans la contribution de nombreuses personnes dont le savoir être et le savoir-faire méritent d'être souligné.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire à :

Ma première source d'amour et de force, à savoir ma mère, ma très douce maman pour tous les sacrifices qu'une mère a fait si fièrement pour ses enfants.

A mon frère Mohamed et mes tantes Faiza, Meriem et Razika

A toute ma famille qui m'a encouragé tout le long de mon parcours d'études et que je leur souhaite une vie heureuse et pleine de réussite.

A mes amies : Sif eddine, Youcef et Mohamed, Sirine et Nesrine.

Et aussi à toutes les personnes qui ont toujours été là pour me soutenir.

Merci infiniment.

Rachid

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire à :

Ma première source d'amour et de force, à savoir mes parents. A ma très douce maman pour tous les sacrifices qu'une mère fait si fièrement pour ses enfants.

A mon cher papa que j'aime énormément, qui me soutiens à tout moment je lui confirme mon attachement et mon respect profond.

A ma chère sœur Rym et son mari Aissa

Qui m'ont encouragé tous le long de mon parcours d'étude et que je leurs souhaite une vie heureuse et pleine de réussite.

A mes deux chers frères Oussama et Anis

Et mes petits neveux d'amour Ramzy, Chakib et Sohaïb

Que j'aime très fort et leur souhaite que de la réussite Inchallah.

Et mes amies : Sirine, Khalil, Maroua, Sarra, Sif eddine et Aymen.

Et mon cher binôme Rachid.

Et aussi à toutes les personnes qui ont toujours été là pour me soutenir.

Merci infiniment.

Nesrine

REMERCIEMENT

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION.....	1
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
CHAPITRE I : Présentation de l'espèce.....	3
1. Description de l'espèce.....	3
2. Historique et origine.....	3
2.1. Historique.....	3
2.2. Origine.....	3
3. Régénération.....	4
4. Répartition.....	5
4.1. Dans le monde.....	5
4.2. En Algérie.....	6
5. Exigences écologiques.....	7
5.1. Pluviométrie.....	7
5.2. Températures.....	7
5.3. Lumière.....	8
5.4. Sol.....	8
5.5. Altitude.....	8
5.6. Vent.....	8
6. Intérêt.....	9
6.1. Agro économique.....	9

6.2.	Alimentation.....	9
6.3.	Médicinal.....	10
6.4.	Fourrage.....	10
7.	Facteurs ayant contribué à la dégradation du pistachier de l'Atlas.....	10
CHAPITRE II : Caractérisation de l'espèce.....		11
1.	Classification et Nomenclature.....	11
2.	Caractéristique de l'espèce.....	11
2.1.	Racine.....	12
2.2.	Feuille.....	13
2.3.	Inflorescence.....	14
2.4.	Fleurs.....	14
2.5.	Fruit.....	16
2.6.	Graine.....	17
CHAPITRE III : Stress abiotique.....		18
1.	STRESS HYDRIQUE.....	19
1.1.	Sécheresse.....	19
1.2.	Caractéristiques hydrique.....	20
1.2.1.	Rôle de l'eau dans la plante.....	20
1.2.2.	Eau dans le sol.....	21
1.3.	Contraintes hydriques	21
1.3.1.	Effets du déficit hydrique sur les plantes.....	22
1.3.2.	Réponses des plantes à la sécheresse.....	22
1.4.	Adaptation des plantes au stress hydrique.....	23
1.4.1.	Adaptations physiologiques.....	23
1.4.2.	Adaptations morphologiques.....	23
1.4.3.	Adaptations métaboliques.....	23
2.	STRESS SALIN.....	24

2.1.	Généralités sur la salinité chez les végétaux.....	24
2.1.1.	Stress.....	24
2.1.2.	Salinité.....	24
2.1.3.	Salinisation.....	24
2.2.	Processus de la salinisation et de l'alcalinisation des sols.....	25
2.3.	Types de salinité.....	25
2.3.1.	Salinisation primaire.....	25
2.3.2.	Salinisation secondaire.....	25
2.4.	Origines et causes de la salinité.....	26
2.5.	Principaux sels responsables de la salinité.....	26
2.6.	Composants de la salinité.....	26
2.6.1.	Stress osmotique.....	27
2.6.2.	Stress ionique.....	27
2.6.3.	Stress nutritionnel.....	27
2.6.4.	Stress oxydatif.....	28
2.7.	Importance des sols salés dans le monde et en Algérie.....	28
2.8.	Classification des sols salins.....	29
2.9.	Caractéristiques des sols salins.....	29
2.10.	Impact de la salinité sur les sols	31
2.11.	Impact de la salinité sur la plante.....	31
2.11.1.	Effet de la salinité sur la germination et la levée.....	31
2.11.2.	Effet de la salinité sur la morphologie de la plante.....	32
2.11.3.	Effet de la salinité sur la physiologie de la plante.....	33
2.11.4.	Effet de la salinité sur le rendement agronomique.....	33
2.12.	Réponse et stratégie adaptative de la plante aux stress salin.....	33
2.12.1.	Ajustement osmotique.....	35
2.12.2.	Accumulation de la proline.....	35

2.12.3. Sucres solubles.....	35
2.13. Lutte contre la salinisation des sols.....	35
PARTIE EXPERIMENTALE.....	37
CHAPITRE I : Matériel et méthodes.....	37
1. Prélèvement du matériel végétal.....	37
2. Site expérimental.....	37
3. Méthodes utilisées pour les essais de germination.....	38
3.1. Essai 1.....	38
3.2. Essai 2.....	38
3.3. Essai 3.....	39
4. Effet de stress abiotique sur la germination	39
5. Effet du stress sur la croissance.....	41
5.1. Stress salin.....	43
5.1.1. Préparation des solutions salines.....	44
5.2. Stress hydrique.....	45
6. Paramètres étudiés.....	46
6.1. Paramètres de germination.....	46
6.1.1. Taux de germination.....	46
6.1.2. Cinétique de germination.....	47
6.1.3. Vitesse de germination.....	47
6.1.4. Inhibition de la germination.....	47
6.2. Paramètres de croissance.....	48
6.2.1. Teneur relative en eau (Relative Water Content=RWC)	48
6.2.2. Chlorophylles et caroténoïdes.....	48
6.2.3. Proline.....	49
6.2.4. Dosage des sucres solubles.....	50
6.3. Analyse statistique.....	51

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION.....	52
1. PRETRAITEMENTS.....	52
1.1. Taux de germination.....	52
1.2. Cinétique de la germination.....	53
2. Comparaison de la germination des graines issues de 3 campagnes.....	53
2.1. Taux de germination.....	53
2.2. Cinétique de germination.....	54
3. EFFET DU STRESS SALIN ET HYDRIQUE SUR LA GERMINATION	56
3.1. Effet du NaCl sur la germination.....	56
3.1.1. Taux de germination (TG %)......	56
3.1.2. Cinétique de germination.....	57
3.1.3. Temps moyen de germination.....	58
3.1.4. Inhibition de la germination.....	59
3.2. Effet du PEG 6000 sur la germination.....	60
3.2.1. Taux de germination.....	60
3.2.2. Cinétique de germination.....	61
3.2.3. Temps moyen de germination.....	62
3.2.4. Inhibition de la germination.....	63
4. EFFET DU STRESS SALIN ET STRESS HYDRIQUE SUR LES PLANTULES DU PISTACHIER DE L'ATLAS.....	64
4.1. STRESS SALIN.....	64
4.1.1. Teneur en proline.....	64
4.1.2. Teneur en sucres solubles totaux.....	66
4.1.3. Teneur en pigments chlorophylliens.....	67
4.1.3.1. Chlorophylle (a) et (b).....	67
4.1.3.2. Chlorophylle totale.....	68
4.1.3.3. Caroténoïdes.....	69

4.2. STRESS HYDRIQUE.....	70
4.2.1. Teneur en proline.....	70
4.2.2. Teneur en sucres solubles totaux.....	71
4.2.3. Teneur en pigments chlorophylliens.....	72
4.2.3.1. Chlorophylle (a) et (b).....	73
4.2.3.2. Chlorophylle totale.....	74
4.2.3.3. Caroténoïdes.....	75
4.2.4. Teneur relative en eau.....	76
Conclusion et perspectives.....	78

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Résumé

Dans le but d'une compréhension de la dynamique, de l'écophysiologie et des stratégies adaptatives du pistachier de l'Atlas vis-à-vis des stress environnementaux ainsi qu'une mise en valeur des potentialités de cette espèce, nous avons entrepris dans ce travail quelques expérimentations sur les capacités germinatives de cette espèce sous différents traitements en prenant en compte quelques paramètres de croissance des plantules.

Afin d'optimiser la germination des graines de *Pistacia atlantica* Desf., plusieurs prétraitements ont été testés. Les résultats obtenus montrent que la stérilisation des graines à l'hypochlorite de calcium (CaClO) et l'utilisation des graines de l'année (campagne 2017) a permis d'enregistrer un taux de germination élevé atteignant 89%.

L'analyse du comportement des plantules au stress salin a montré que ces dernières arrosées par l'eau saline de concentrations 100, 150, 200, 250 et 300 mM de NaCl durant 7 jours, varie en fonction de l'intensité de stress. La salinité stimule une accumulation importante d'osmorégulateurs. En effet, la proline et les sucres solubles marquent une augmentation progressive et importante au niveau des feuilles de pistachier avec 0.13 et 1.81 $\mu\text{g/g}$ MF respectivement pour 250 et 300 mM de NaCl. Les teneurs en pigments chlorophylliens également dépendent de l'intensité du stress à appliquer mais ces derniers subissent une diminution dès que la concentration s'élève.

Quant au stress hydrique, l'application d'un arrêt d'arrosage de 15 jours a montré une grande résistance de pistachier de l'Atlas à la sécheresse qui se manifeste par le maintien de la teneur en eau, d'environ 72% et qui très appréciable. Les teneurs en chlorophylles (a), (b) et les caroténoïdes diminuent en fonction de la durée de stress appliqué. Les teneurs en proline et en sucres solubles augmentent significativement et atteignent 0.07 $\mu\text{g/g}$ et 1.39 $\mu\text{g/g}$ respectivement.

Cette espèce est en dynamique régressive et nécessite plus d'attention dans les programmes du développement durable.

Mots clés: Pistachier de l'Atlas, Stress salin, stress hydrique, Chlorophylles, Proline, Sucres Solubles, TRE.

ملخص

من أجل فهم الإيكوفيزيولوجيا واستراتيجيات التكيف لشجرة الفستق الأطلسي فيما يتعلق بالضغط البيئية ولإبراز إمكانات هذا النوع ، قمنا ببعض التجارب على قدرات الانتاش لهذا النوع تحت علاجات مختلفة مع الأخذ بعين الاعتبار بعض المؤشرات عند نمو الشتلات .
من أجل تحسين إنبات بذور الفستق الأطلسي ، تم اختبار عدة ما قبل المعالجات. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن تعقيم البذور مع هيبوكلوريت الكالسيوم واستخدام بذور السنة جعل من الممكن تسجيل معدل إنبات عالٍ يصل إلى 89٪.

أظهر تحليل سلوك الشتلات مع الإجهاد الملحي أن هذا الأخير عندما يسقى بتركيزات المياه المالحة من 100 ، 150 ، 200 ، 250 و 300 ملي مولار كلوريد الصوديوم لمدة 7 أيام ، يختلف باختلاف شدة الإجهاد. البرولاين والسكريات القابلة للذوبان تميزت بزيادة تدريجية وكبيرة في أوراق الفستق مع 0.13 ميكروغرام / غرام و 1.81 ميكروغرام / غم على التوالي ل 250 و 300 ملي مولار كلوريد الصوديوم.

كما تعتمد كميته أصباغ الكلوروفيل على شدة الضغط الذي يتم تطبيقه ، ولكن هذه الأخيرة تخضع لانخفاض بمجرد أن يرتفع التركيز. أما بالنسبة إلى الإجهاد المائي ، فقد أظهر تطبيق لإيقاف الري 15 يوم متواصله، مقاومة عالية من طرف فستق أطلس للجفاف الذي يتجلى في الحفاظ على محتوى الرطوبة ، حيث قدرت أكبر نسبة انخفاض 64 ٪ .

تنخفض مستويات الكلوروفيل (أ) ، (ب) والكاروتينات مع مدة الإجهاد المطبقة. ترتفع مستويات البرولين والسكريات القابلة للذوبان بشكل كبير لتصل إلى 0.07 ميكروغرام / غرام و 1.39 ميكروغرام / غرام على التوالي.
هذا النوع يشهد تناقصا مستمرا في اعداده ويحتاج إلى المزيد من الاهتمام من طرف برامج التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية : الفستق الأطلسي, الانتاش , الإجهاد الملحي, الإجهاد المائي.

Abstract

In order to optimize seed germination of *Pistacia atlantica Desf.*, Several pretreatments were tested. The results obtained show that the sterilization of the seeds with calcium hypochlorite (CaClO) and the use of the seeds of the year have made it possible to record a high germination rate reaching 89%.

The analysis of the behavior of the seedlings with salt stress showed that watering with saline solutions with different concentrations of 100, 150, 200, 250 and 300 mM NaCl for 7 days varies according to the intensity of stress. Salinity stimulates a large accumulation of osmoregulators. Indeed, proline and soluble sugars marked a gradual and significant increase in pistachio leaves with 0.13 $\mu\text{g} / \text{g}$ and 1.81 $\mu\text{g} / \text{g}$ MF respectively for 250 and 300 mM NaCl. The contents of chlorophyll pigments also depend on the intensity of the stress to be applied, but the latter undergo a decrease as soon as the concentration rises.

As for water stress, the application of a 15-day watering shutdown showed a high resistance of Atlas pistachio to the drought which is manifested by the maintenance of the moisture content, where we record 72% . The levels of chlorophylls (a), (b) and carotenoids decrease with the duration of stress applied. The levels of proline and soluble sugars increase significantly and reach 0.07 $\mu\text{g} / \text{g}$ and 1.39 $\mu\text{g} / \text{g}$ respectively.

This species is regressively dynamic and needs more attention in sustainable development programs.

Key words: Atlas Pistachio, Salt stress, water stress, Chlorophylls, Proline, Soluble sugars, TRE.

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

Les plantes sont souvent soumises à de graves déficits hydriques dûs à une chute brutale de l'humidité et/ou à une augmentation de la température, et la fluctuation des précipitations. Beaucoup d'espèces peuvent subir un stress hydrique du fait de la diminution de la quantité, et la qualité d'eau dans le sol **CASALS (1996)**.

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

Aussi, la salinité des sols est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole. Elle résulte des processus naturels ou de l'irrigation des récoltes avec l'eau saline, caractérisant ainsi plusieurs régions arides et semi-arides du monde (**LEVIGNERON *et al.*, 1995 ; MELONI *et al.*, 2004**). (**CHEVERRY et ROBERT., 1993 ; HAMDY, 1999 ; HOUEROU, 2000 ; DREVON *et al.*, 2001 ; ANTIPOLIS, 2003**) notent qu'en méditerranée les sols affectés par la sécheresse dépassent les 40% dont 3.2 millions d'hectare en Algérie.

La salinité conduit les plantes à la toxicité ionique, au stress osmotique, à la déficience minérale et à un nombre de perturbations physiologiques et biochimiques importantes (**NEUMANN, 1997; YEO, 1998; HASEGAWA *et al.*, 2000 et MUNNS, 2002**).

Le taux élevé de sels dans les sols ou les eaux d'irrigation est une préoccupation environnementale majeure et un problème sérieux pour l'agriculture dans les régions arides et semi-arides (**LACHHAB *et al.*, 2013**). La sélection de plantes tolérantes à la salinité est une stratégie alternative, pour une agriculture correspondante à ces terres marginales (**DREVON *et al.*, 2001**).

Les végétaux ont un potentiel génétique considérable pour la tolérance des stress environnementaux (**ZID *et al.*, 1981**) et face à ces problèmes de stress, l'introduction d'arbres ou d'arbustes fourragers tolérants à la salinité et à la sécheresse est l'une des techniques utilisées possible pour la valorisation de ces sols marginaux. En Algérie, nous assistons à une perturbation écologique, qui s'exprime par un déplacement progressif des espèces végétales sahariennes vers les écosystèmes arides et ceux de l'aride vers le semi-aride (**QUEZEL ,2000**). Par conséquent, les différentes séries de végétations évoluent d'une manière régressive vers la disparition de nombreuses espèces de resquillage, tel que le caroubier, le pistachier de l'Atlas, etc. (**QUEZEL *et al.*, 1999**).

Les pistacheraies naturelles dont le pistachier de l'Atlas (le Bétoum) fait partie de celles à protéger et à mieux valoriser (**QUEZEL *et al.*, 1999 ; BENHASSAINI,2004**).

Le système racinaire puissant contribue au maintien du sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menace de désertification une bonne partie de la région où il existe (**ROGNON, 1996**). De plus, grâce à son effet ombrage et améliorateur du sol, il peut permettre une production agricole non négligeable dans les conditions climatiques actuelles. Enfin, de nombreux organismes vivants (faune, flore et microflore) sont directement liés à sa présence. La disparition du pistachier de l'Atlas entraînerait inéluctablement la disparition de plusieurs espèces, provoquant une diminution de la biodiversité dans la région (**DEMARTEAU, 2005**).

Malgré tous ces intérêts, on assiste à une régression alarmante des pistacheraies aussi bien en surface qu'en densité, essentiellement due à un déséquilibre écologique d'origine anthropique (**BELHADJ, 1999**). Son état de dégradation nécessite une prise en charge effective et immédiate (**BENHASSAIN et al., 2004**). En Algérie peu des travaux ont abordé l'écologie de cet arbre, le travail le plus ancien en Algérie s'est fait par **MANJAUZE en 1968**.

L'importance de cette espèce fait l'objet de notre étude, nous nous proposons dans ce travail d'étudier certains aspects physiologiques et biochimiques dans des conditions semi-contrôlées en appliquant des traitements avec une eau saline au NaCl à des différentes concentrations et un autre essai où les graines et les plantules sont stressées par arrêt d'arrosage.

Pour cela nous avons structuré notre document de la manière suivante :

- Dans une première partie nous abordons un aperçu bibliographique sur le Pistachier et les aspects stress abiotiques.
- Dans la seconde partie nous proposons une analyse des paramètres physiologiques en particulier la teneur relative en eau (TRE) et les teneurs en pigments chlorophylliens.
- La troisième et dernière partie est axée sur les paramètres biochimiques à travers une analyse foliaire des sucres solubles et la proline.
- Nous clôturons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Liste des abréviations

ABA : Applied Behavior Analysis (L'analyse du comportement appliquée).

CHI (a) : chlorophylles a.

CHL (b) : chlorophylles b.

D.O : densité optique.

µg/g : microgramme/ gramme.

MF : matières fraîches.

mM : millimolaire

NaCl : chlorure de sodium.

TG : taux de germination.

TMG : temps moyen de germination.

TRE : teneur relative en eau.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principales caractéristiques des sols salins et sodiques.....	30
Tableau 02 : Préparation des solutions de NaCl.....	40
Tableau 03 : Préparation des solutions du PEG.....	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Aire naturelle de <i>Pistacia atlantica</i> dans le monde.....	5
Figure 2 : Distribution de <i>Pistacia atlantica</i> en Algérie.....	6
Figure 3 : Vue générale d'un arbre du pistachier de l'atlas <i>Pistacia atlantica Desf</i>	12
Figure 4 : Feuilles composées de pistachier de l'Atlas	13
Figure 5 : Inflorescence mâle de pistachier de l'atlas	14
Figure 6: Inflorescence femelle de pistachier de l'atlas.....	14
Figure 7 : Fleur mâle isolée.....	15
Figure 8: Fleur femelle isolée	15
Figure 9: Fruits du pistachier de l'atlas.....	16
Figure10: Fruits du pistachier de l'Atlas à la nouaison.....	17
Figure 11 : Graines de <i>Pistacia atlantica</i> de la région Djelfa.....	17
Figure 12 : Complexité des plantes à la réponse aux différents stress abiotiques.....	18
Figure 13: Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes.....	34
Figure 14: Serre expérimentale du Département de Biotechnologies.....	37
Figure 15 : Vue générale des plantules mises en gobelets.....	41
Figure 16 : Obtention d'une plantule de pistachier de l'Atlas vigoureuse prête à être transplantée en pots.....	42
Figure 17 : Plantules du pistachier de l'Atlas après repiquage.....	42
Figure 18: Dispositif expérimental (STRESS SALIN).....	43
Figure 19: Vue générale du Bloc aléatoire (STRESS SALIN).....	44
Figure 20: Dispositif expérimental. (STRESS HYDRIQUE).....	45
Figure 21 : Vue générale du bloc aléatoire (STRESS hydrique).....	46
Figure 22: Variation du taux de germination final des prétraitements testés.....	52
Figure 23 : Cinétique de la germination des 3 essais de prétraitements testés.....	53
Figure 24 : Variation du taux de germination des 3 campagnes testés.....	54
Figure 25 : Cinétique de la germination des graines issues de 3 campagnes.....	55

Figure 26 : Variation du taux de germination des graines du pistachier.....	56
Figure 27: Cinétique de germination des graines.....	57
Figure 28: Variation du temps moyen de germination des graines soumises au stress salin.....	58
Figure 29: variation des taux d'inhibition de germination (stress salin).....	59
Figure 30 : Variation du taux de germination des graines soumises au stress hydrique..	60
Figure 31: Cinétique de la germination des graines soumises au stress hydrique.....	61
Figure 32: Variation du temps de germination des graines soumises au stress hydrique.	62
Figure 33: Variation du taux de l'inhibition de germination au stress hydrique.....	63
Figure 34: Variation de la teneur en proline dans les plantules soumises au stress..... salin	64
Figure 35 : Variation des sucres solubles dans les feuilles des plantules soumises autres salin.....	66
Figure 36: Variation de la teneur en chlorophylles (a) et (b) des plantules soumises au stress salin.....	67
Figure 37: Variation de la teneur en chlorophylle totale pour les plantules soumises au stress salin.....	68
Figure 38: Variation des teneurs en caroténoïdes des plantules soumises au stress salin.....	69
Figure 39: Variation de la teneur en proline des plantules soumises au stress hydrique..	70
Figure 40: Variation de la teneur en sucres solubles dans les feuilles des plantules soumises au stress hydrique.....	71
Figure 41: Variation de la teneur en pigments chlorophylliens (a) et (b) dans les feuilles des plantules soumises au stress hydrique.....	73
Figure 42: Variation de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles des plantules soumises au stress hydrique.....	74
Figure 43: Variation de la teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantules soumises au stress hydrique.....	75
Figure 44: Variation des pourcentages de la teneur relative en eau dans les feuilles des plantules soumises au stress hydrique.....	76

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

1. PRETRAITEMENTS

1.1. Taux de germination

Le test effectué sur des graines des 3 campagnes (2015, 2016 et 2017) montrent que les résultats obtenus des 3 essais de prétraitements testés indiquent que le meilleur taux de germination est celui de l'essai 2 [stérilisées et stratifiées à l'hypochlorite de calcium] avec 88% suivi de l'essai de prétraitement 3 [stratification au froid et sable et stérilisation à l'hypochlorite de calcium (CaClO)] avec un taux de germination 63%. L'essai de prétraitement 1 [acide sulfurique pendant 1h (H₂SO₄) + stérilisation à l'hypochlorite de sodium(NaClO)] enregistre un taux de germination très faible à nul de 1% (**figure 22**).

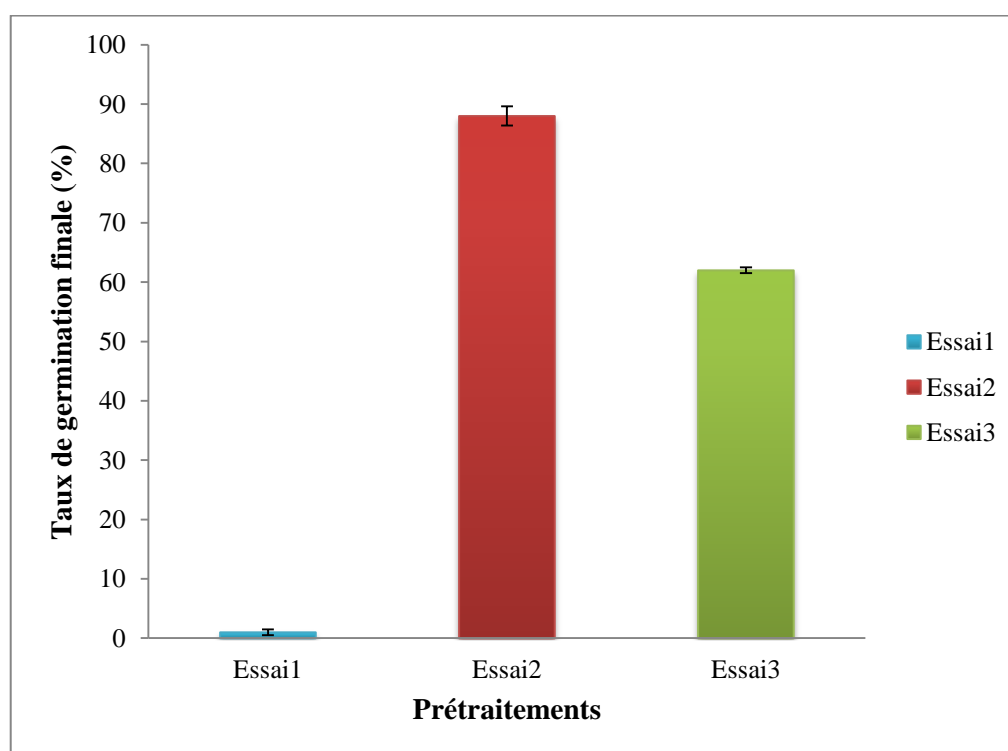


Figure 22: Variation du taux de germination final des prétraitements testés.

1.2. Cinétique de la germination

La figure 21 représente l'évolution de la germination des graines en fonction du temps pour l'ensemble des prétraitements testés.

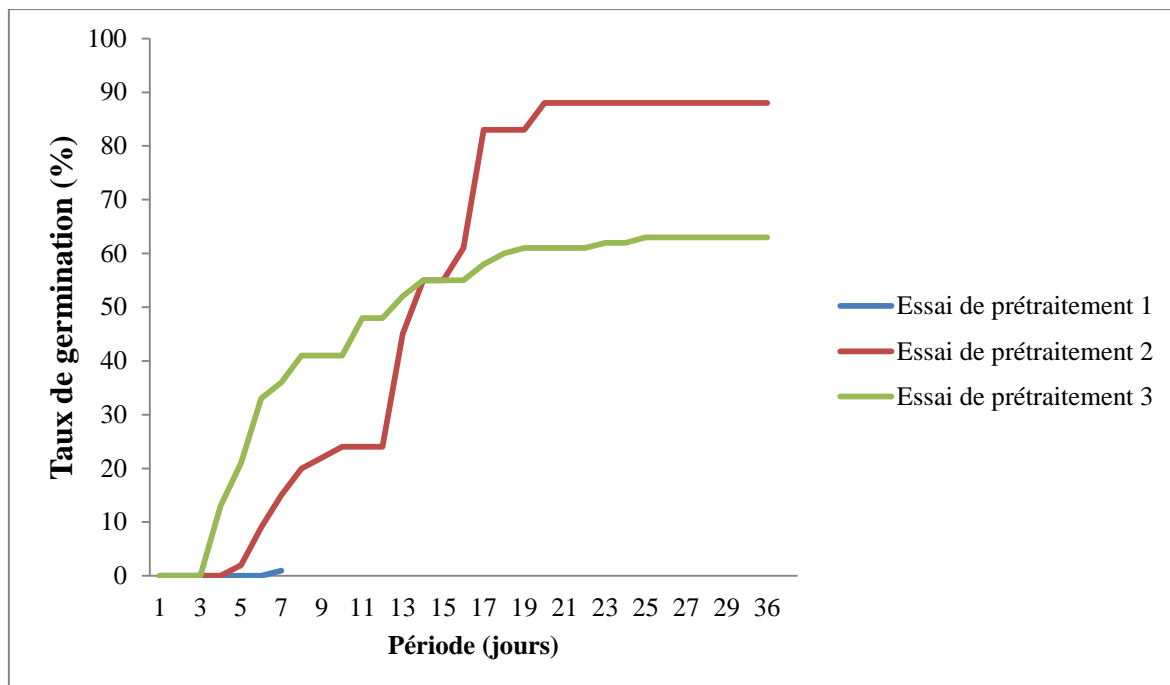


Figure 23 : Cinétique de la germination des 3 essais de prétraitements testés.

Les graines stratifiées selon les différents prétraitements testés commencent à germer durant l'intervalle allant de 4 à 7 jours.

L'essai de prétraitement 1 (H_2SO_4) atteint son taux de germination maximal (1%) qui est très faible au bout de 7 jours. Le prétraitement 2 a atteint le taux de germination maximum (88%) après 20 jours. Quant à l'essai 3 il a atteint le taux de 63% au bout de 25 jours.

2. Comparaison de la germination des graines issues de 3 campagnes

2.1. Taux de germination

La figure 22 enregistre le taux de germination final des graines récoltées durant les 3 campagnes à savoir (2015, 2016 et 2017).

Le meilleur taux de germination est obtenu chez les graines récoltées durant la campagne 2017 avec 89%, suivi des graines récoltées durant la campagne 2016 avec (88%).

Les graines récoltées durant la campagne 2015 et conservées pendant 2 années consécutives ont un taux de germination faible avec 41% comparées aux campagnes précédentes (2016 et 2017).

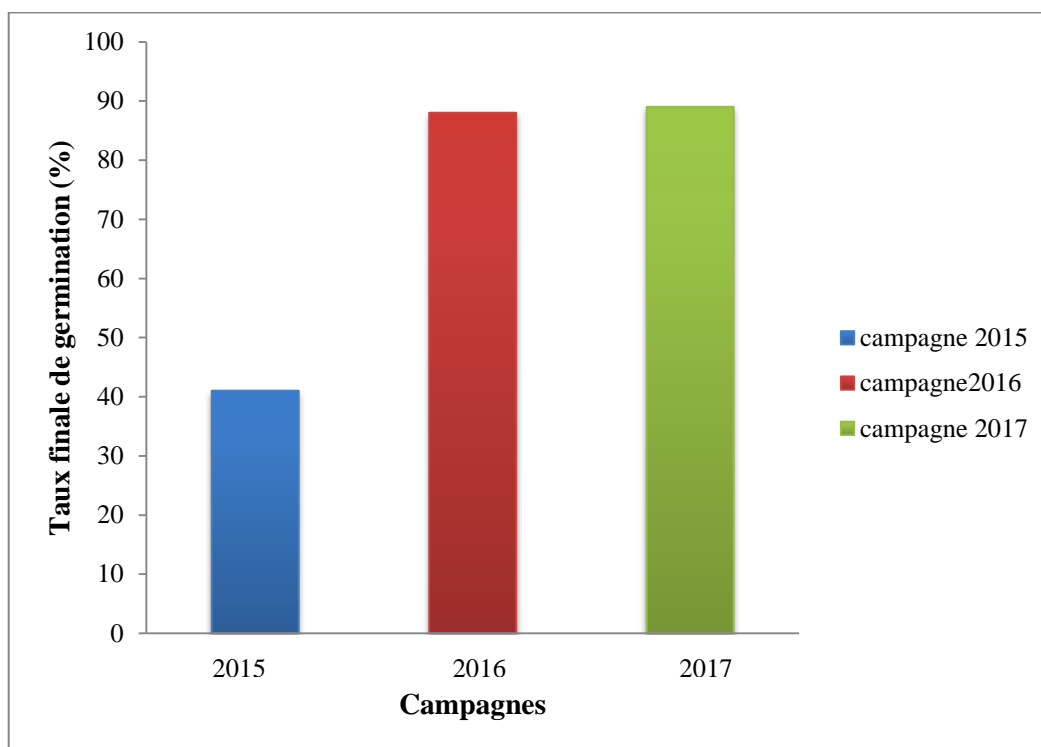


Figure 24 : Variation du taux de germination des 3 campagnes testés.

2.2. Cinétique de germination

Les courbes des deux campagnes 2016 et 2017 ont une allure similaire (**figure 24**).

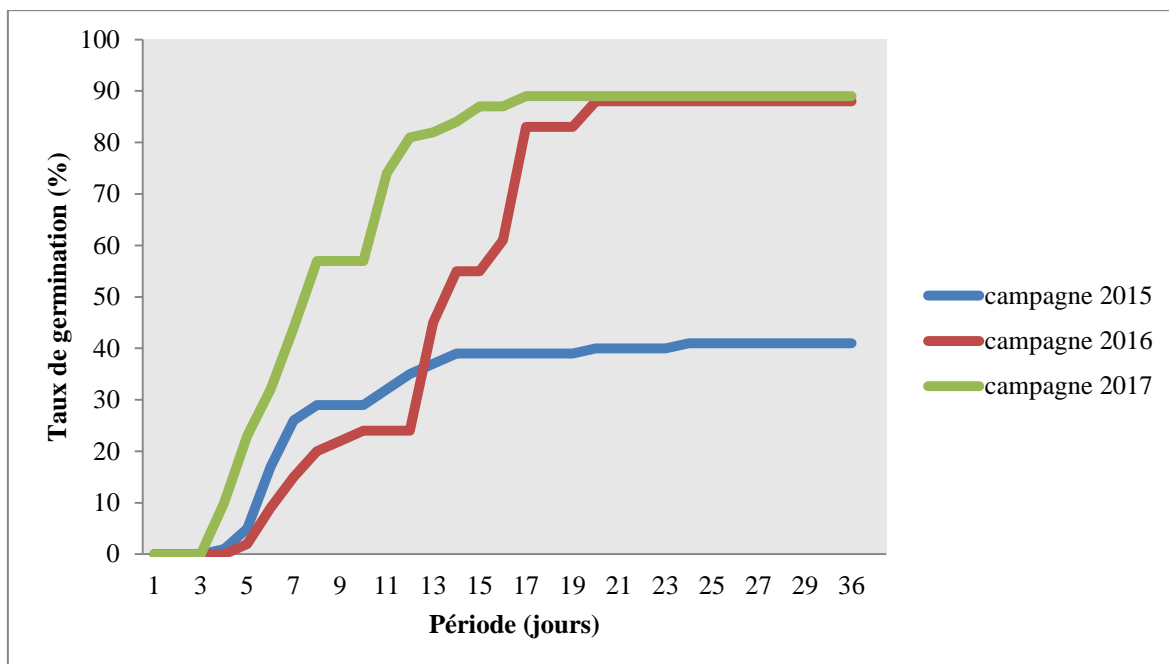


Figure 25 : Cinétique de la germination des graines issues de 3 campagnes.

Le début de la germination des graines récoltées durant les campagnes 2015, 2016 et 2017 est respectivement de 4 jours, 5 jours et 4 jours, et atteignent leur taux de germination final de 18 jours (campagnes 2017), 20 jours (campagne 2016) et 24 jours (campagne 2015).

DISCUSSION

Les résultats obtenus des prétraitements sont en accord avec ceux trouvés par **ALETA et al., (1997)** où ils rapportent que le taux de germination des graines du pistachier de l'Atlas trempées dans l'acide sulfurique, pendant 10 min arrivent à 80% et ils ont enregistré seulement 30% de graines germées pour une durée de trempage de 60 minutes.

Les graines soumises au froid donnent des résultats qui sont similaires à ceux de **Côme (1970)**, chez certaines semences, les températures basses provoquent l'apparition d'une inhibition tégumentaire. En effet lorsqu'elles sont conservées au froid puis ensemencées à une température plus élevée pour provoquer leur germination, elles deviennent relativement dormantes, il s'agirait probablement d'une réduction de l'apport d'oxygène à l'embryon.

La différence de la germination des graines récoltées durant 3 campagnes différentes (2015, 2016 et 2017) est probablement due aux techniques de conservation.

Dans notre cas nous avons remarqué que les graines mises à germer l'année de leurs récoltes avaient un pouvoir germinatif plus important.

3. EFFET DU STRESS SALIN ET HYDRIQUE SUR LA GERMINATION

Cette partie est consacrée à l'étude de l'effet du stress salin et hydrique sur la germination du Pistachier de l'Atlas.

3.1. Effet du NaCl sur la germination

La mesure des paramètres suivants montrent l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la germination.

3.1.1. Taux de germination (TG %)

Les résultats obtenus après 20 jours de culture montrent une réduction de taux de la germination des graines stressées comparativement aux graines témoins (**Figure 25**). L'analyse de la variance montre une différence statistiquement significative ($p=0.00$) (**Annexe A.1**).

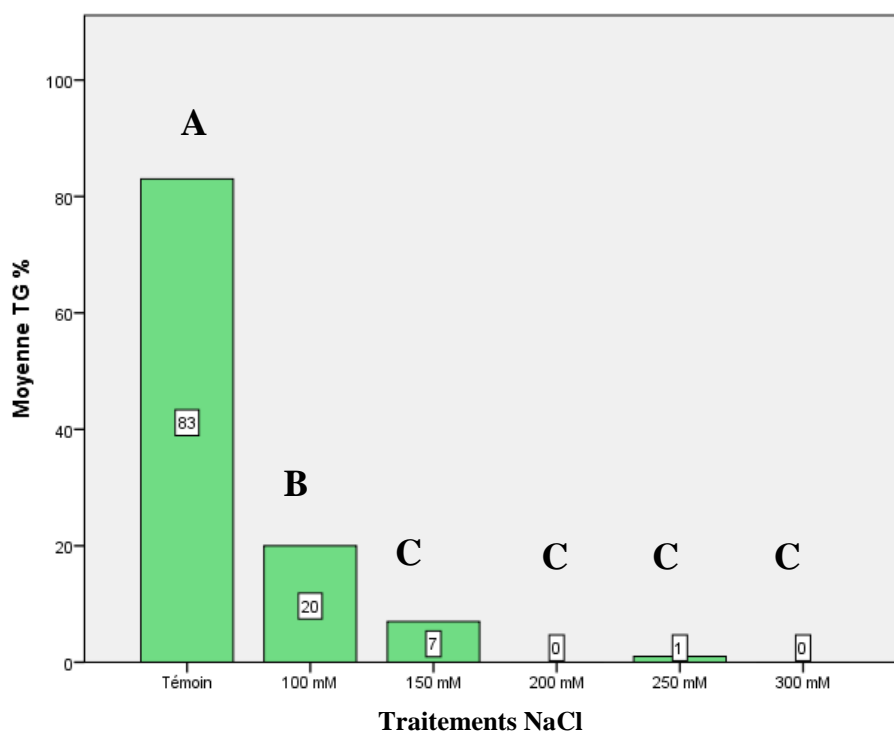


Figure 26 : Variation du taux de germination des graines du pistachier. (STRESS SALIN)

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) révèlent 3 groupes homogènes.

Le meilleur pourcentage de germination est enregistré chez les graines témoins avec 83% et se retrouvent dans le groupe A. Le deuxième groupe B englobe les graines stressées par le NaCl à 100 mM avec un taux de germination 20%. Le groupe C est représenté par les lots de graines mises en germination dans les solutions salines (NaCl) à : 150, 200, 250 et 300 mM (Annexe A.2).

3.1.2. Cinétique de germination

La figure 25 montre que les courbes de la cinétique de germination des concentrations NaCl 200, 250 et 300 mM sont pratiquement semblable.

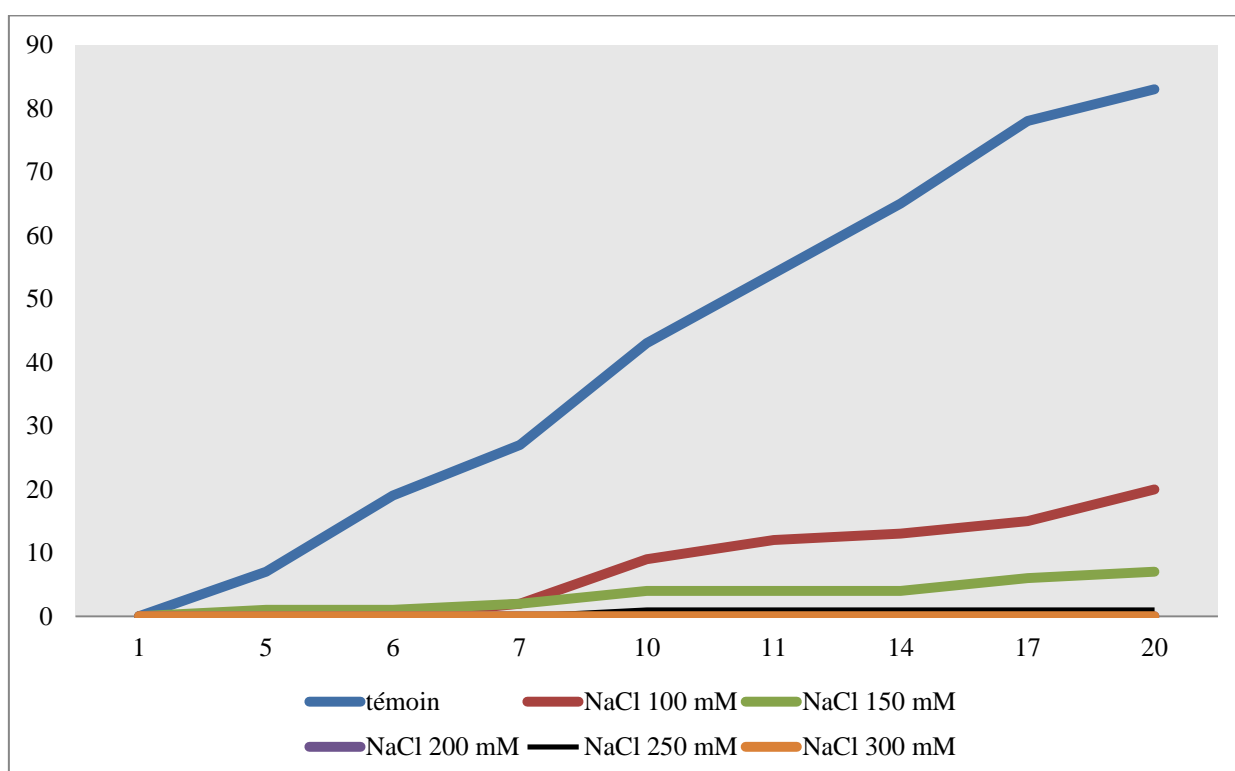


Figure 27: Cinétique de germination des graines (STRESS SALIN).

On observe pour le témoin une forte augmentation atteignant 83% le 20^{ème} jour. Les courbes ayant les mêmes tendances sont celles où les concentrations en NaCl sont de 100 et 150mM.

3.1.3. Temps moyen de germination

Le temps moyen de germination augmente en fonction de l'augmentation de la concentration en NaCl. Il est de 2 jours pour les graines témoins qui n'ont pas subi la contrainte stressante (les plantules témoins ont été arrosées régulièrement avec l'eau courante (**figure 28**)).

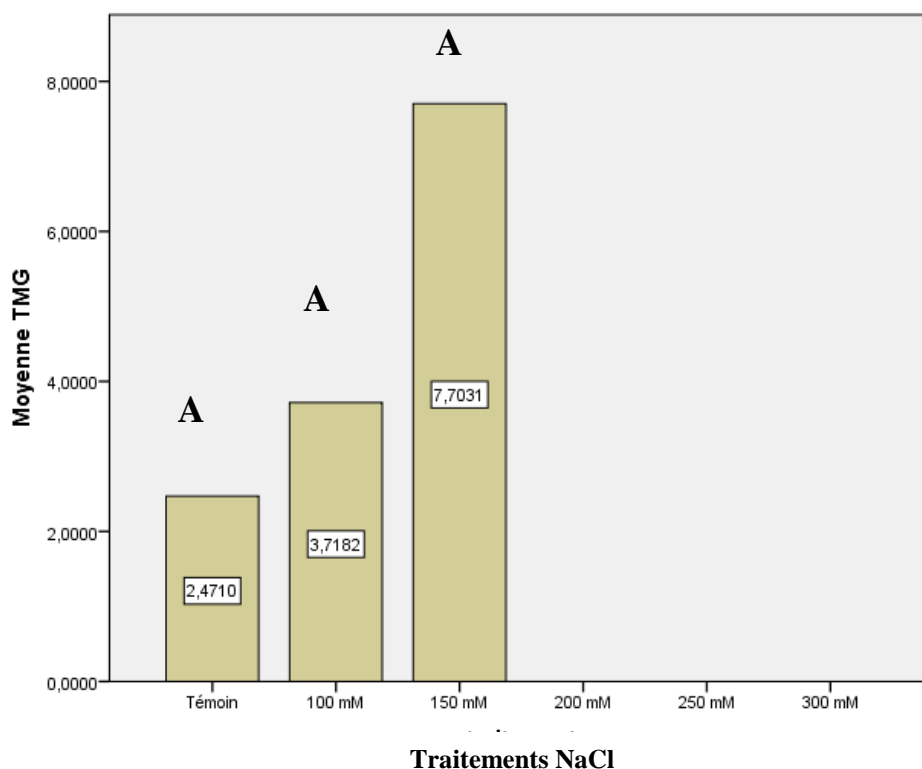


Figure 28: Variation du temps moyen de germination des graines soumises au stress salin.

La figure 28 montre nettement l'augmentation du temps moyen de germination, il est de 2.47 jours (témoin) jusqu'à 7.70 jours enregistré chez les graines soumises au stress salin (NaCl : 150mM).

Les graines issues des lots où la concentration en NaCl est de 200, 250 et 300 mM, le TMG n'a pas pu être calculé en raison de leurs taux de germination très faibles à nuls avec respectivement 0%, 1% et 0%.

L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas une différence significative ($p= 0.27$) (**Annexe A.3**).

3.1.4. Inhibition de la germination

La figure 27 montre les résultats obtenus des taux d'inhibition de la germination (%) des graines soumises au stress salin à différents dose de NaCl.

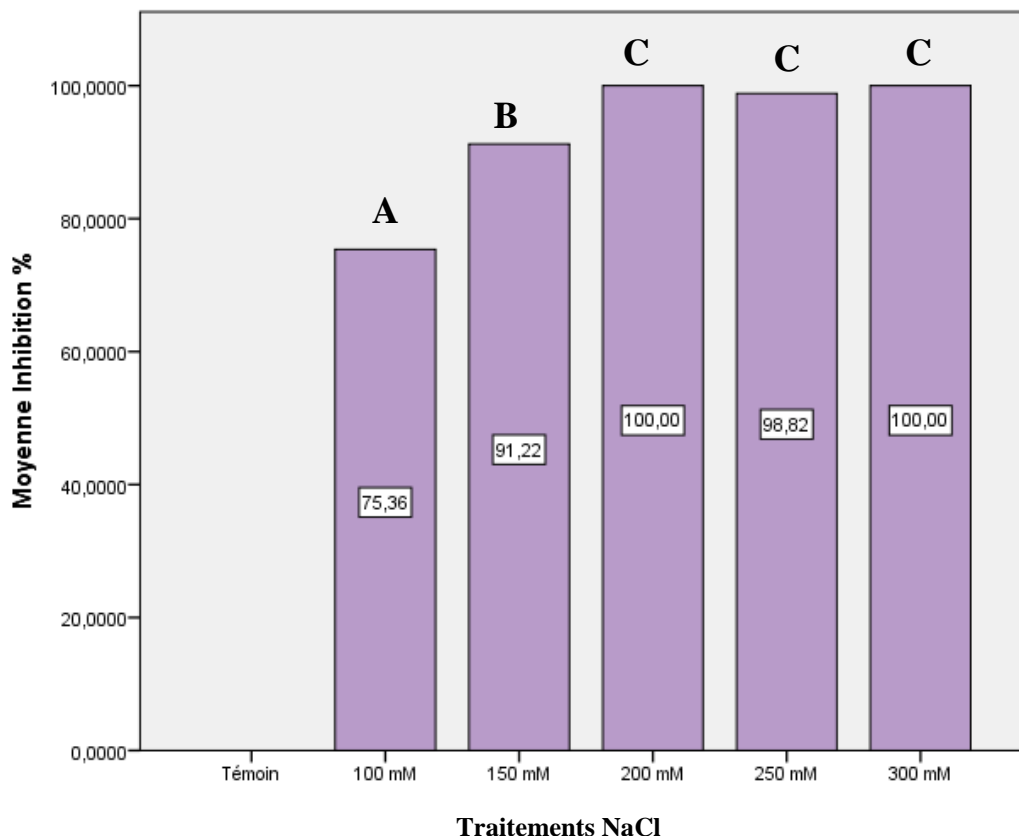


Figure 29: Variation du taux d'inhibition de germination (STRESS SALIN).

D'après les résultats obtenus, on remarque un taux d'inhibition très élevé atteignant les 100% dans les lots traités avec une solution saline (NaCl) de 200 et 300 mM où on enregistre 98.82%. Les graines stressées avec une solution de NaCl de 250 mM suivi par les graines du lot NaCl 150 mM atteignent un taux de 91.22%. Le taux d'inhibition le plus faible est enregistré chez les graines soumises au stress en NaCl à 100 mM avec un taux moyen de 75.36 %.

L'analyse de la variance (ANOVA) indique une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe A.4**) avec 2 groupes homogènes, dont le NaCl 100 mM fait partie du premier groupe A et le 2^{ème} regroupe le reste des traitements (Groupe B).

DISCUSSION

La mise des graines à germer dans différentes concentrations de NaCl ont conduit à des résultats proches de ceux trouvés par **OUKARA, (2018)** qui note que le pourcentage de germination diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl.

3.2. Effet du PEG 6000 sur la germination

Le stress hydrique subit aux graines a montré que l'effet de différentes concentrations du PEG 6000 est variable selon les concentrations, il a été estimé par la mesure des paramètres suivants :

3.2.1. Taux de germination

Après 20 jours de culture, on obtient des résultats qui montrent le taux de germination des graines stressées à différentes concentrations de PEG. Le pourcentage de germination est nettement réduit avec l'augmentation de la concentration du PEG 6000 contrairement aux graines témoins qui ne sont pas affectées pas le traitement (**figure 30**). Ceci est confirmé par l'analyse statistique qui montre une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe B.1**).

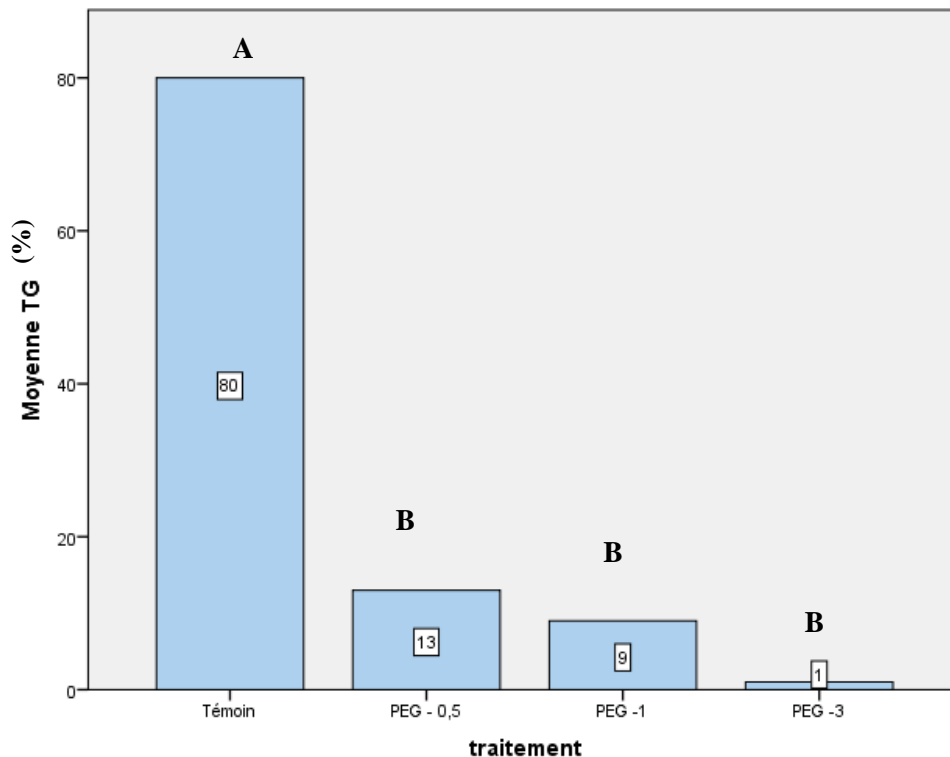


Figure 30 : Variation du taux de germination des graines (STRESS HYDRIQUE)

Le test de Tukey révèle l'existence de 2 groupes homogènes dont le groupe A où nous retrouvons le témoin avec un taux de 80%. Le reste des traitements fait partie du groupe B avec 13%, 9% et 1% pour PEG -0.5, PEG -1 et PEG -3 respectivement (**Annexe B.2**).

3.2.2. Cinétique de germination

La figure 29 représente l'évolution de la germination des graines soumises aux différentes concentrations du PEG 6000 en fonction du temps.

Les courbes de la cinétique de germination les traitements PEG -0.5 et PEG -1 ont une allure similaire.

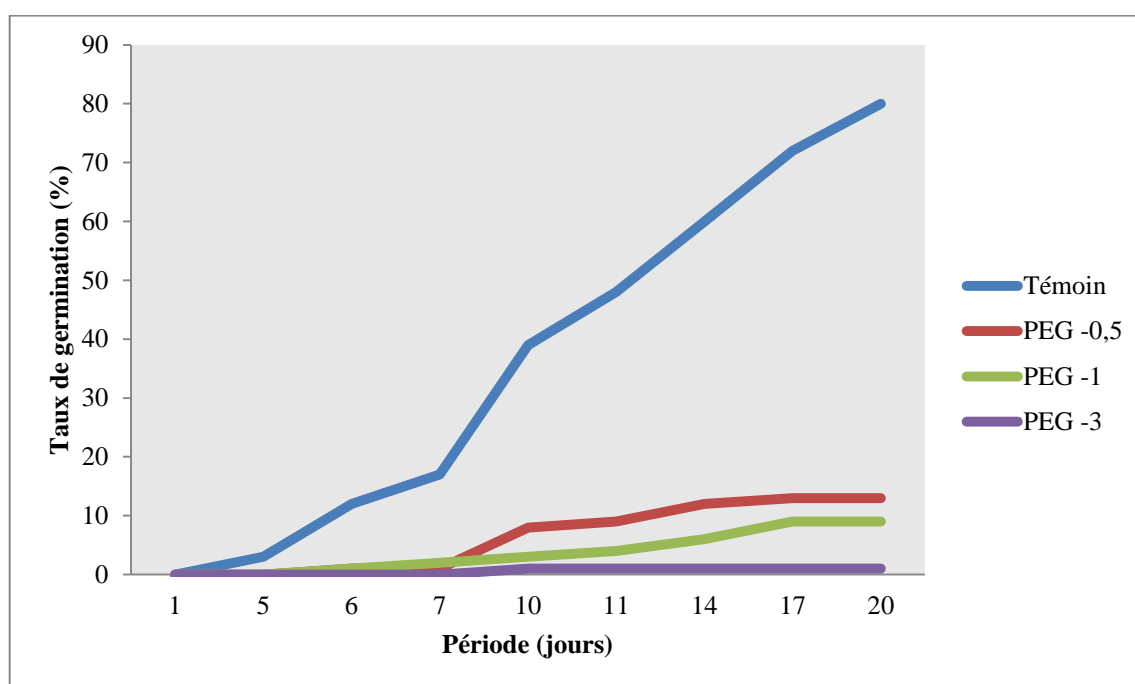


Figure 31: Cinétique de la germination des graines
(STRESS HYDRIQUE)

Les résultats obtenus montrent une cinétique de germination très appréciable pour le témoin qui augmente progressivement pour atteindre son taux de germination maximal (80%). Aucune évolution de germination n'a été observée pour la concentration PEG -3.

3.2.3. Temps moyen de germination

La figure 30 montre le temps moyen de germination des graines traitées à des différentes doses du PEG 6000.

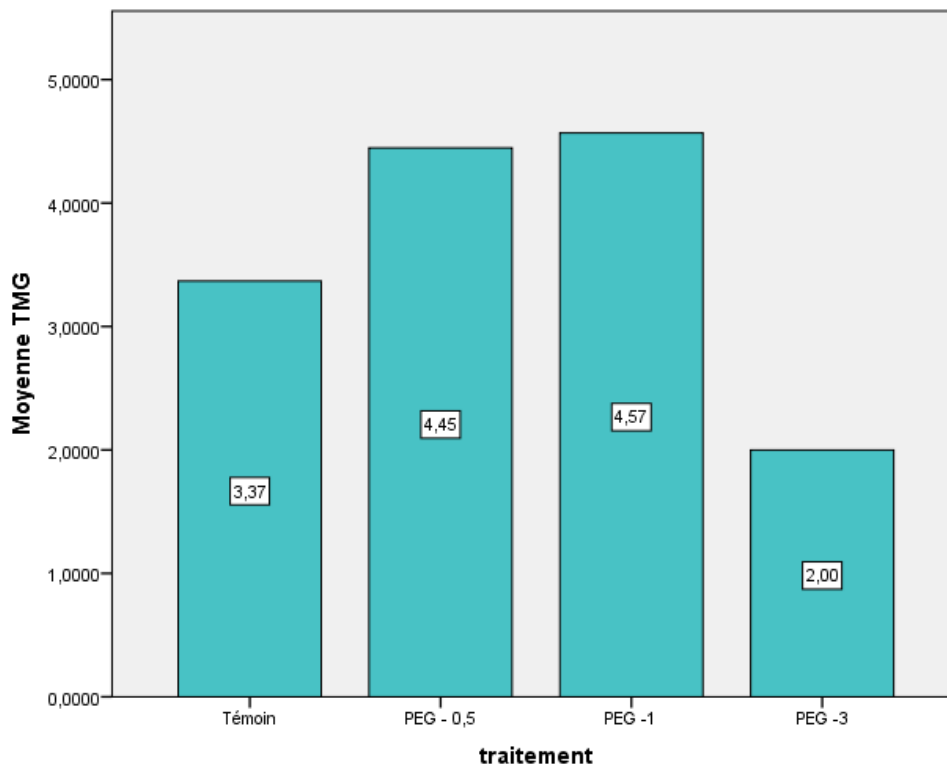


Figure 32: Variation du temps de germination des graines
(STRESS HYDRIQUE)

Les graines mises à germer montrent que le temps de germination le plus faible (2 jours) est obtenu pour le traitement PEG -3 comparé aux autres traitements et le témoin.

Le test d'ANOVA signale qu'il n'existe aucune différence significative ($p=0.67$) (**Annexe B.1**).

3.2.4. Inhibition de la germination

Les résultats obtenus de l'inhibition de la germination sont illustrés dans la figure 33.

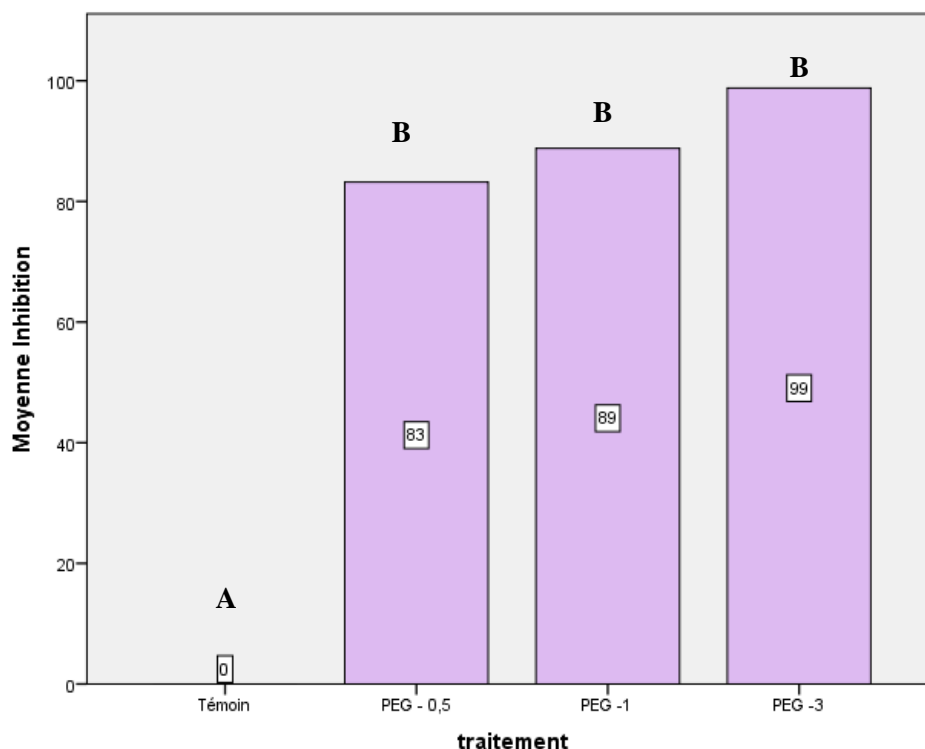


Figure 33: Variation du taux de l'inhibition de germination (STRESS HYDRIQUE)

D'après l'analyse de la variance, il existe une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe B.3**). Le test de Tukey confirme cette analyse par l'obtention de 2 groupes homogènes.

Le témoin fait partie du groupe homogène A avec une valeur de 0 % et les traitements PEG -0.5, PEG -1 et PEG -3 appartiennent au groupe B avec des valeurs plus proche de 83%, 89% et 99% respectivement (**Annexe B.4**).

DISCUSSION

L'application du traitement de PEG 6000 à 50g/l n'a pas donné des résultats similaires à ceux trouvés par **MOHAMMED et al., (2003)**, qui soulignent que la germination des amandes de l'arganier reste relativement élevée à la concentration de 40g/l.

Nous pouvons déduire que notre espèce pistachier de l'Atlas est moins tolérante que l'Arganier qui se trouve dans l'extrême sud, dans les zones hyperarides.

4. EFFET DU STRESS SALIN ET STRESS HYDRIQUE SUR LES PLANTULES DU PISTACHIER DE L'ATLAS

Nous avons effectué des suivis de plantules soumises au stress salin et hydrique sur la croissance et le développement en mesurant certains paramètres.

4.1. STRESS SALIN

L'effet du stress salin sur les plantules est mesuré à travers des paramètres physiologiques (teneur en pigments chlorophylliens) et des paramètres biochimiques (teneur en proline et teneur en sucres solubles totaux).

4.1.1. Teneur en proline

Les résultats obtenus montrent que les différentes concentrations en NaCl ont induit à une augmentation progressive de la teneur en proline en fonction de l'intensité du stress (**figure 34**).

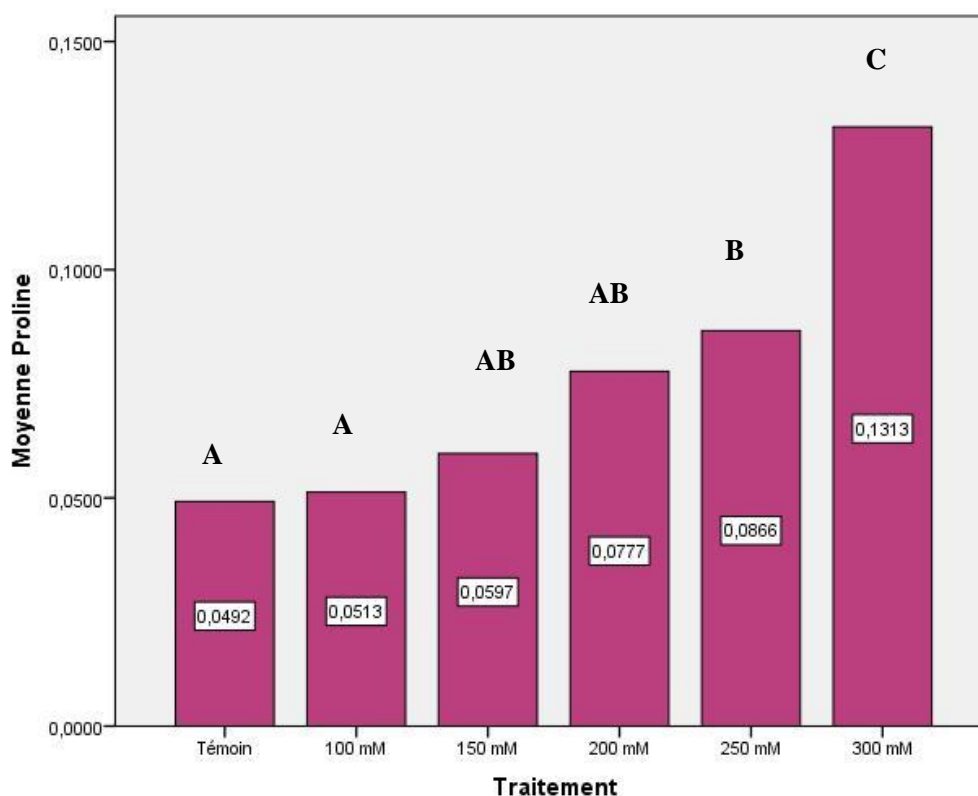


Figure 34: Variation de la teneur en proline dans les plantules (STRESS SALIN).

La teneur en proline la plus élevée est située au niveau des plantules arrosées avec une solution de NaCl 300 mM où nous enregistrons une quantité de 0.13 µg/g MF comparativement au témoin qui montre la valeur la plus faible avec 0.04 µg/g MF.

L'analyse de la variance ANOVA montre une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe C.1**). Le test de Tukey ($\alpha= 5\%$) indique 4 groupes homogènes (**Annexe C.2**).

DISCUSSION

Nos résultats de la teneur en proline après application du stress salin sont similaires à ceux de **BOUCHOUKH, (2010)** qui signale lui aussi que l'accumulation de la proline chez les épinards est variable selon les variétés. Elle augmente en fonction de la concentration de NaCl dans le milieu. **BELKHOJA et al., (2007)** signalent également que l'accumulation de la proline augmente significativement avec l'augmentation de la concentration de la salinité. **MONNEVEUX (1989)**, ajoute que l'une des causes de l'accumulation de proline serait aussi une protéolyse membranaire, la proline pourrait s'accumuler suite à une perturbation du métabolisme des protéines (**BEZZALA, 2005**).

Une étude menée par **LOTMANI et al., (1998)** et **MEKHALDI, (2007)** sur *Vigna Sinensis*, montre le même comportement de cette espèce face au stress salin. La proline est la substance qui s'accumule dans les tissus végétaux soumis au stress abiotiques et constitue un moyen de tolérance à la salinité (**ZID et al., 1991**).

4.1.2. Teneur en sucres solubles totaux

Les teneurs en sucres solubles sont représentés dans la figure 35.

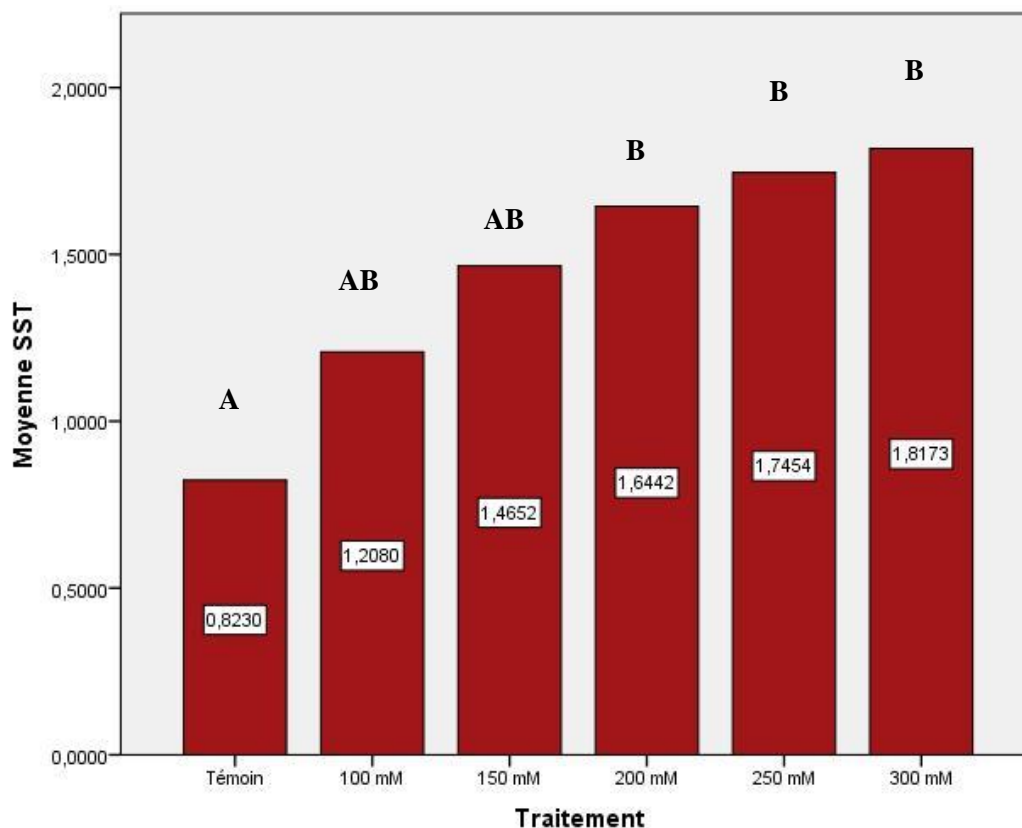


Figure 35 : Variation des sucres solubles dans les feuilles des plantules (STRESS SALIN)

Les sucres solubles indiquent une différence significative selon l'analyse de la variance ($p=0.00$) (**Annexe C.1**).

Les teneurs en sucres solubles varie entre $0.82 \mu\text{g/g MF}$ et $1.81 \mu\text{g/g MF}$. Les valeurs de la teneur en sucres solubles augmentent légèrement entre les traitements NaCl 100, 150, 200 et 250 respectivement avec 1.20, 1.46, 1.64 et 1.74 $\mu\text{g/g MF}$. Le test de Tukey ($\alpha=5\%$) les classe dans 2 principaux groupes homogènes A et B (**Annexe C.3**).

DISCUSSION

Nos résultats s'accordent aux travaux sur l'accumulation des sucres totaux solubles observé chez *Vigna unguiculata L. Walp*, comparée à l'espèce *Vigna radiata L. Wilczek*, où le contenu cellulaire en sucres et en sacharoses est réduit sous stress salin au NaCl (**ABED ELHALEEM et al., (2007) in MOUFFAK, (2008)**).

4.1.3. Teneur en pigments chlorophylliens

4.1.3.1. Chlorophylle (a) et (b)

Les figures 34 montre les résultats obtenus de la chlorophylle (a) et (b) dont on remarque une diminution significative de la teneur en pigments chlorophylliens avec l'augmentation des concentrations en sels ($p=0.00$) pour la chlorophylle (a) et ($p=0.03$) pour la chlorophylle (b) (**Annexe C.1**).

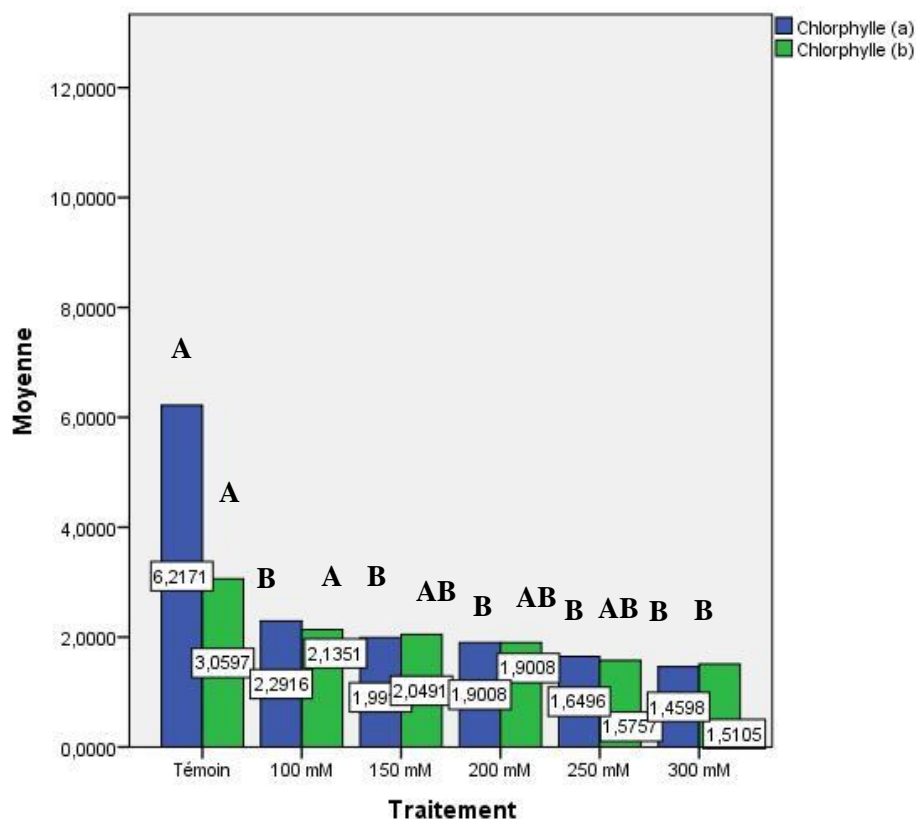


Figure 36: Variation de la teneur en chlorophylles (a) et (b) des plantules (STRESS SALIN)

D'après nos résultats obtenus on remarque que la teneur en chlorophylle (b) peut être moins affectée par le stress que celle de la chlorophylle (a) pour les plantules témoins et celles arrosées avec la solution saline de 100 mM et 250 mM. La teneur en chlorophylles (b) est plus élevée que celle de la chlorophylle (a), c'est le cas pour les plantules arrosées avec des solutions NaCl 150 et 300 mM. A 200 mM les chlorophylles (a) et (b) sont identiques.

Le test de Tukey classe les valeurs en pigments chlorophylliens en 2 groupes homogènes. Pour la teneur en chlorophylles (a) la différence significative est entre le témoin (groupe B) et le reste des traitements (groupe A) (**Annexe C.4 et C.5**).

4.1.3.2. Chlorophylle totale

La figure 37 illustre la teneur en chlorophylle (a+b)

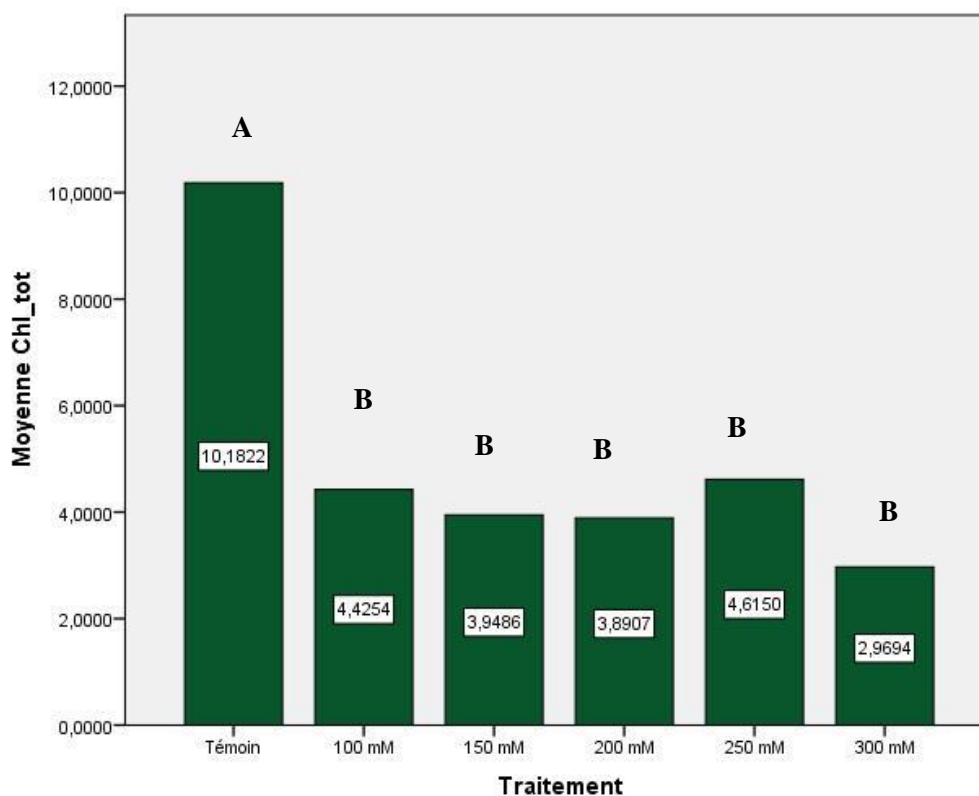


Figure 37: Variation de la teneur en chlorophylle totale pour les plantules (STRESS SALIN)

La teneur la plus élevée est marquée chez les plantules témoins et la plus basse valeur est enregistrée chez les plantules qui ont été arrosées avec la concentration la plus forte à savoir 300 mM.

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe C.1**) et 3 groupes homogènes sont dégagés (**Annexe C.6**).

Le témoin est classé seul dans le groupe b et les autres traitements ne marque pas de différence significative entre eux donc ils sont classés en groupe A.

4.1.3.3. Caroténoïdes

La moyenne la plus élevée de la teneur en caroténoïdes est enregistrée chez le témoin avec 4.36 $\mu\text{g/g}$ MF. En deuxième lieu on a le traitement NaCl 250 mM avec une valeur de 1.99 $\mu\text{g/g}$ MF et les plantules traitées en NaCl 100, 150 et 200 mM enregistrent des moyennes de teneur en caroténoïdes qui oscillent entre 1.75 ; 1.70 et 1.57 $\mu\text{g/g}$ MF (**figure 38**).

Ce paramètre subit une diminution au niveau des plantules traitées en NaCl 300 mM.

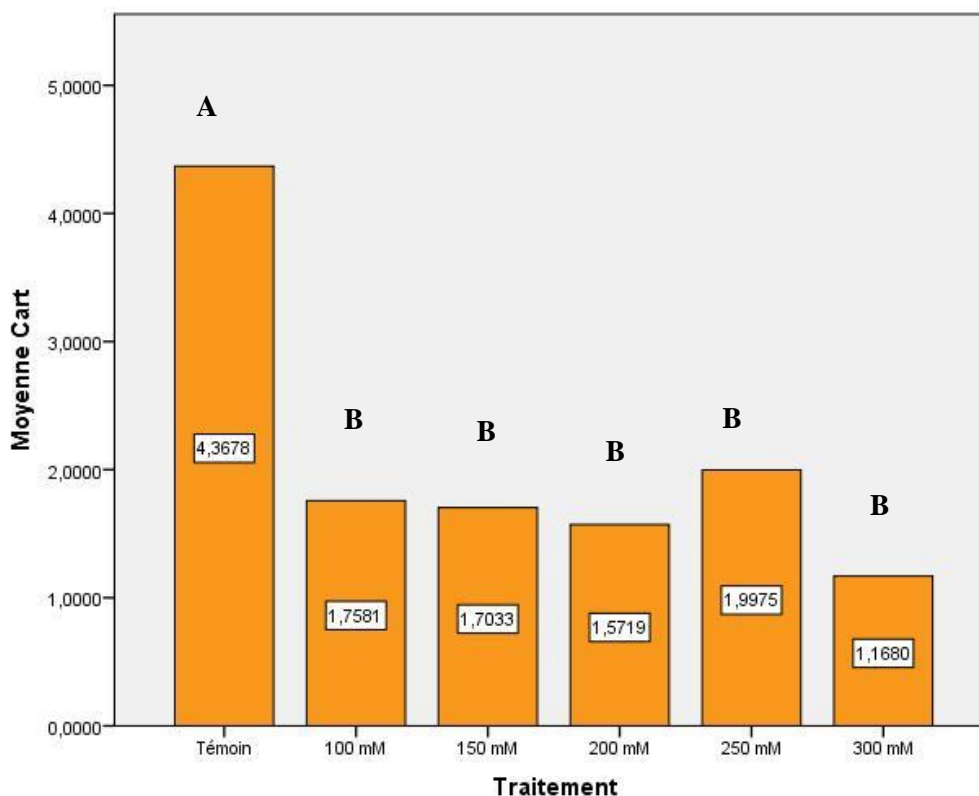


Figure 38: Variation des teneurs en caroténoïdes des plantules (STRESS SALIN)

DISCUSSION

Ces résultats sont conformes avec plusieurs études réalisées sur différentes plantes (**EL JAAFARI, 2000**). En condition de stress salin, il s'avère que le contenu de la chlorophylle diminue considérablement chez les plants spontanées *d'Arabidopsis thaliana* en comparaison avec les plants mutants (**MITSUYA et al., 2006**).

4.2.STRESS HYDRIQUE

L'effet du stress hydrique sur les plantules est mesuré à travers des paramètres physiologiques (teneur en eau et teneur en pigments chlorophylliens) et des paramètres biochimiques (teneur en proline et teneur en sucres solubles totaux).

4.2.1. Teneur en proline

Les résultats illustrés dans la figure 39 montrent que la teneur en proline augmente en fonction de la sévérité du stress hydrique. Les teneurs en proline chez les plantules témoins sont toujours plus faibles par rapport à celles enregistrées chez les plantules stressées.

La valeur de la teneur en proline la plus élevée est enregistrée chez les plantules stressées durant 15 jours avec une teneur qui avoisine de 0.07 $\mu\text{g/g}$ MF.

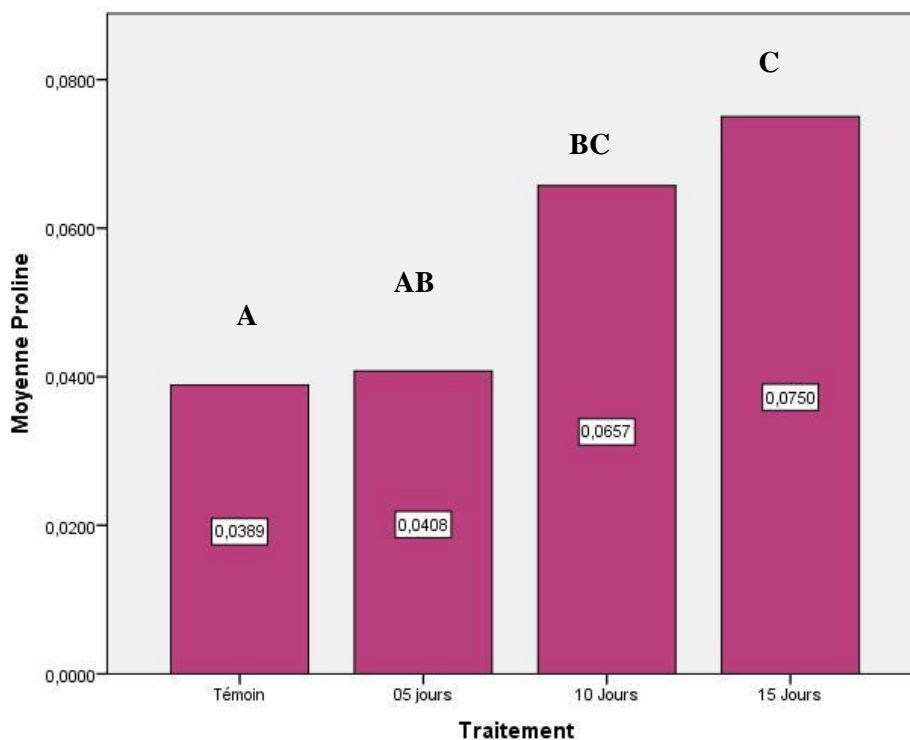


Figure 39: Variation de la teneur en proline des plantules
(STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre que cet acide aminé a une différence significative dans les feuilles ($p = 0.003$) (**Annexe D.1**). Les groupes homogènes sont mentionnés dans l'**annexe D.2**.

DISCUSSION

Nos résultats de la teneur en proline sont en accord avec ceux trouvés par **CECHIN et al., (2006)**, l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique, elle agit comme soluté permettant l'ajustement osmotique et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.

4.2.2. Teneur en sucres solubles totaux

L'accumulation des sucres solubles dans les feuilles du *Pistacia atlantica* augmente progressivement en fonction des périodes d'arrêt d'arrosage appliquées (**Figure 40**). Après 15 jours d'arrêt d'arrosage, l'accumulation des sucres totaux avoisine les 1.39 $\mu\text{g/g MS}$, elle est plus élevée comparé à l'accumulation au niveau des plantules témoins avec 0.55 $\mu\text{g/g MS}$.

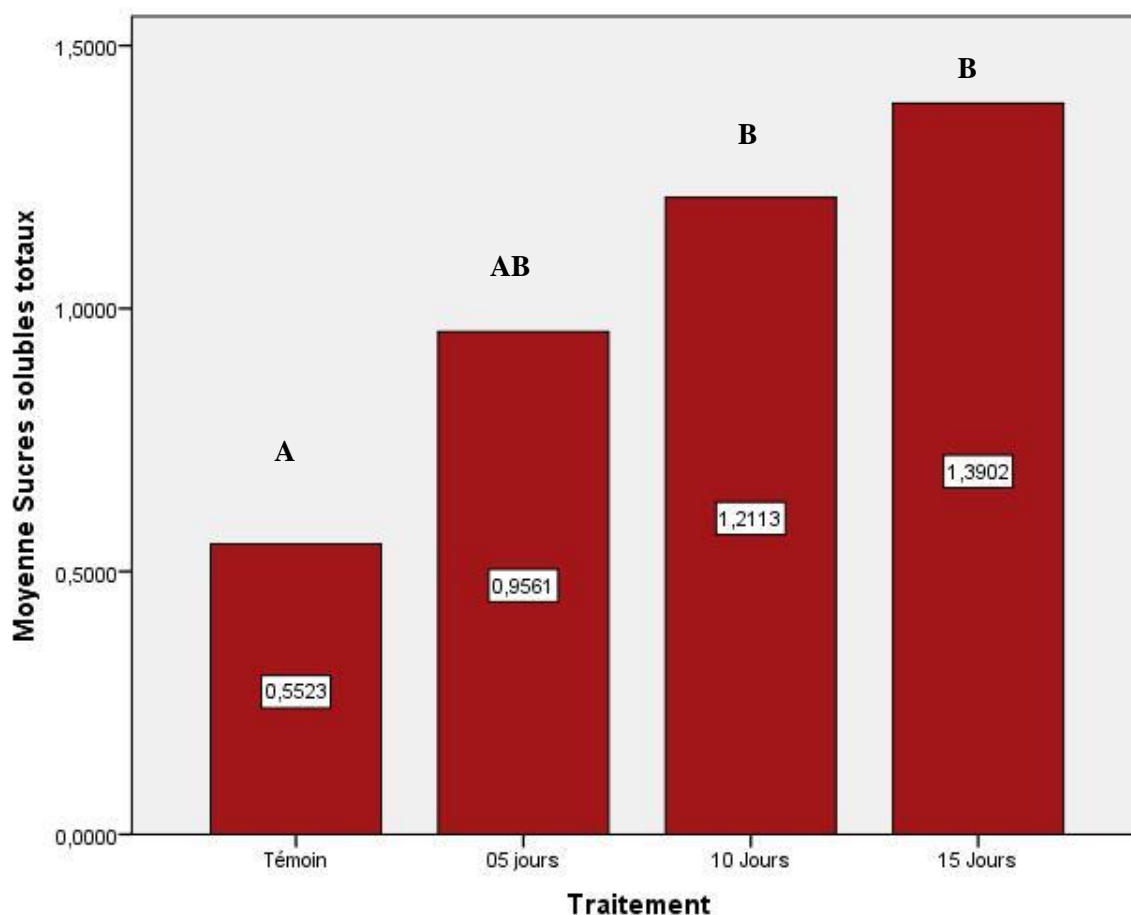


Figure 40: Variation de la teneur en sucres solubles dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance à un seul critère de classification confirme ces résultats et montre une différence significative entre les moyennes de l'accumulation des sucres solubles selon les périodes de stress ($p=0.004$) (**Annexe D.1**). Le test de Tukey confirme cette analyse, on obtient 2 groupes homogènes dont le témoin fait partie du groupe **A** et les traitements de 10 et 15 jours d'arrêt d'arrosage appartiennent au groupe **B** avec des valeurs respectivement 1.21 et 1.39 $\mu\text{g/g MS}$ et enfin on note que le traitement de 5 jours fait partie du troisième groupe **AB** (**Annexe D.3**).

DISCUSSION

Concernant les résultats sur l'évolution des sucres solubles, il ressort que un c'est composé organique qui évolue en fonction de l'augmentation de la concentration en sels. Ce résultat traduit la capacité des plantules du pistachier de l'Atlas à synthétiser les sucres solubles et les accumuler dans les feuilles.

Des travaux de recherches notamment ceux de **BOUCHOUKH (2010)** et plus récemment **OUKARA (2018)** montrent que les sucres solubles totaux figurent parmi les composés osmotiques les plus fréquemment accumulés au cours des stress environnementaux.

Ce phénomène est aussi observé chez d'autres espèces notamment l'Acacia (**ALBOUCHI et al., 1977**), l'Eucalyptus (**CHUNYANG, 2013**) et l'arganier (**BERKA ET AÏD, 2009**).

4.2.3. Teneur en pigments chlorophylliens

Les résultats obtenus montrent que le stress salin influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a), (b) et caroténoïdes chez le pistachier de l'Atlas (**Figure 39 ; 40 et 41**).

4.2.3.1. Chlorophylle (a) et (b)

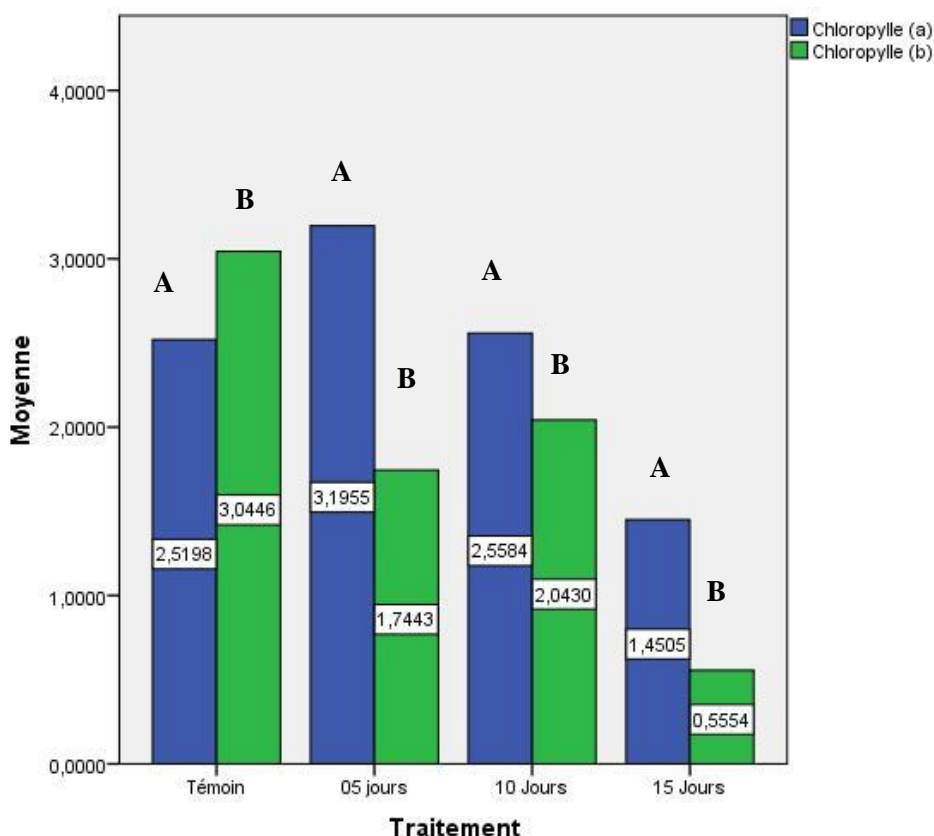


Figure 41: Variation de la teneur en pigments chlorophylliens (a) et (b) dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE).

Nous remarquons que la teneur en chlorophylle (a) est toujours supérieure de celle de la chlorophylle (b) excepté pour le témoin. La valeur maximale que la chlorophylle (a) a atteinte 3.19 $\mu\text{g/g MF}$ enregistré chez les plantules stressées pendant 5 jours suivie par le témoin et les plantules stressées pendant 10 jours avec des valeurs respectivement 2.51 et 2.55 $\mu\text{g/g MF}$. La valeur la plus faible est marquée chez les plantules non arrosées pendant 15 jours (1.45 $\mu\text{g/g MF}$). Cependant, pour la chlorophylle (b) la valeur la plus élevée est de 3.04 $\mu\text{g/g MF}$ chez les plantules témoins et la plus basse chez les plantules non arrosées pendant 15 jours avec une quantité de 0.55 $\mu\text{g/g MF}$.

L'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas une différence significative pour la chlorophylle (a) ($p=0.1$) et la différence est statistiquement significative pour la chlorophylle (b) ($p=0.001$) (**Annexe D.1**).

4.2.3.2. Chlorophylle totale

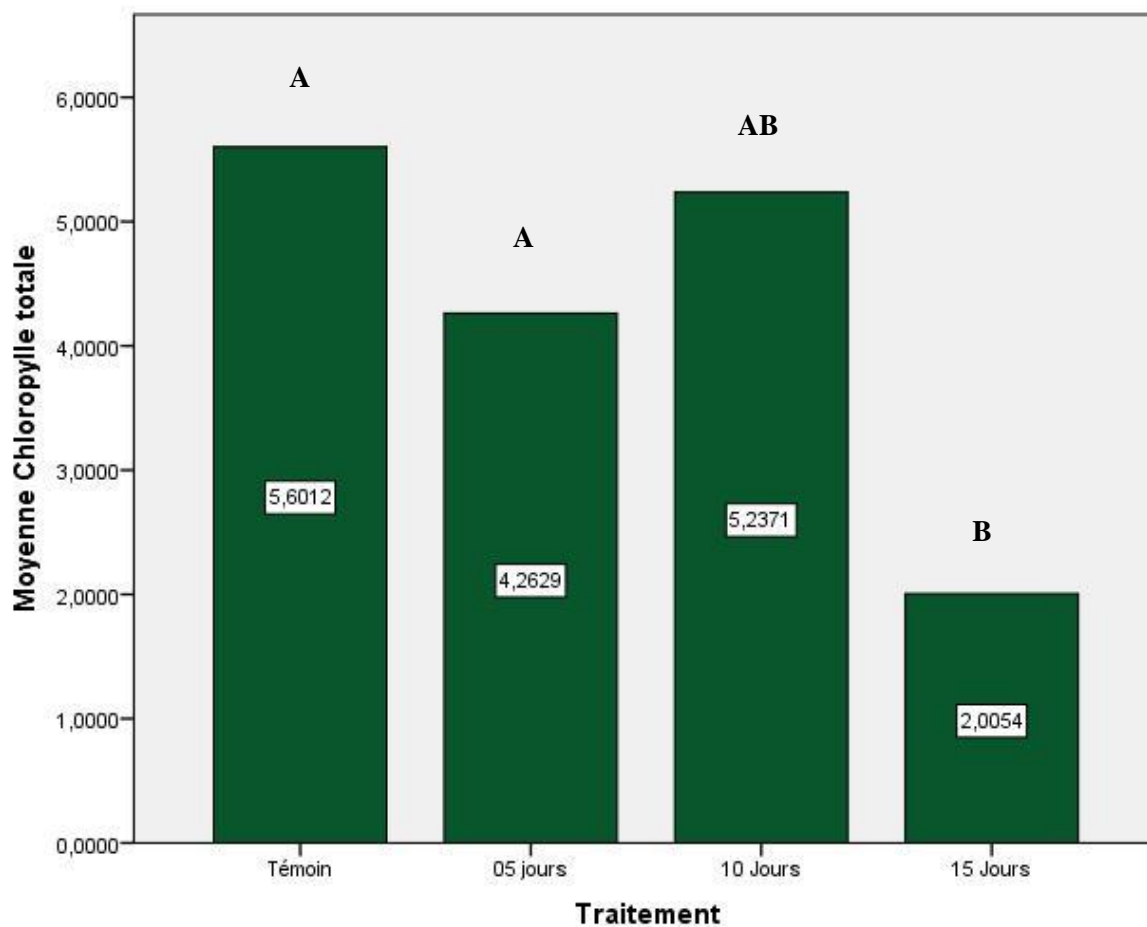


Figure 42: Variation de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance ANOVA montre une différence significative ($p=0.015$) (**Annexe D.1**) avec 2 groupes homogènes (**Annexe D.4**). La valeur la plus élevée est enregistrée chez le témoin ($5.60 \mu\text{g/g MF}$) et la plus faible chez les plantules non arrosées pendant 15 jours ($2.00 \mu\text{g/g MF}$) (**Figure 42**).

4.2.3.3. Caroténoïdes

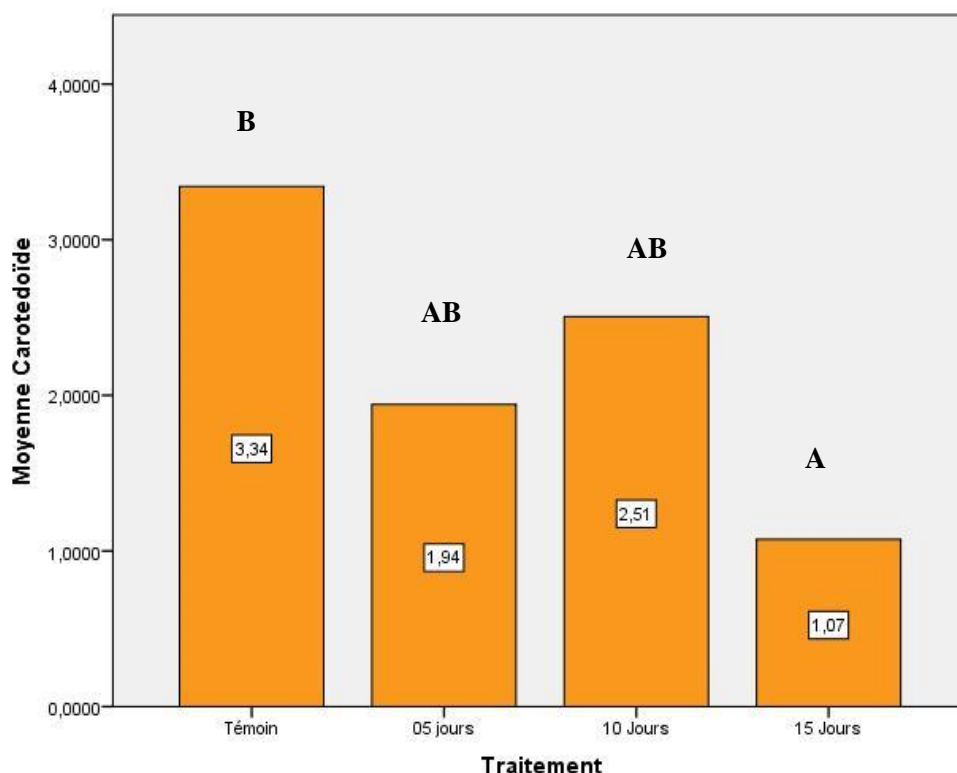


Figure 43: Variation de la teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

Les teneurs en caroténoïdes varient d'un traitement à un autre. La teneur la plus élevée enregistrée est de 3.34 µg/g MF chez le témoin et la plus faible est observée chez les plantules stressées pendant 15 jours avec une teneur de 1.07 µg/g MF (**figure 43**).

Une différence significative est obtenue d'après l'analyse de la variance ($p=0.008$) (**Annexe D.1**) et les traitements sont classés selon le test de Tukey en 2 groupes homogènes A et B (**Annexe D.5**).

DISCUSSION

La chlorophylle (a), (b) et la caroténoïde des feuilles peut être influencées par beaucoup de facteurs abiotiques notamment la lumière, la température et la disponibilité en eau (**HIKOSAKA et al., 2006**). La chute des teneurs en chlorophylles est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**BOUSBA et al., 2009**).

Ce phénomène a été observé durant notre expérimentation où la quantité totale en chlorophylles a chuté avec l'évolution du stress hydrique.

4.2.4. Teneur relative en eau

L'élévation de la durée de stress hydrique provoque une diminution de la teneur relative en eau par rapport aux plantules témoins (**figure 44**).

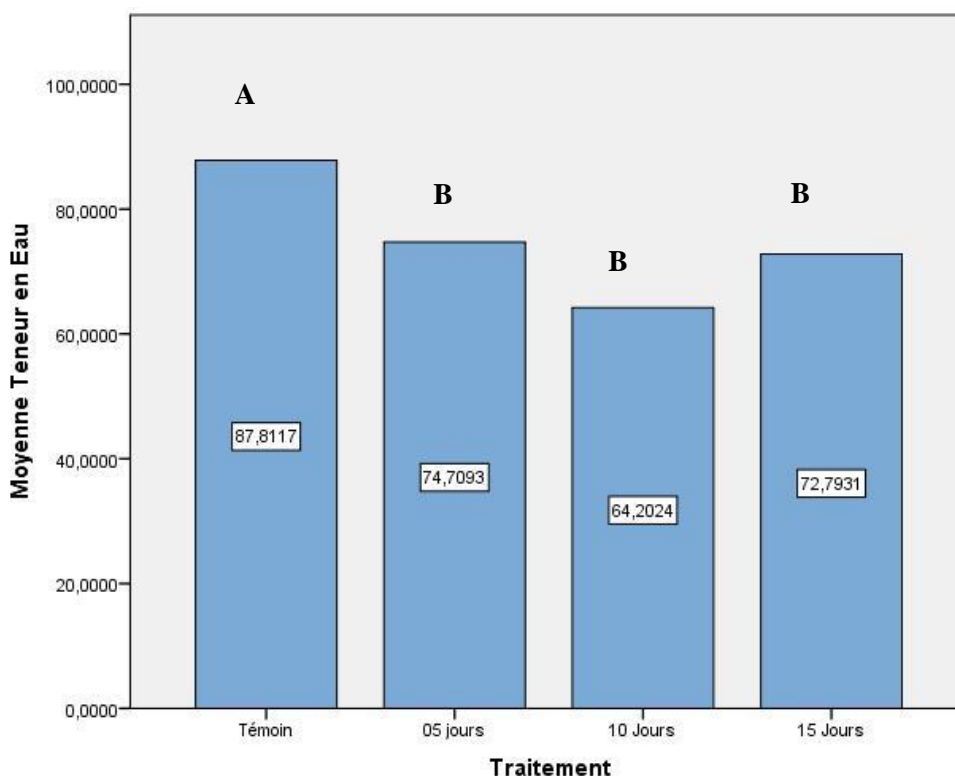


Figure 44: Variation des pourcentages de la teneur relative en eau dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

Les teneurs relatives en eau diminuent chez les plantules stressées, on enregistre 74%, 64% et 72% respectivement pour les traitements 5, 10 et 15 jours d'arrêt d'arrosage par rapport aux plantules témoins avec 87%.

Une différence significative est révélée ($p=0.008$) (**Annexe D.1**) et le test de Tukey les classe en 2 groupes homogènes A et B (**Annexe D.6**).

DISCUSSION

Certaines études précédentes réalisées par **ALTINKUT et al., (2001)**, **COLOM et VAZZANA, 2003**) ont montré que le maintien d'une TRE relativement élevée en période de stress léger est un indicatif de tolérance à la sécheresse. Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau, et une réduction significative de la production de la biomasse totale (**ALBOUCHI et al., 2000**). L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale, le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation, en maintenant une turgescence cellulaire (**EL JAAFARI et al., 2000**).

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

1. PRETRAITEMENTS

1.1. Taux de germination

Le test effectué sur des graines des 3 campagnes (2015, 2016 et 2017) montrent que les résultats obtenus des 3 essais de prétraitements testés indiquent que le meilleur taux de germination est celui de l'essai 2 [stérilisées et stratifiées à l'hypochlorite de calcium] avec 88% suivi de l'essai de prétraitement 3 [stratification au froid et sable et stérilisation à l'hypochlorite de calcium (CaClO)] avec un taux de germination 63%. L'essai de prétraitement 1 [acide sulfurique pendant 1h (H₂SO₄) + stérilisation à l'hypochlorite de sodium(NaClO)] enregistre un taux de germination très faible à nul de 1% (**figure 22**).

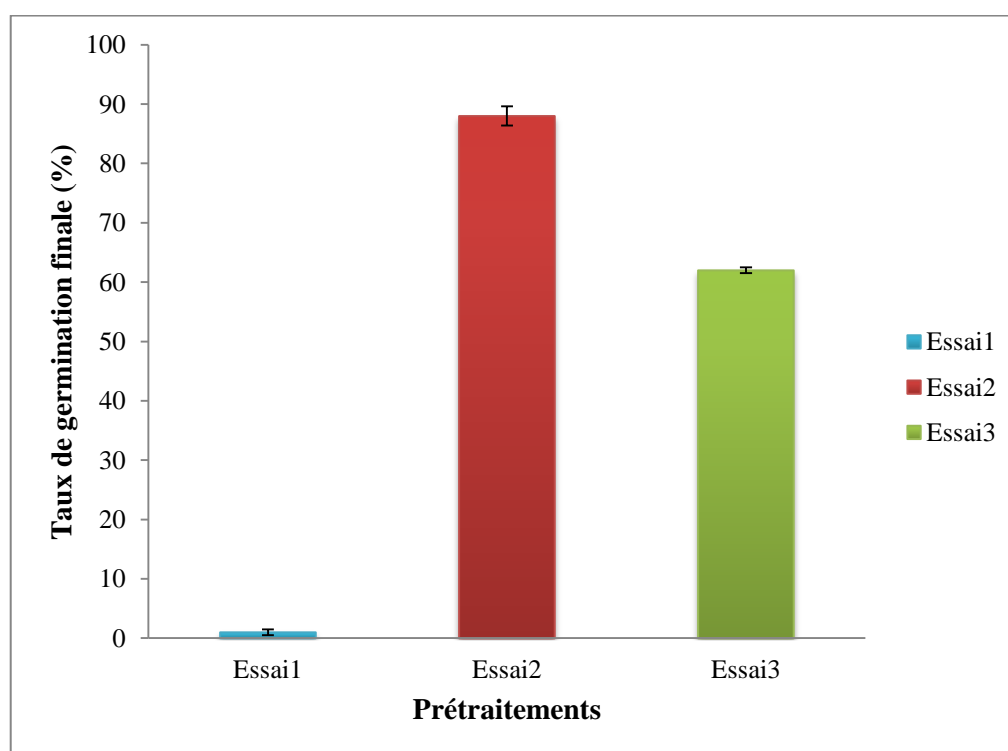


Figure 22: Variation du taux de germination final des prétraitements testés.

1.2. Cinétique de la germination

La figure 21 représente l'évolution de la germination des graines en fonction du temps pour l'ensemble des prétraitements testés.

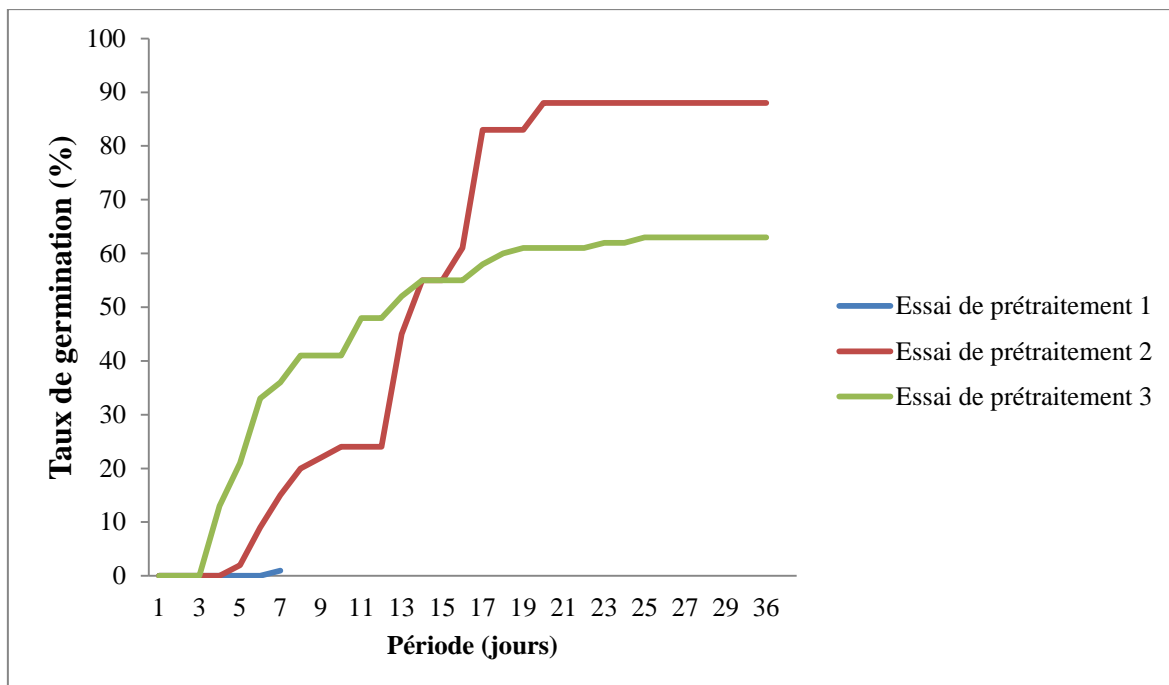


Figure 23 : Cinétique de la germination des 3 essais de prétraitements testés.

Les graines stratifiées selon les différents prétraitements testés commencent à germer durant l'intervalle allant de 4 à 7 jours.

L'essai de prétraitement 1 (H_2SO_4) atteint son taux de germination maximal (1%) qui est très faible au bout de 7 jours. Le prétraitement 2 a atteint le taux de germination maximum (88%) après 20 jours. Quant à l'essai 3 il a atteint le taux de 63% au bout de 25 jours.

2. Comparaison de la germination des graines issues de 3 campagnes

2.1. Taux de germination

La figure 22 enregistre le taux de germination final des graines récoltées durant les 3 campagnes à savoir (2015, 2016 et 2017).

Le meilleur taux de germination est obtenu chez les graines récoltées durant la campagne 2017 avec 89%, suivi des graines récoltées durant la campagne 2016 avec (88%).

Les graines récoltées durant la campagne 2015 et conservées pendant 2 années consécutives ont un taux de germination faible avec 41% comparées aux campagnes précédentes (2016 et 2017).

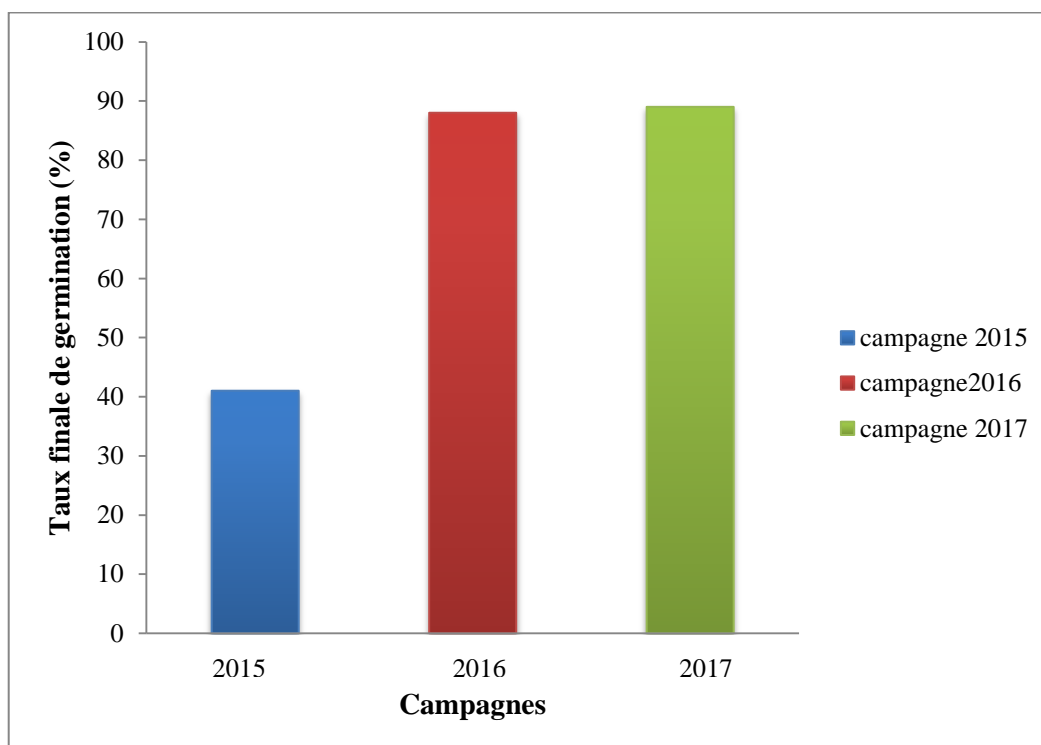


Figure 24 : Variation du taux de germination des 3 campagnes testés.

2.2. Cinétique de germination

Les courbes des deux campagnes 2016 et 2017 ont une allure similaire (**figure 24**).

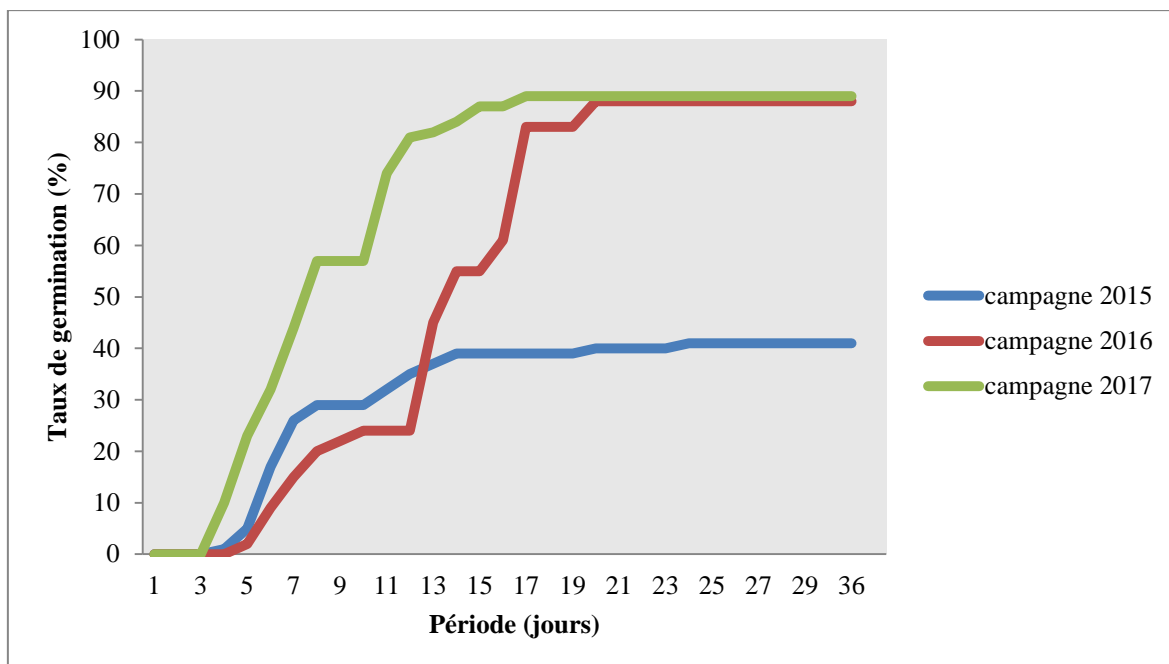


Figure 25 : Cinétique de la germination des graines issues de 3 campagnes.

Le début de la germination des graines récoltées durant les campagnes 2015, 2016 et 2017 est respectivement de 4 jours, 5 jours et 4 jours, et atteignent leur taux de germination final de 18 jours (campagnes 2017), 20 jours (campagne 2016) et 24 jours (campagne 2015).

DISCUSSION

Les résultats obtenus des prétraitements sont en accord avec ceux trouvés par **ALETA et al., (1997)** où ils rapportent que le taux de germination des graines du pistachier de l'Atlas trempées dans l'acide sulfurique, pendant 10 min arrivent à 80% et ils ont enregistré seulement 30% de graines germées pour une durée de trempage de 60 minutes.

Les graines soumises au froid donnent des résultats qui sont similaires à ceux de **Côme (1970)**, chez certaines semences, les températures basses provoquent l'apparition d'une inhibition tégumentaire. En effet lorsqu'elles sont conservées au froid puis ensencées à une température plus élevée pour provoquer leur germination, elles deviennent relativement dormantes, il s'agirait probablement d'une réduction de l'apport d'oxygène à l'embryon.

La différence de la germination des graines récoltées durant 3 campagnes différentes (2015, 2016 et 2017) est probablement due aux techniques de conservation.

Dans notre cas nous avons remarqué que les graines mises à germer l'année de leurs récoltes avaient un pouvoir germinatif plus important.

3. EFFET DU STRESS SALIN ET HYDRIQUE SUR LA GERMINATION

Cette partie est consacrée à l'étude de l'effet du stress salin et hydrique sur la germination du Pistachier de l'Atlas.

3.1. Effet du NaCl sur la germination

La mesure des paramètres suivants montrent l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la germination.

3.1.1. Taux de germination (TG %)

Les résultats obtenus après 20 jours de culture montrent une réduction de taux de la germination des graines stressées comparativement aux graines témoins (**Figure 25**). L'analyse de la variance montre une différence statistiquement significative ($p=0.00$) (**Annexe A.1**).

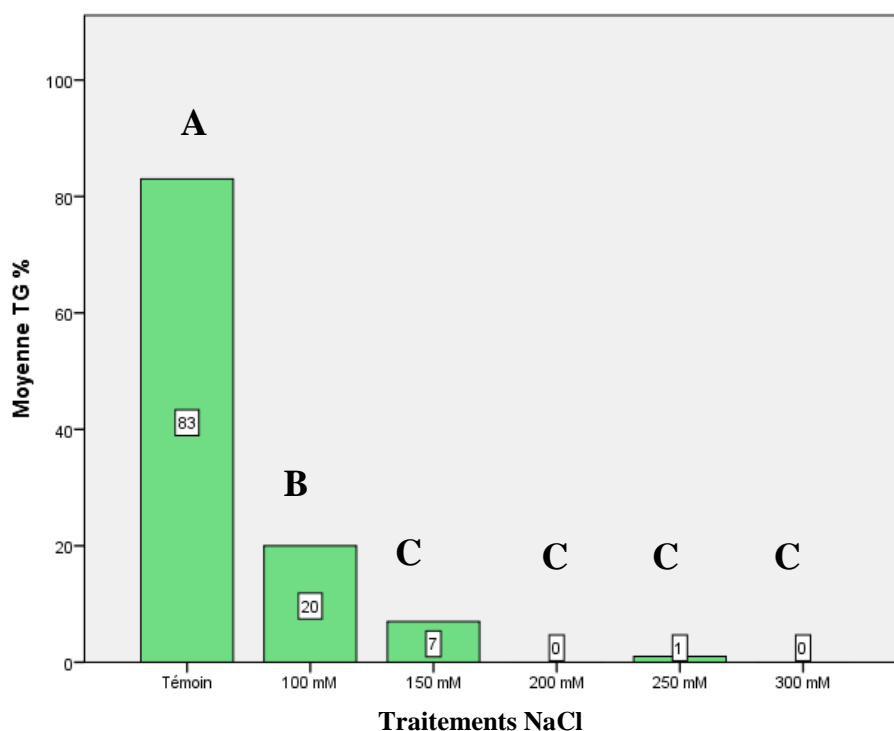


Figure 26 : Variation du taux de germination des graines du pistachier. (STRESS SALIN)

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) révèlent 3 groupes homogènes.

Le meilleur pourcentage de germination est enregistré chez les graines témoins avec 83% et se retrouvent dans le groupe A. Le deuxième groupe B englobe les graines stressées par le NaCl à 100 mM avec un taux de germination 20%. Le groupe C est représenté par les lots de graines mises en germination dans les solutions salines (NaCl) à : 150, 200, 250 et 300 mM (Annexe A.2).

3.1.2. Cinétique de germination

La figure 25 montre que les courbes de la cinétique de germination des concentrations NaCl 200, 250 et 300 mM sont pratiquement semblable.

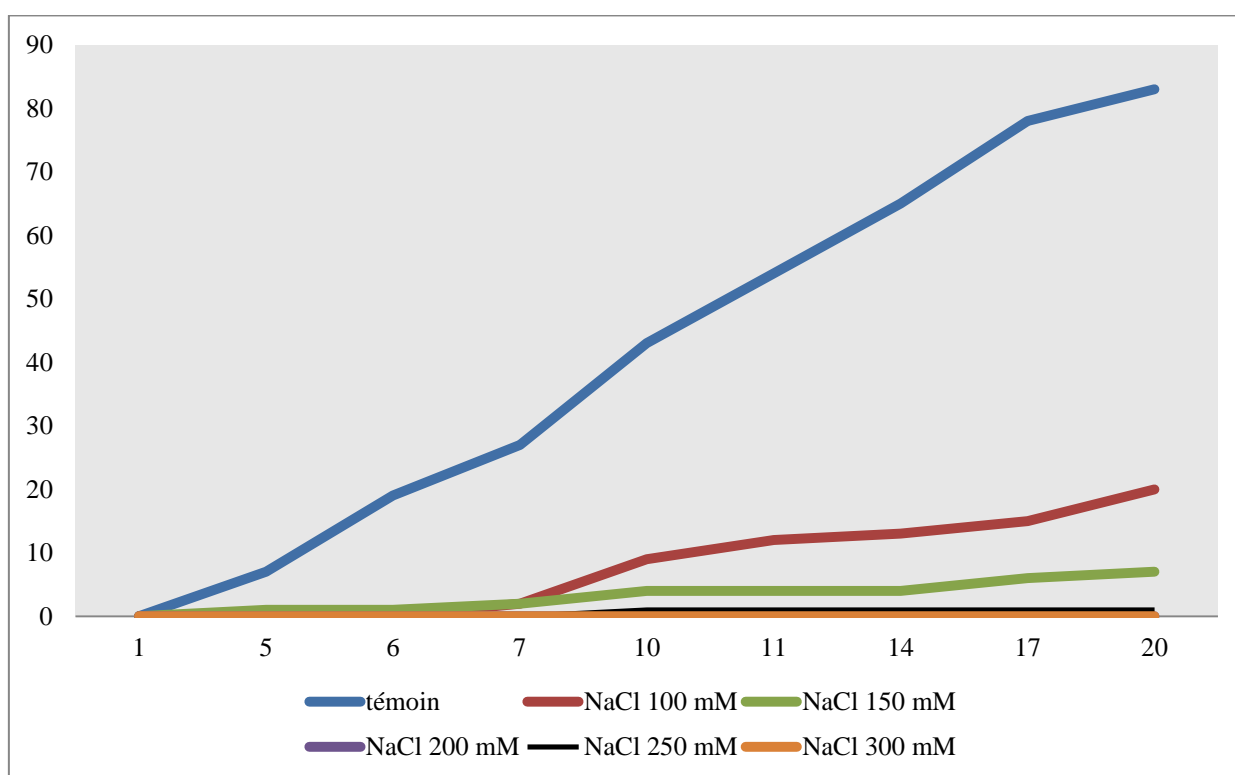


Figure 27: Cinétique de germination des graines
(STRESS SALIN).

On observe pour le témoin une forte augmentation atteignant 83% le 20^{ème} jour. Les courbes ayant les mêmes tendances sont celles où les concentrations en NaCl sont de 100 et 150mM.

3.1.3. Temps moyen de germination

Le temps moyen de germination augmente en fonction de l'augmentation de la concentration en NaCl. Il est de 2 jours pour les graines témoins qui n'ont pas subi la contrainte stressante (les plantules témoins ont été arrosées régulièrement avec l'eau courante (**figure 28**)).

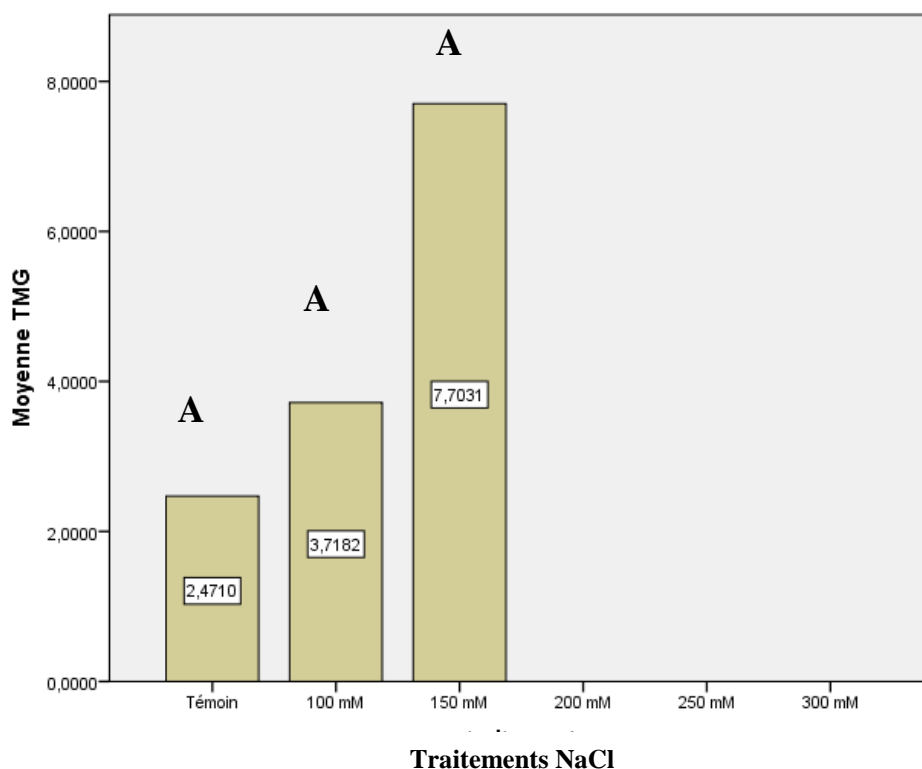


Figure 28: Variation du temps moyen de germination des graines soumises au stress salin.

La figure 28 montre nettement l'augmentation du temps moyen de germination, il est de 2.47 jours (témoin) jusqu'à 7.70 jours enregistré chez les graines soumises au stress salin (NaCl : 150mM).

Les graines issues des lots où la concentration en NaCl est de 200, 250 et 300 mM, le TMG n'a pas pu être calculé en raison de leurs taux de germination très faibles à nuls avec respectivement 0%, 1% et 0%.

L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas une différence significative ($p= 0.27$) (**Annexe A.3**).

3.1.4. Inhibition de la germination

La figure 27 montre les résultats obtenus des taux d'inhibition de la germination (%) des graines soumises au stress salin à différents dose de NaCl.

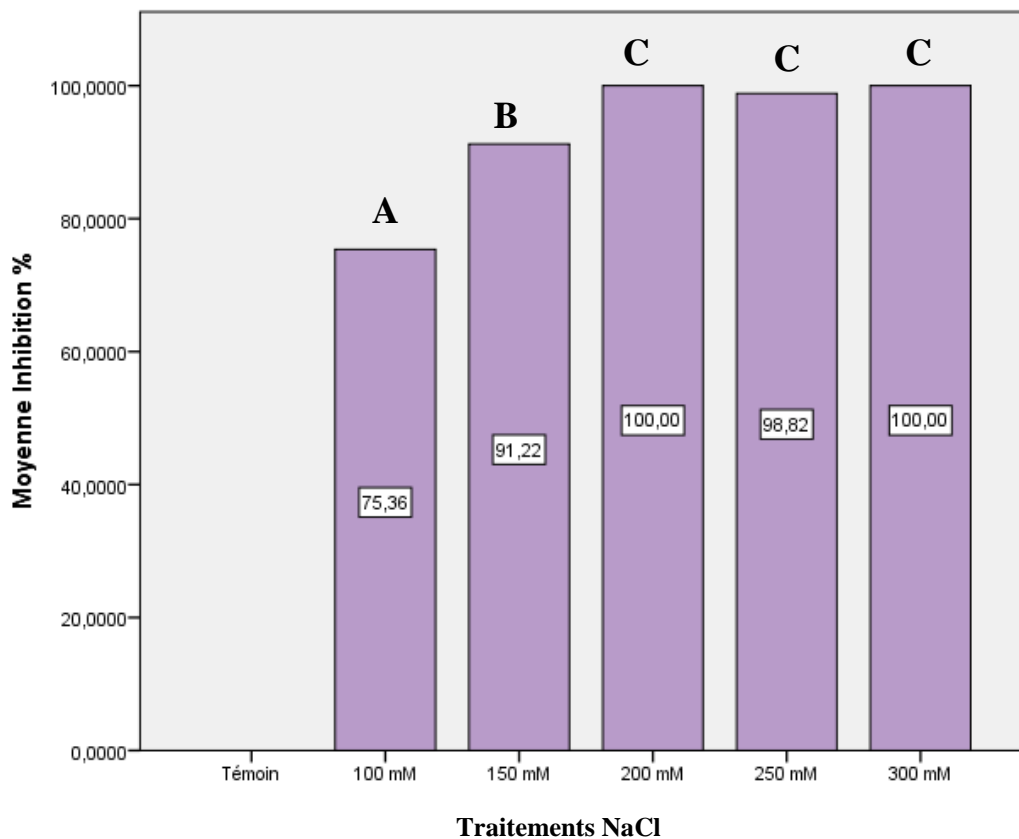


Figure 29: Variation du taux d'inhibition de germination (STRESS SALIN).

D'après les résultats obtenus, on remarque un taux d'inhibition très élevé atteignant les 100% dans les lots traités avec une solution saline (NaCl) de 200 et 300 mM où on enregistre 98.82%. Les graines stressées avec une solution de NaCl de 250 mM suivi par les graines du lot NaCl 150 mM atteignent un taux de 91.22%. Le taux d'inhibition le plus faible est enregistré chez les graines soumises au stress en NaCl à 100 mM avec un taux moyen de 75.36 %.

L'analyse de la variance (ANOVA) indique une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe A.4**) avec 2 groupes homogènes, dont le NaCl 100 mM fait partie du premier groupe A et le 2^{ème} regroupe le reste des traitements (Groupe B).

DISCUSSION

La mise des graines à germer dans différentes concentrations de NaCl ont conduit à des résultats proches de ceux trouvés par **OUKARA, (2018)** qui note que le pourcentage de germination diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl.

3.2. Effet du PEG 6000 sur la germination

Le stress hydrique subit aux graines a montré que l'effet de différentes concentrations du PEG 6000 est variable selon les concentrations, il a été estimé par la mesure des paramètres suivants :

3.2.1. Taux de germination

Après 20 jours de culture, on obtient des résultats qui montrent le taux de germination des graines stressées à différentes concentrations de PEG. Le pourcentage de germination est nettement réduit avec l'augmentation de la concentration du PEG 6000 contrairement aux graines témoins qui ne sont pas affectées par le traitement (**figure 30**). Ceci est confirmé par l'analyse statistique qui montre une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe B.1**).

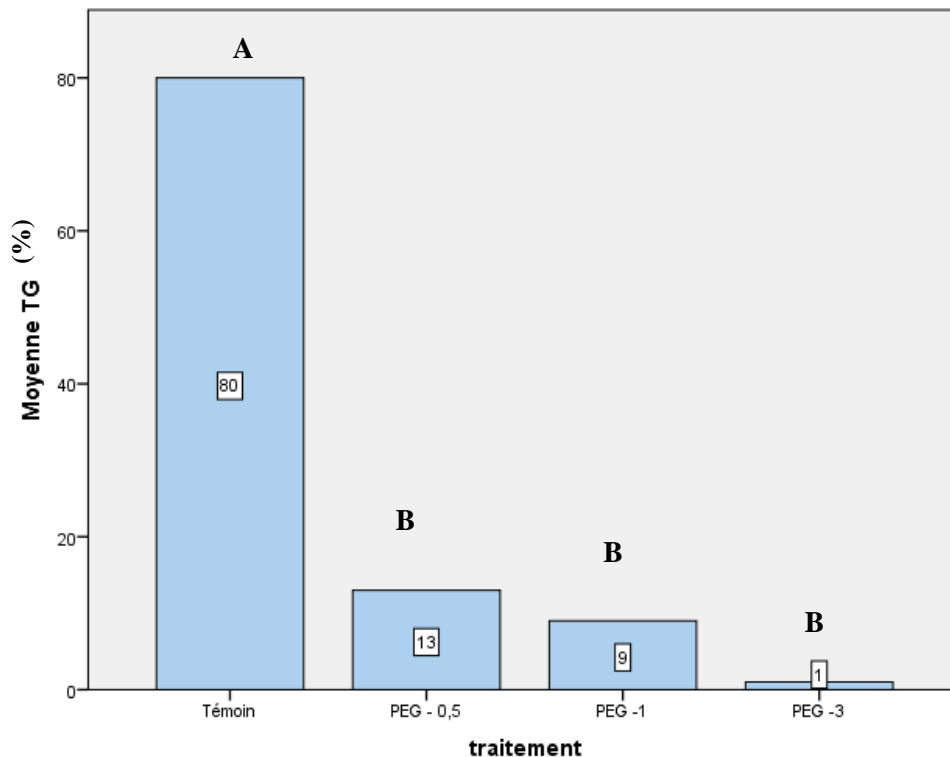


Figure 30 : Variation du taux de germination des graines (STRESS HYDRIQUE)

Le test de Tukey révèle l'existence de 2 groupes homogènes dont le groupe A où nous retrouvons le témoin avec un taux de 80%. Le reste des traitements fait partie du groupe B avec 13%, 9% et 1% pour PEG -0.5, PEG -1 et PEG -3 respectivement (**Annexe B.2**).

3.2.2. Cinétique de germination

La figure 29 représente l'évolution de la germination des graines soumises aux différentes concentrations du PEG 6000 en fonction du temps.

Les courbes de la cinétique de germination les traitements PEG -0.5 et PEG -1 ont une allure similaire.

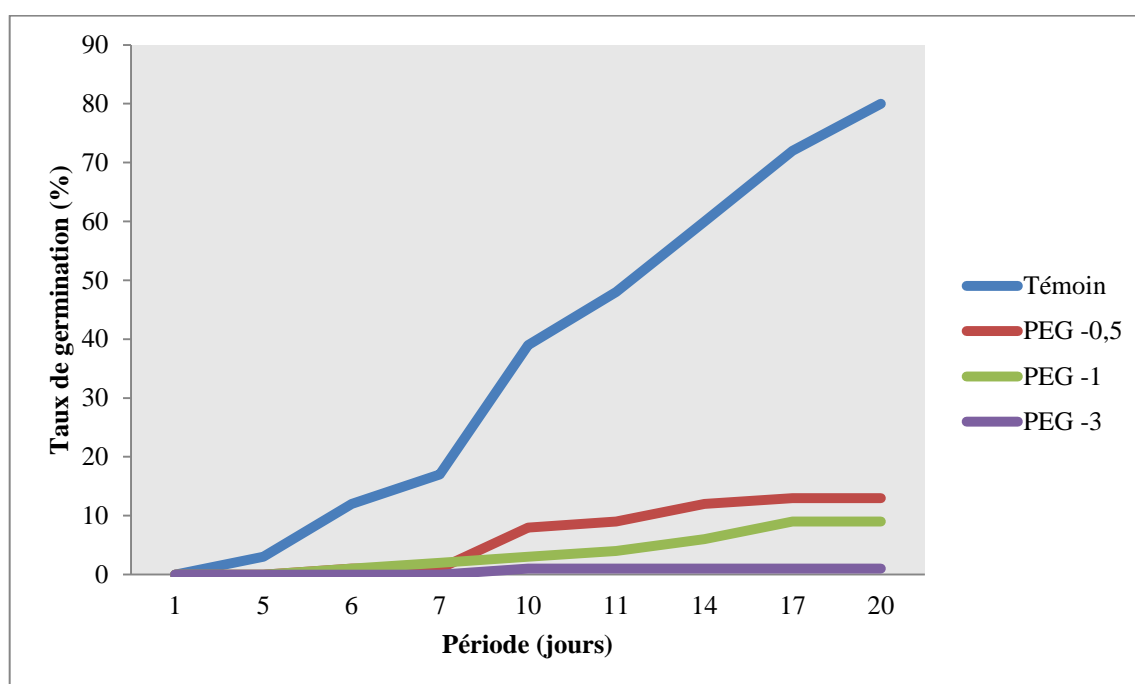


Figure 31: Cinétique de la germination des graines
(STRESS HYDRIQUE)

Les résultats obtenus montrent une cinétique de germination très appréciable pour le témoin qui augmente progressivement pour atteindre son taux de germination maximal (80%). Aucune évolution de germination n'a été observée pour la concentration PEG -3.

3.2.3. Temps moyen de germination

La figure 30 montre le temps moyen de germination des graines traitées à des différentes doses du PEG 6000.

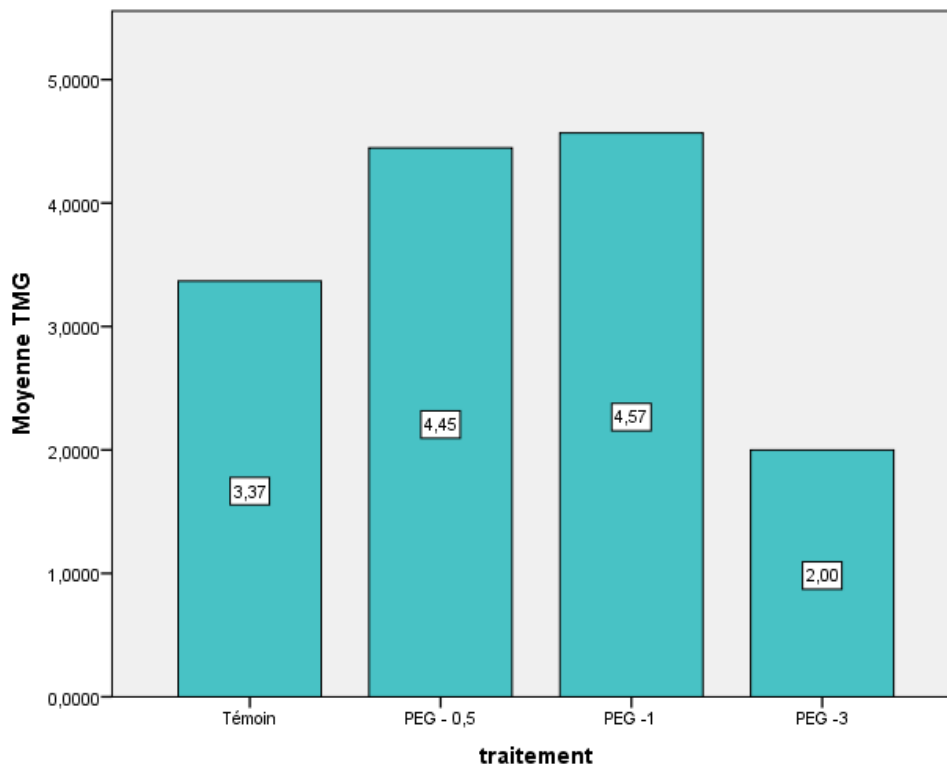


Figure 32: Variation du temps de germination des graines
(STRESS HYDRIQUE)

Les graines mises à germer montrent que le temps de germination le plus faible (2 jours) est obtenu pour le traitement PEG -3 comparé aux autres traitements et le témoin.

Le test d'ANOVA signale qu'il n'existe aucune différence significative ($p=0.67$) (**Annexe B.1**).

3.2.4. Inhibition de la germination

Les résultats obtenus de l'inhibition de la germination sont illustrés dans la figure 33.

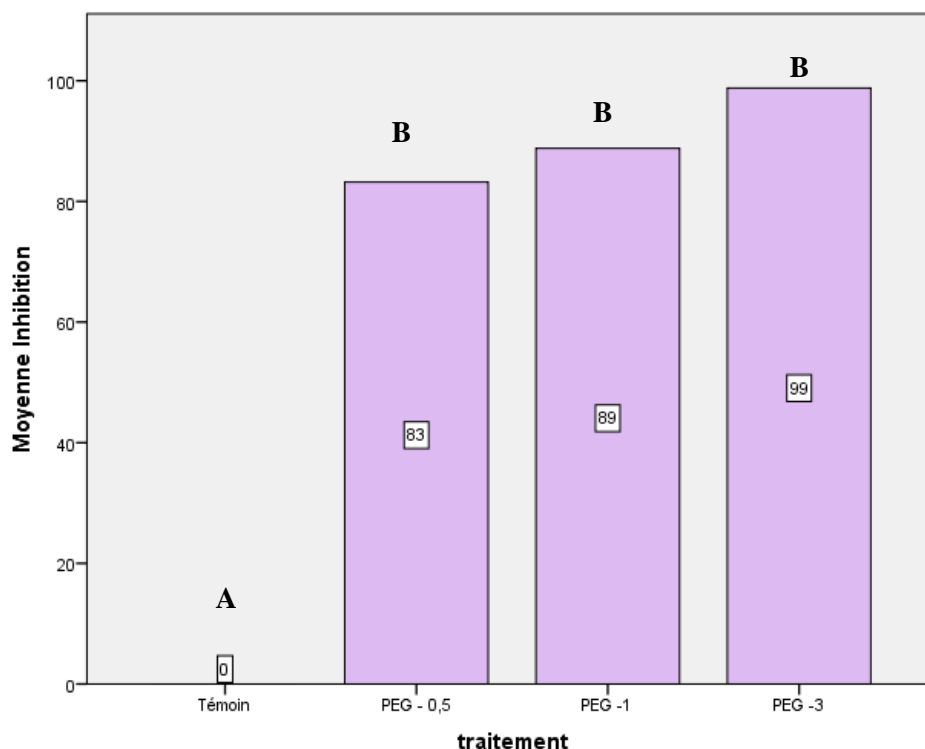


Figure 33: Variation du taux de l'inhibition de germination (STRESS HYDRIQUE)

D'après l'analyse de la variance, il existe une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe B.3**). Le test de Tukey confirme cette analyse par l'obtention de 2 groupes homogènes.

Le témoin fait partie du groupe homogène A avec une valeur de 0 % et les traitements PEG -0.5, PEG -1 et PEG -3 appartiennent au groupe B avec des valeurs plus proche de 83%, 89% et 99% respectivement (**Annexe B.4**).

DISCUSSION

L'application du traitement de PEG 6000 à 50g/l n'a pas donné des résultats similaires à ceux trouvés par **MOHAMMED et al., (2003)**, qui soulignent que la germination des amandes de l'arganier reste relativement élevée à la concentration de 40g/l.

Nous pouvons déduire que notre espèce pistachier de l'Atlas est moins tolérante que l'Arganier qui se trouve dans l'extrême sud, dans les zones hyperarides.

4. EFFET DU STRESS SALIN ET STRESS HYDRIQUE SUR LES PLANTULES DU PISTACHIER DE L'ATLAS

Nous avons effectué des suivis de plantules soumises au stress salin et hydrique sur la croissance et le développement en mesurant certains paramètres.

4.1. STRESS SALIN

L'effet du stress salin sur les plantules est mesuré à travers des paramètres physiologiques (teneur en pigments chlorophylliens) et des paramètres biochimiques (teneur en proline et teneur en sucres solubles totaux).

4.1.1. Teneur en proline

Les résultats obtenus montrent que les différentes concentrations en NaCl ont induit à une augmentation progressive de la teneur en proline en fonction de l'intensité du stress (**figure 34**).

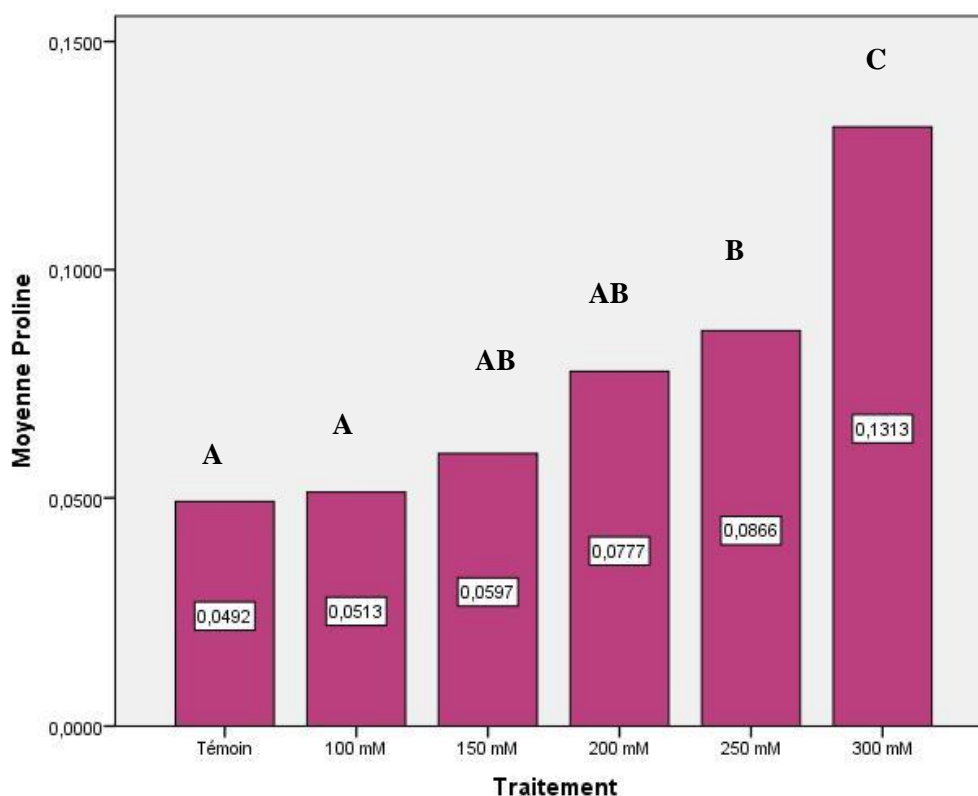


Figure 34: Variation de la teneur en proline dans les plantules (STRESS SALIN).

La teneur en proline la plus élevée est située au niveau des plantules arrosées avec une solution de NaCl 300 mM où nous enregistrons une quantité de 0.13 µg/g MF comparativement au témoin qui montre la valeur la plus faible avec 0.04 µg/g MF.

L'analyse de la variance ANOVA montre une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe C.1**). Le test de Tukey ($\alpha= 5\%$) indique 4 groupes homogènes (**Annexe C.2**).

DISCUSSION

Nos résultats de la teneur en proline après application du stress salin sont similaires à ceux de **BOUCHOUKH, (2010)** qui signale lui aussi que l'accumulation de la proline chez les épinards est variable selon les variétés. Elle augmente en fonction de la concentration de NaCl dans le milieu. **BELKHOJA et al., (2007)** signalent également que l'accumulation de la proline augmente significativement avec l'augmentation de la concentration de la salinité. **MONNEVEUX (1989)**, ajoute que l'une des causes de l'accumulation de proline serait aussi une protéolyse membranaire, la proline pourrait s'accumuler suite à une perturbation du métabolisme des protéines (**BEZZALA, 2005**).

Une étude menée par **LOTMANI et al., (1998)** et **MEKHALDI, (2007)** sur *Vigna Sinensis*, montre le même comportement de cette espèce face au stress salin. La proline est la substance qui s'accumule dans les tissus végétaux soumis au stress abiotiques et constitue un moyen de tolérance à la salinité (**ZID et al., 1991**).

4.1.2. Teneur en sucres solubles totaux

Les teneurs en sucres solubles sont représentés dans la figure 35.

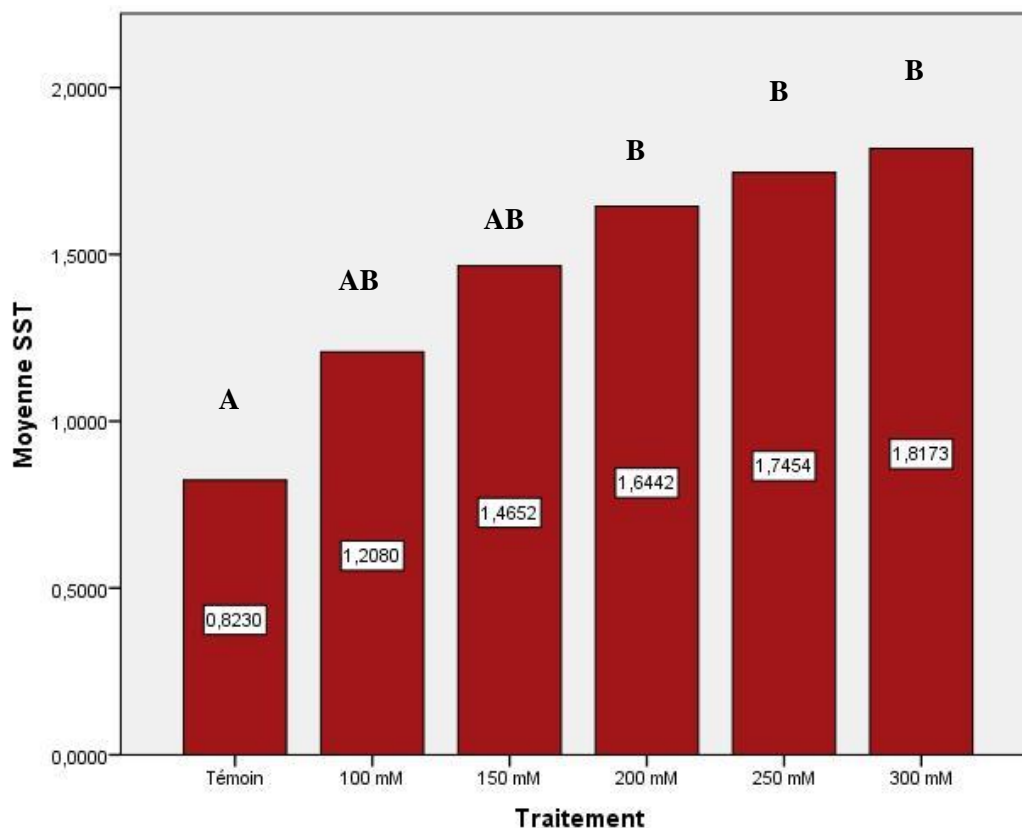


Figure 35 : Variation des sucres solubles dans les feuilles des plantules (STRESS SALIN)

Les sucres solubles indiquent une différence significative selon l'analyse de la variance ($p=0.00$) (**Annexe C.1**).

Les teneurs en sucres solubles varie entre $0.82 \mu\text{g/g MF}$ et $1.81 \mu\text{g/g MF}$. Les valeurs de la teneur en sucres solubles augmentent légèrement entre les traitements NaCl 100, 150, 200 et 250 respectivement avec 1.20, 1.46, 1.64 et 1.74 $\mu\text{g/g MF}$. Le test de Tukey ($\alpha=5\%$) les classe dans 2 principaux groupes homogènes A et B (**Annexe C.3**).

DISCUSSION

Nos résultats s'accordent aux travaux sur l'accumulation des sucres totaux solubles observé chez *Vigna unguiculata L. Walp*, comparée à l'espèce *Vigna radiata L. Wilczek*, où le contenu cellulaire en sucres et en sacharoses est réduit sous stress salin au NaCl (**ABED ELHALEEM et al., (2007) in MOUFFAK, (2008)**).

4.1.3. Teneur en pigments chlorophylliens

4.1.3.1. Chlorophylle (a) et (b)

Les figures 34 montre les résultats obtenus de la chlorophylle (a) et (b) dont on remarque une diminution significative de la teneur en pigments chlorophylliens avec l'augmentation des concentrations en sels ($p=0.00$) pour la chlorophylle (a) et ($p=0.03$) pour la chlorophylle (b) (**Annexe C.1**).

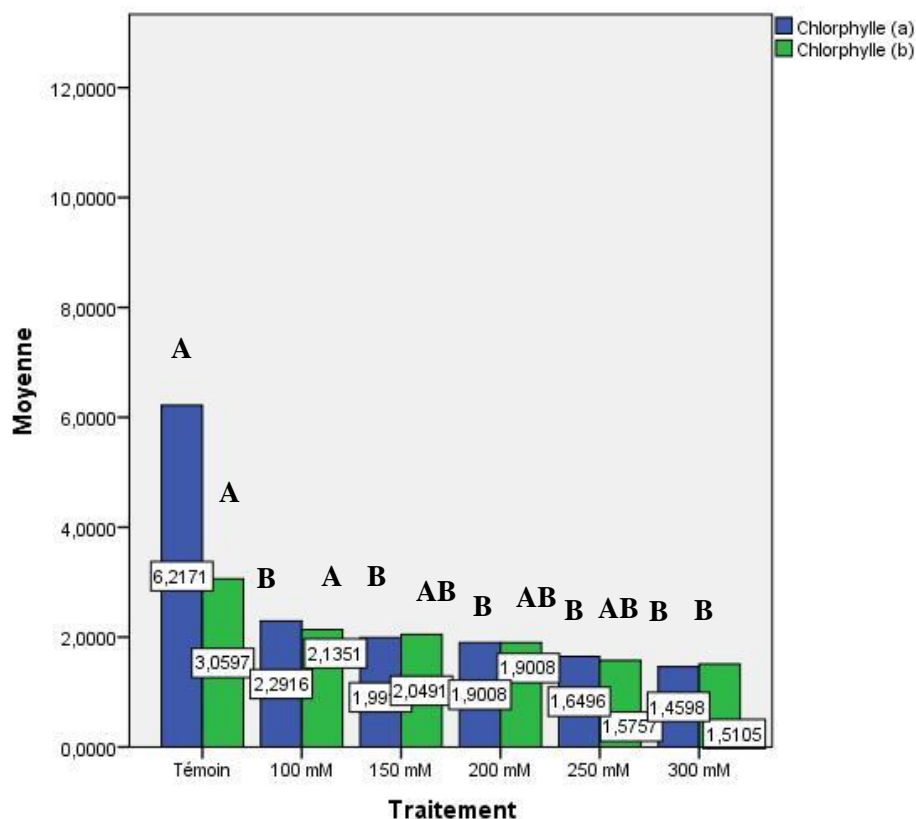


Figure 36: Variation de la teneur en chlorophylles (a) et (b) des plantules (STRESS SALIN)

D'après nos résultats obtenus on remarque que la teneur en chlorophylle (b) peut être moins affectée par le stress que celle de la chlorophylle (a) pour les plantules témoins et celles arrosées avec la solution saline de 100 mM et 250 mM. La teneur en chlorophylles (b) est plus élevée que celle de la chlorophylle (a), c'est le cas pour les plantules arrosées avec des solutions NaCl 150 et 300 mM. A 200 mM les chlorophylles (a) et (b) sont identiques.

Le test de Tukey classe les valeurs en pigments chlorophylliens en 2 groupes homogènes. Pour la teneur en chlorophylles (a) la différence significative est entre le témoin (groupe B) et le reste des traitements (groupe A) (**Annexe C.4 et C.5**).

4.1.3.2. Chlorophylle totale

La figure 37 illustre la teneur en chlorophylle (a+b)

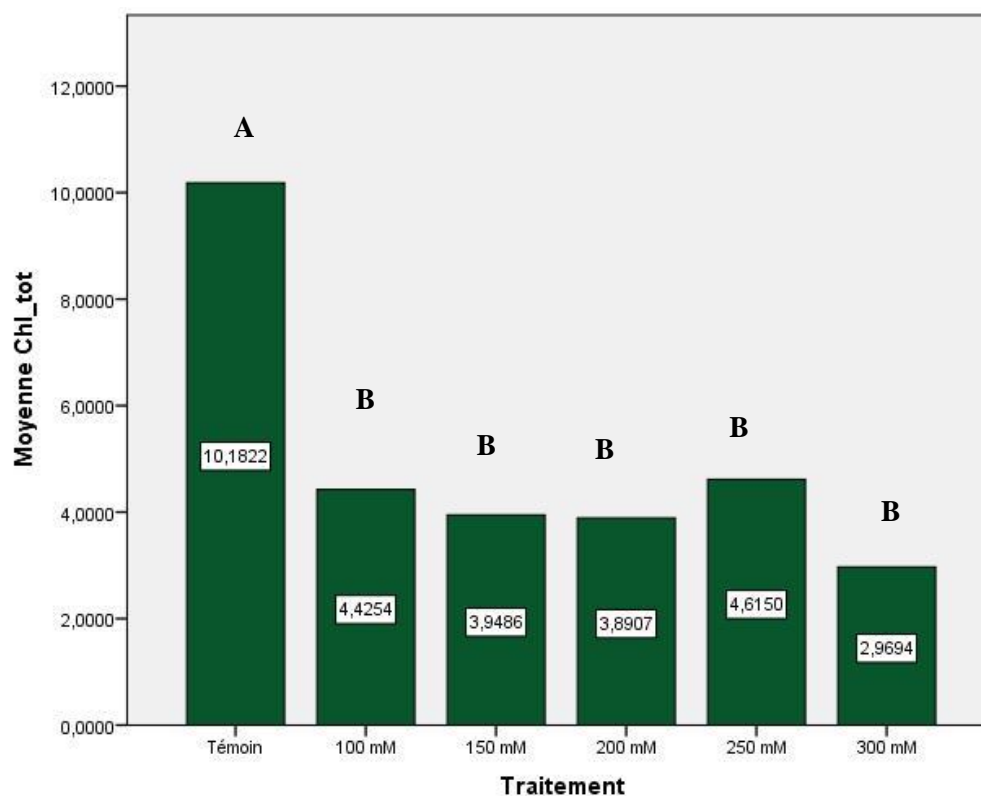


Figure 37: Variation de la teneur en chlorophylle totale pour les plantules (STRESS SALIN)

La teneur la plus élevée est marquée chez les plantules témoins et la plus basse valeur est enregistrée chez les plantules qui ont été arrosées avec la concentration la plus forte à savoir 300 mM.

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence significative ($p=0.00$) (**Annexe C.1**) et 3 groupes homogènes sont dégagés (**Annexe C.6**).

Le témoin est classé seul dans le groupe b et les autres traitements ne marque pas de différence significative entre eux donc ils sont classés en groupe A.

4.1.3.3. Caroténoïdes

La moyenne la plus élevée de la teneur en caroténoïdes est enregistrée chez le témoin avec 4.36 $\mu\text{g/g}$ MF. En deuxième lieu on a le traitement NaCl 250 mM avec une valeur de 1.99 $\mu\text{g/g}$ MF et les plantules traitées en NaCl 100, 150 et 200 mM enregistrent des moyennes de teneur en caroténoïdes qui oscillent entre 1.75 ; 1.70 et 1.57 $\mu\text{g/g}$ MF (**figure 38**).

Ce paramètre subit une diminution au niveau des plantules traitées en NaCl 300 mM.

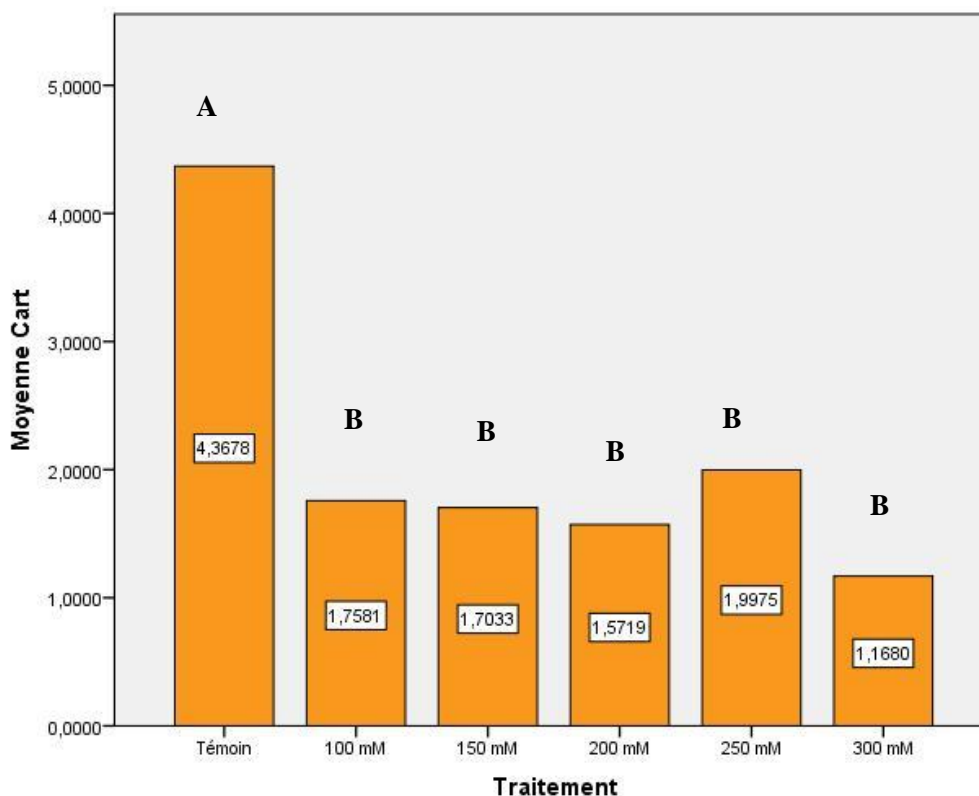


Figure 38: Variation des teneurs en caroténoïdes des plantules (STRESS SALIN)

DISCUSSION

Ces résultats sont conformes avec plusieurs études réalisées sur différentes plantes (**EL JAAFARI, 2000**). En condition de stress salin, il s'avère que le contenu de la chlorophylle diminue considérablement chez les plants spontanées *d'Arabidopsis thaliana* en comparaison avec les plants mutants (**MITSUYA et al., 2006**).

4.2.STRESS HYDRIQUE

L'effet du stress hydrique sur les plantules est mesuré à travers des paramètres physiologiques (teneur en eau et teneur en pigments chlorophylliens) et des paramètres biochimiques (teneur en proline et teneur en sucres solubles totaux).

4.2.1. Teneur en proline

Les résultats illustrés dans la figure 39 montrent que la teneur en proline augmente en fonction de la sévérité du stress hydrique. Les teneurs en proline chez les plantules témoins sont toujours plus faibles par rapport à celles enregistrées chez les plantules stressées.

La valeur de la teneur en proline la plus élevée est enregistrée chez les plantules stressées durant 15 jours avec une teneur qui avoisine de 0.07 $\mu\text{g/g}$ MF.

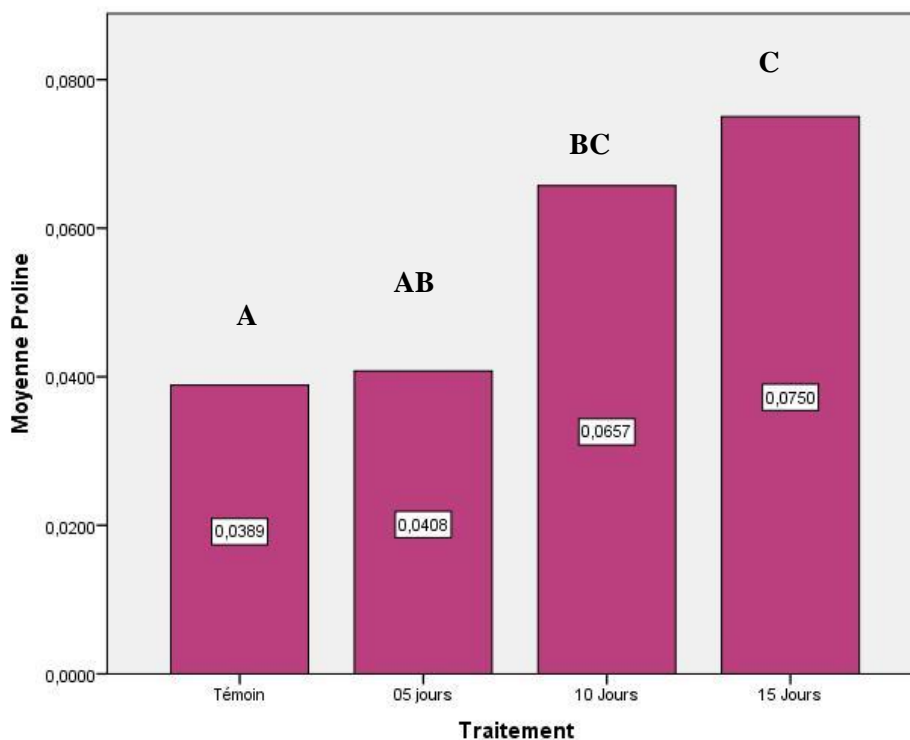


Figure 39: Variation de la teneur en proline des plantules (STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre que cet acide aminé a une différence significative dans les feuilles ($p = 0.003$) (**Annexe D.1**). Les groupes homogènes sont mentionnés dans l'**annexe D.2**.

DISCUSSION

Nos résultats de la teneur en proline sont en accord avec ceux trouvés par **CECHIN et al., (2006)**, l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique, elle agit comme soluté permettant l'ajustement osmotique et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.

4.2.2. Teneur en sucres solubles totaux

L'accumulation des sucres solubles dans les feuilles du *Pistacia atlantica* augmente progressivement en fonction des périodes d'arrêt d'arrosage appliquées (**Figure 40**). Après 15 jours d'arrêt d'arrosage, l'accumulation des sucres totaux avoisine les 1.39 $\mu\text{g/g MS}$, elle est plus élevée comparé à l'accumulation au niveau des plantules témoins avec 0.55 $\mu\text{g/g MS}$.

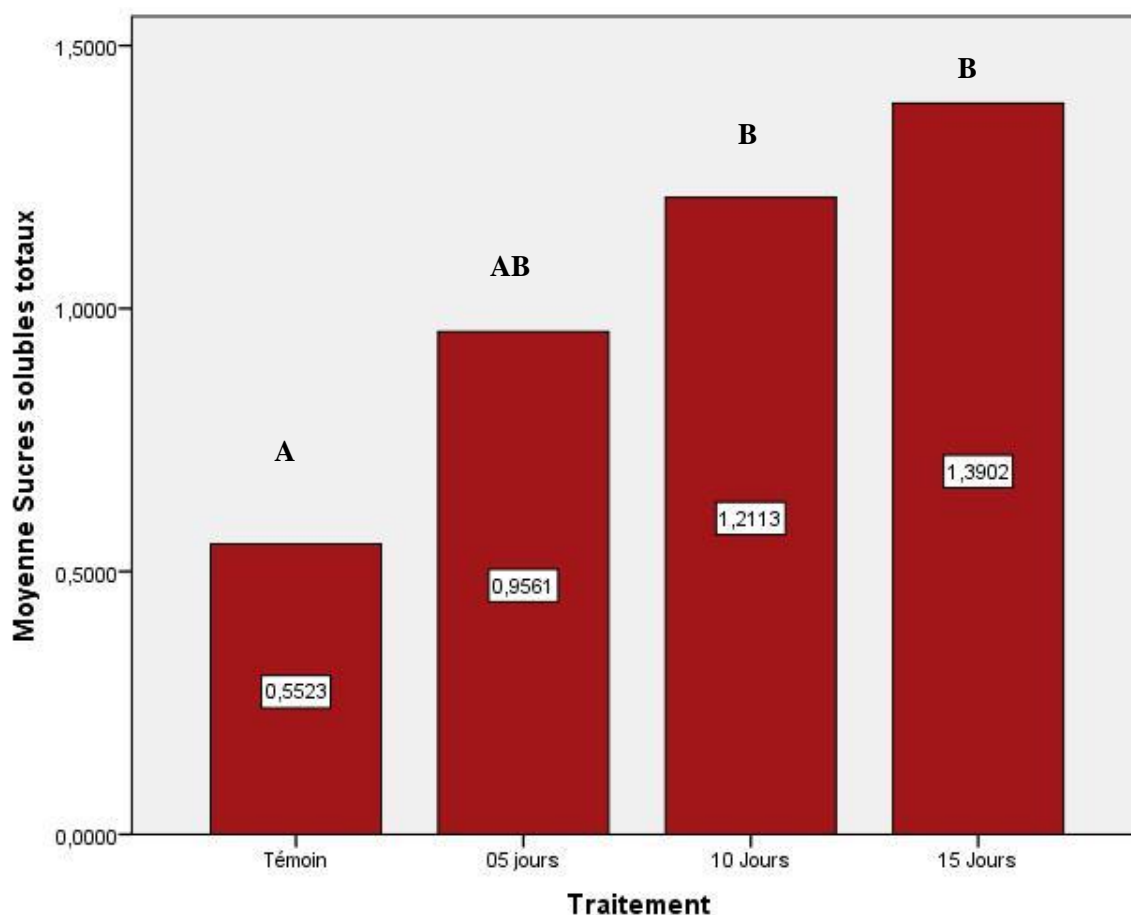


Figure 40: Variation de la teneur en sucres solubles dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance à un seul critère de classification confirme ces résultats et montre une différence significative entre les moyennes de l'accumulation des sucres solubles selon les périodes de stress ($p=0.004$) (**Annexe D.1**). Le test de Tukey confirme cette analyse, on obtient 2 groupes homogènes dont le témoin fait partie du groupe **A** et les traitements de 10 et 15 jours d'arrêt d'arrosage appartiennent au groupe **B** avec des valeurs respectivement 1.21 et 1.39 $\mu\text{g/g MS}$ et enfin on note que le traitement de 5 jours fait partie du troisième groupe **AB** (**Annexe D.3**).

DISCUSSION

Concernant les résultats sur l'évolution des sucres solubles, il ressort que un c'est composé organique qui évolue en fonction de l'augmentation de la concentration en sels. Ce résultat traduit la capacité des plantules du pistachier de l'Atlas à synthétiser les sucres solubles et les accumuler dans les feuilles.

Des travaux de recherches notamment ceux de **BOUCHOUKH (2010)** et plus récemment **OUKARA (2018)** montrent que les sucres solubles totaux figurent parmi les composés osmotiques les plus fréquemment accumulés au cours des stress environnementaux.

Ce phénomène est aussi observé chez d'autres espèces notamment l'Acacia (**ALBOUCHI et al., 1977**), l'Eucalyptus (**CHUNYANG, 2013**) et l'arganier (**BERKA ET AÏD, 2009**).

4.2.3. Teneur en pigments chlorophylliens

Les résultats obtenus montrent que le stress salin influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a), (b) et caroténoïdes chez le pistachier de l'Atlas (**Figure 39 ; 40 et 41**).

4.2.3.1. Chlorophylle (a) et (b)

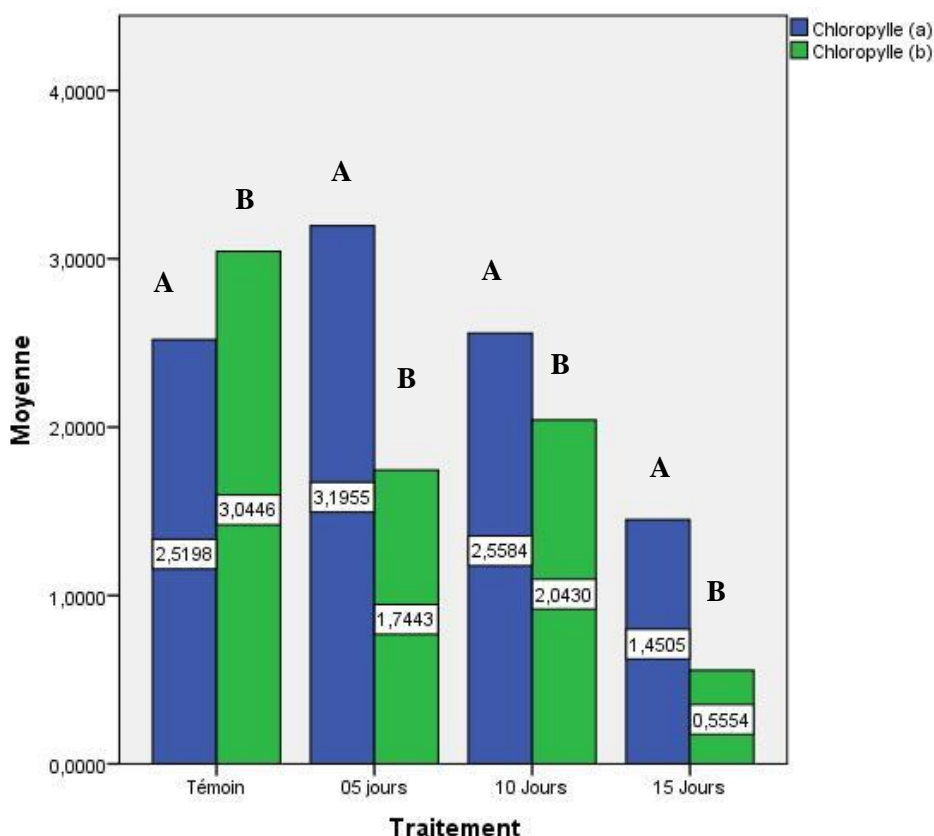


Figure 41: Variation de la teneur en pigments chlorophylliens (a) et (b) dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE).

Nous remarquons que la teneur en chlorophylle (a) est toujours supérieure de celle de la chlorophylle (b) excepté pour le témoin. La valeur maximale que la chlorophylle (a) a atteinte 3.19 $\mu\text{g/g MF}$ enregistré chez les plantules stressées pendant 5 jours suivie par le témoin et les plantules stressées pendant 10 jours avec des valeurs respectivement 2.51 et 2.55 $\mu\text{g/g MF}$. La valeur la plus faible est marquée chez les plantules non arrosées pendant 15 jours (1.45 $\mu\text{g/g MF}$). Cependant, pour la chlorophylle (b) la valeur la plus élevée est de 3.04 $\mu\text{g/g MF}$ chez les plantules témoins et la plus basse chez les plantules non arrosées pendant 15 jours avec une quantité de 0.55 $\mu\text{g/g MF}$.

L'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas une différence significative pour la chlorophylle (a) ($p=0.1$) et la différence est statistiquement significative pour la chlorophylle (b) ($p=0.001$) (**Annexe D.1**).

4.2.3.2. Chlorophylle totale

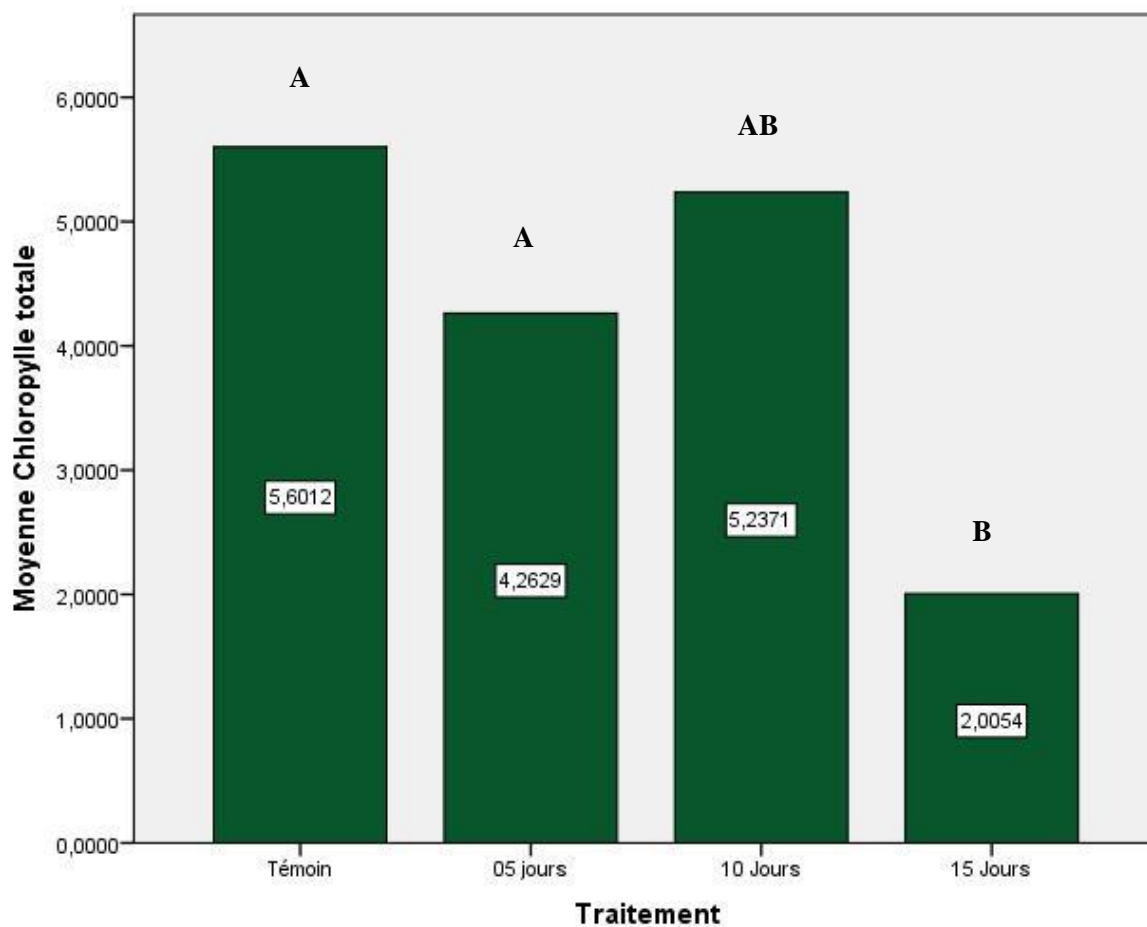


Figure 42: Variation de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

L'analyse de la variance ANOVA montre une différence significative ($p=0.015$) (**Annexe D.1**) avec 2 groupes homogènes (**Annexe D.4**). La valeur la plus élevée est enregistrée chez le témoin ($5.60 \mu\text{g/g MF}$) et la plus faible chez les plantules non arrosées pendant 15 jours ($2.00 \mu\text{g/g MF}$) (**Figure 42**).

4.2.3.3. Caroténoïdes

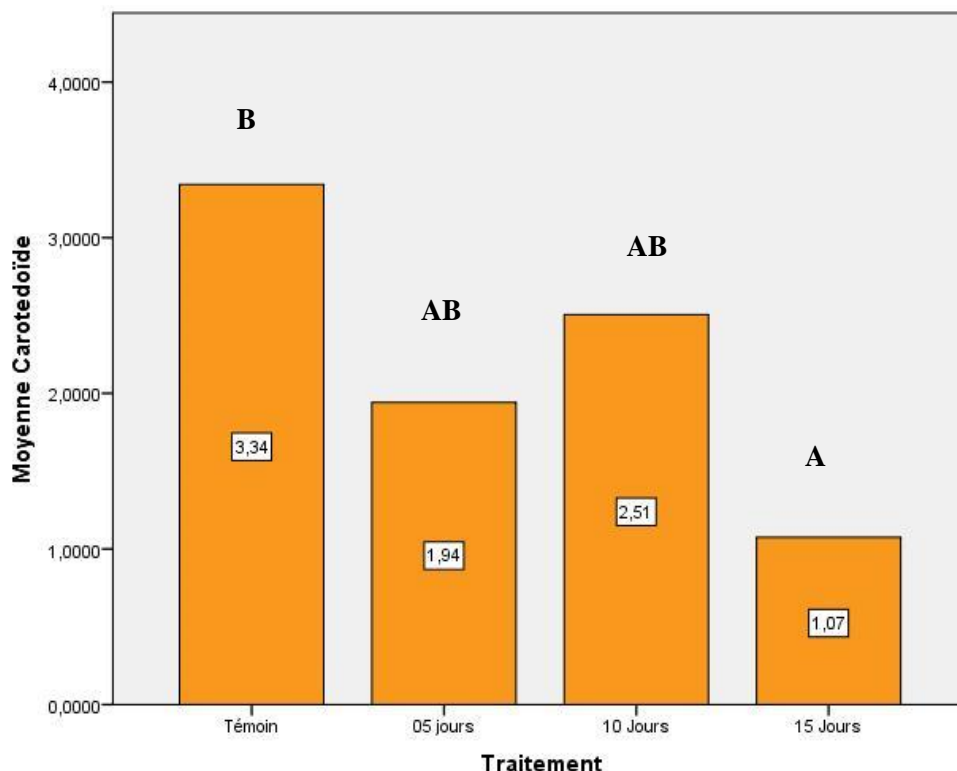


Figure 43: Variation de la teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

Les teneurs en caroténoïdes varient d'un traitement à un autre. La teneur la plus élevée enregistrée est de 3.34 µg/g MF chez le témoin et la plus faible est observée chez les plantules stressées pendant 15 jours avec une teneur de 1.07 µg/g MF (**figure 43**).

Une différence significative est obtenue d'après l'analyse de la variance ($p=0.008$) (**Annexe D.1**) et les traitements sont classés selon le test de Tukey en 2 groupes homogènes A et B (**Annexe D.5**).

DISCUSSION

La chlorophylle (a), (b) et la caroténoïde des feuilles peut être influencées par beaucoup de facteurs abiotiques notamment la lumière, la température et la disponibilité en eau (**HIKOSAKA et al., 2006**). La chute des teneurs en chlorophylles est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**BOUSBA et al., 2009**).

Ce phénomène a été observé durant notre expérimentation où la quantité totale en chlorophylles a chuté avec l'évolution du stress hydrique.

4.2.4. Teneur relative en eau

L'élévation de la durée de stress hydrique provoque une diminution de la teneur relative en eau par rapport aux plantules témoins (**figure 44**).

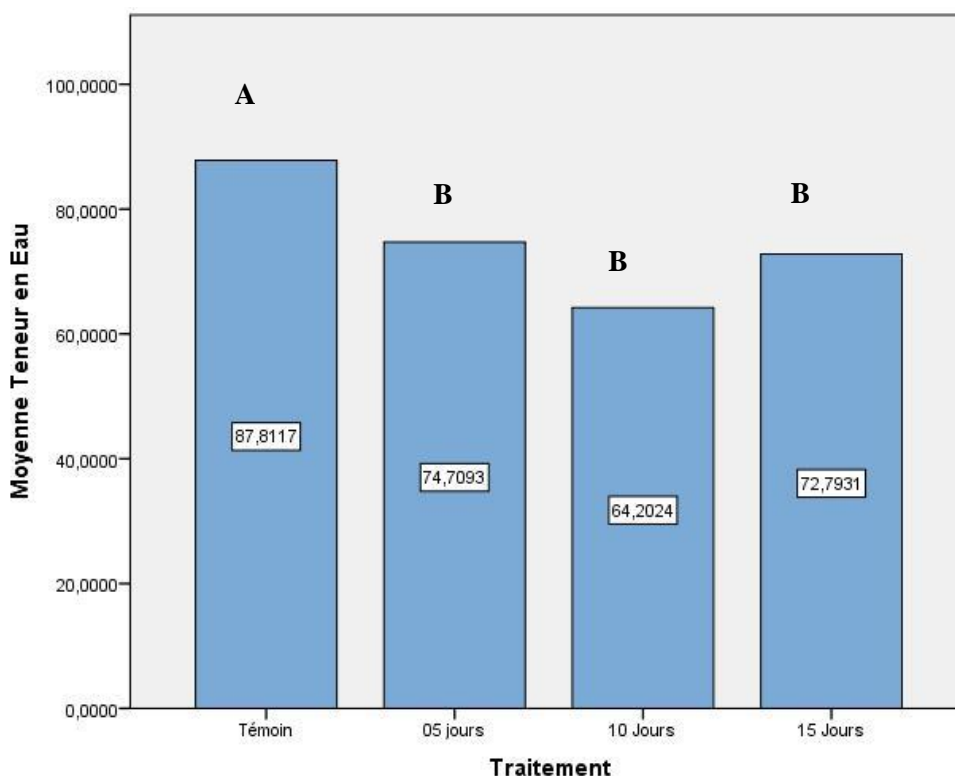


Figure 44: Variation des pourcentages de la teneur relative en eau dans les feuilles des plantules (STRESS HYDRIQUE)

Les teneurs relatives en eau diminuent chez les plantules stressées, on enregistre 74%, 64% et 72% respectivement pour les traitements 5, 10 et 15 jours d'arrêt d'arrosage par rapport aux plantules témoins avec 87%.

Une différence significative est révélée ($p=0.008$) (**Annexe D.1**) et le test de Tukey les classe en 2 groupes homogènes A et B (**Annexe D.6**).

DISCUSSION

Certaines études précédentes réalisées par **ALTINKUT et al., (2001)**, **COLOM et VAZZANA, 2003**) ont montré que le maintien d'une TRE relativement élevée en période de stress léger est un indicatif de tolérance à la sécheresse. Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau, et une réduction significative de la production de la biomasse totale (**ALBOUCHI et al., 2000**). L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale, le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation, en maintenant une turgescence cellulaire (**EL JAAFARI et al., 2000**).

CHAPITRE I : Matériel et méthodes

1. Prélèvement du matériel végétal

Le travail a été réalisé sur des drupes mûres du Pistachier de l'Atlas. Nous avons réalisé de 3 récoltes durant 3 campagnes (septembre 2015, septembre 2016 et septembre 2017), d'un seul écotype provenant de Ain Oussera (wilaya de Djelfa). Celle-ci se trouve dans la limite nord de la zone des hauts-plateaux, à une altitude moyenne de 700 mètres, elle se situe à 200 km au sud d'Alger et 88 km au nord de Djelfa, 155 km à l'est de Tiaret et 120 km à l'ouest de Bousaada et de 130 km au sud de Médéa.

Les trois lots de graines récoltées ont été conservées à l'abri de l'humidité dans un sac en papier kraft.

2. Site expérimental

Notre étude a été réalisée au niveau de laboratoire de physiologie et amélioration végétale du Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Blida 1.

L'expérimentation est réalisée dans une serre de 382,5 m² de surface en polycarbonate, sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition nord-sud. L'éclairage est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre et elle est mesurée par un thermomètre placé au milieu de la serre. Un système de chauffage thermostatique permet de réguler la température durant les journées les plus froides. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre sur une longueur de 17mètres (**figure 14**).



Figure 14: Serre expérimentale du Département de Biotechnologies (laboratoire de biotechnologies des productions végétale).

3. Méthodes utilisées pour les essais de germination

Les semences de chaque essai de germination ont suivi une étape de trempage dans de l'eau de robinet pendant 24h, dans le but de ramollir les téguments.

Plusieurs essais de prétraitement ont été testés pour favoriser la germination et retenir la ou les plus performants.

3.1.Essai 1

Les graines utilisées dans cet essai ont été récolté durant la campagne 2016.

Après leurs avoir retiré les téguments, 100 graines ont été stratifiées et stérilisées dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaClO) 8% pendant 8min. Elles sont ensuite trempés dans de l'acide sulfurique (H_2SO_4) à 95-97% pendant 1h et rincées avec de l'eau distillée stérile (3 fois).

Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri d'un diamètre de 9cm, chaque boîte contient 25 graines, arrosées avec de l'eau distillée et mises dans une étuve stérile à une température de $25 \pm 2^\circ C$ pendant 40 jours. Nous avons effectué 04 répétitions soit 100 graines par essai.

Le travail a été effectué sous hotte pour éviter toute contamination surtout cryptogamiques.

3.2.Essai 2

Les graines proviennent des récoltes de campagnes 2015, 2016 et 2017. Nous avons pris 300 graines au total soit 100 graines pour chaque campagne.

Dans cet essai, la stérilisation et la stratification ont été réalisées avec une solution d'hypochlorite de calcium (CaClO) à 8%. La pesée de 8g d'hypochlorite de calcium est mise dans 100 ml d'eau distillée et après agitation jusqu'à homogénéisation, la solution préparée est réservée dans un réfrigérateur à $4^\circ C$ pendant 24h.

Après 24h, 2 phases sont observées, la phase supérieure est récupérée et utilisée pour la stérilisation, l'eau partie est écartée.

Sous hotte, 100 graines sont mises dans la solution préparée pendant 7min, rincées avec de l'eau distillée stérile puis mises à germer dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre.

Nous avons réalisé 4 répétitions de 25 graines que nous avons arrosées avec de l'eau distillée stérile.

Enfin, les boîtes de Pétri sont portées dans une étuve stérilisée à une température de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 40 jours.

3.3.Essai 3

Une stratification dans du sable et le froid a été effectuée pour les graines récoltées durant la campagne 2016. Cette étape s'effectue après écartement des enveloppes protectrices externe des graines.

Les semences sont déposées entre deux couches de sable humidifiées et mise dans un réfrigérateur à 4°C pendant 20 jours pour ramollir la coque de la graine.

Après stratification (sable et froid) les graines sont stérilisées dans l'hypochlorite de calcium et subissent les mêmes étapes que l'essai 2.

4. Effet de stress abiotique sur la germination :

Les semences retenues pour cet essai sont celles de la récolte septembre 2016, et ont subi un prétraitement.

Dans le but de voir l'effet de stress sur la germination des graines, deux types de solutions sont utilisées :

- Solution à base de NaCl, pour provoquer le stress salin à des différentes concentrations.
- Solution à base du PEG 6000 (poly éthylène glycol), pour provoquer le stress hydrique.

Le nombre utilisé est de 1000 graines (400 graines pour le stress hydrique, 600 graines pour le stress salin).

Les boîtes de Pétri utilisées sont en verre, qui été stérilisées au préalable dans un autoclave à $115\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Les solutions employées pour l'arrosage sont préparées comme suit :

- ◆ La quantité préparée du NaCl a été dissoute dans un litre d'eau distillée.

Tableau 02 : Préparation des solutions de NaCl

M de NaCl (concentration molaire) mmol/l	g/l
0	0
100	5.84
150	8.76
200	11.68
250	14.60
300	17.52

- ◆ La quantité préparée du PEG a été dissoute dans un litre d'eau distillée.

Tableau 03 : Préparation des solutions du PEG

PEG 6000 (Bar)	PEG 6000 (g/l)
0	0
-0.5	50
-1	78.5
-3	151.5

Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri contenant du coton et du papier filtre stérile. Dans chaque boîte, 20 graines sont réparties avec 5 répétitions pour chaque dose de chaque traitement soit 400 graines testées. L'arrosage est effectué à l'aide d'une micropipette de 40 ml de volume.

Les graines sont placées dans une étuve à une température de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 20 jours.

5. Effet du stress sur la croissance

Les graines germées sont transplantées dans des gobelets pour une période de 45 jours, Les plantules obtenues sont ensuite transplantées dans des pots d'un volume de 3 litres pour une période de 30 jours avant de provoquer le stress.

Le substrat utilisé dans les gobelets et les pots est un mélange de 1/3 sol, 1/3 tourbe et 1/3 sable.

Le sol a été prélevé au niveau de la station expérimentale de la faculté SNV. C'est un sol pauvre contenant peu d'éléments minéraux et dépourvu de matière organique.



Figure 15 : Vue générale des plantules mises en gobelets.



Figure 16 : Obtention d'une plantule de pistachier de l'Atlas vigoureuse prête à être transplantée en pots.



Figure 17 : Plantules du pistachier de l'Atlas après repiquage.

5.1.Stress salin

Le stress salin a duré 7 jours. Un arrosage quotidien avec des solutions salines à différentes concentrations a été effectué. Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec répétitions, réparti en cinq (5) concentrations testées, comparées au témoin (arrosage avec l'eau du robinet uniquement).

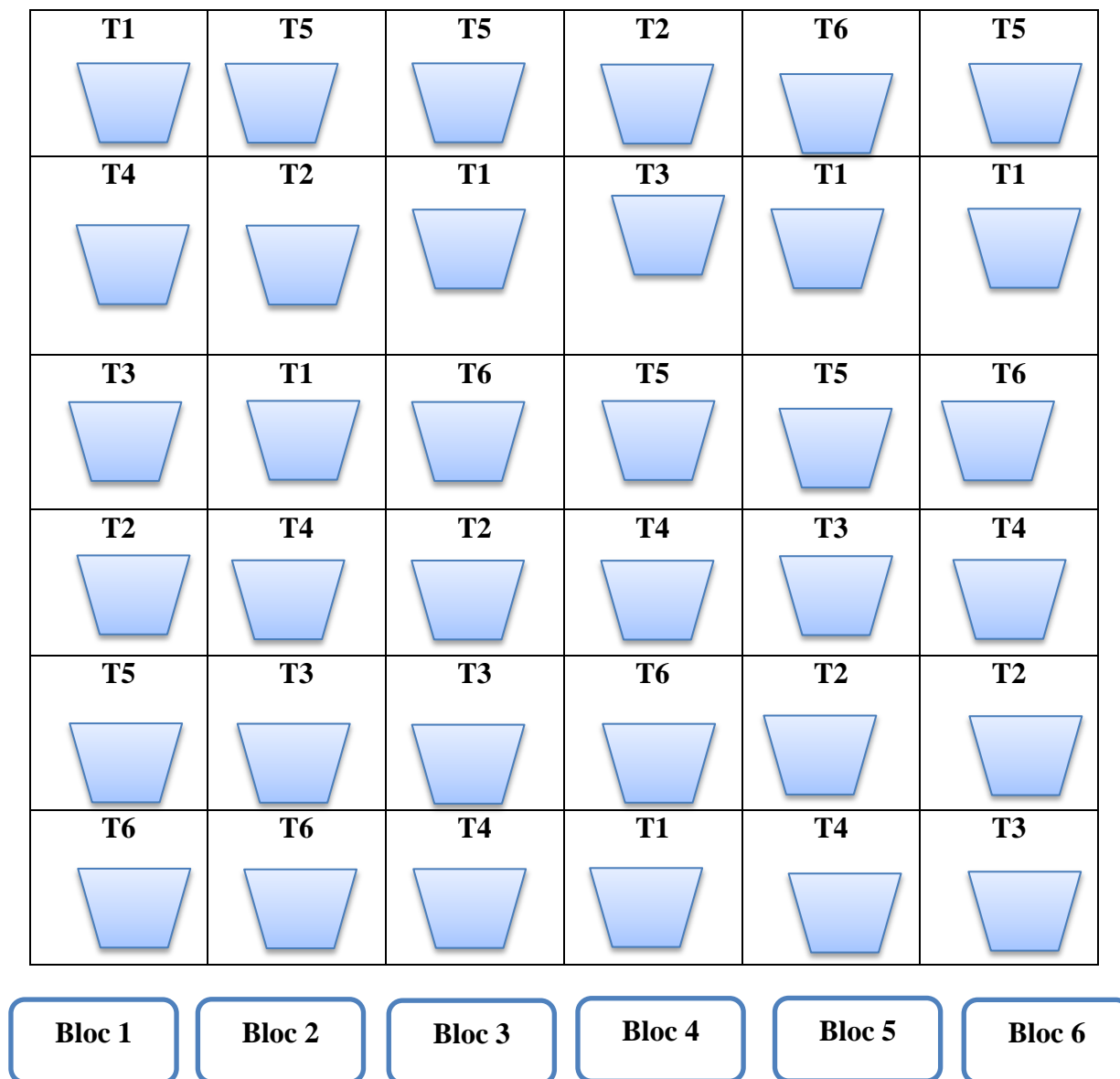


Figure 18: Dispositif expérimental.
(STRESS SALIN)



Figure 19: Vue générale du Bloc aléatoire
(STRESS SALIN).

5.1.1. Préparation des solutions salines

Les plantules sont arrosées avec la solution NaCl à différentes concentrations comparées aux plantules témoins qui sont arrosées avec de l'eau du robinet.

T1 : Eau de robinet (témoin).

T2 : 100 mM.

T3 : 150 mM.

T4 : 200 mM.

T5 : 250 mM.

T6 : 300 mM.

5.2. Stress hydrique

La durée de stress est de 15 jours. Nous avons procédé à un arrêt total d'arrosage en comparaison avec le témoin où les plantules ont été arrosées régulièrement avec l'eau du robinet. Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec répétitions. Les paramètres mesurés concernant toutes les plantules de chaque pallier d'arrêt d'arrosage (5, 10 et 15 jours).

Les traitements établis sont les suivants :

T1 : arrosage quotidien avec l'eau du robinet en comparaison avec les autres traitements où un arrêt d'arrosage a été effectué pendant 3 périodes différentes.

T2 : 5 jours.

T3 : 10 jours.

T4 : 15 jours.

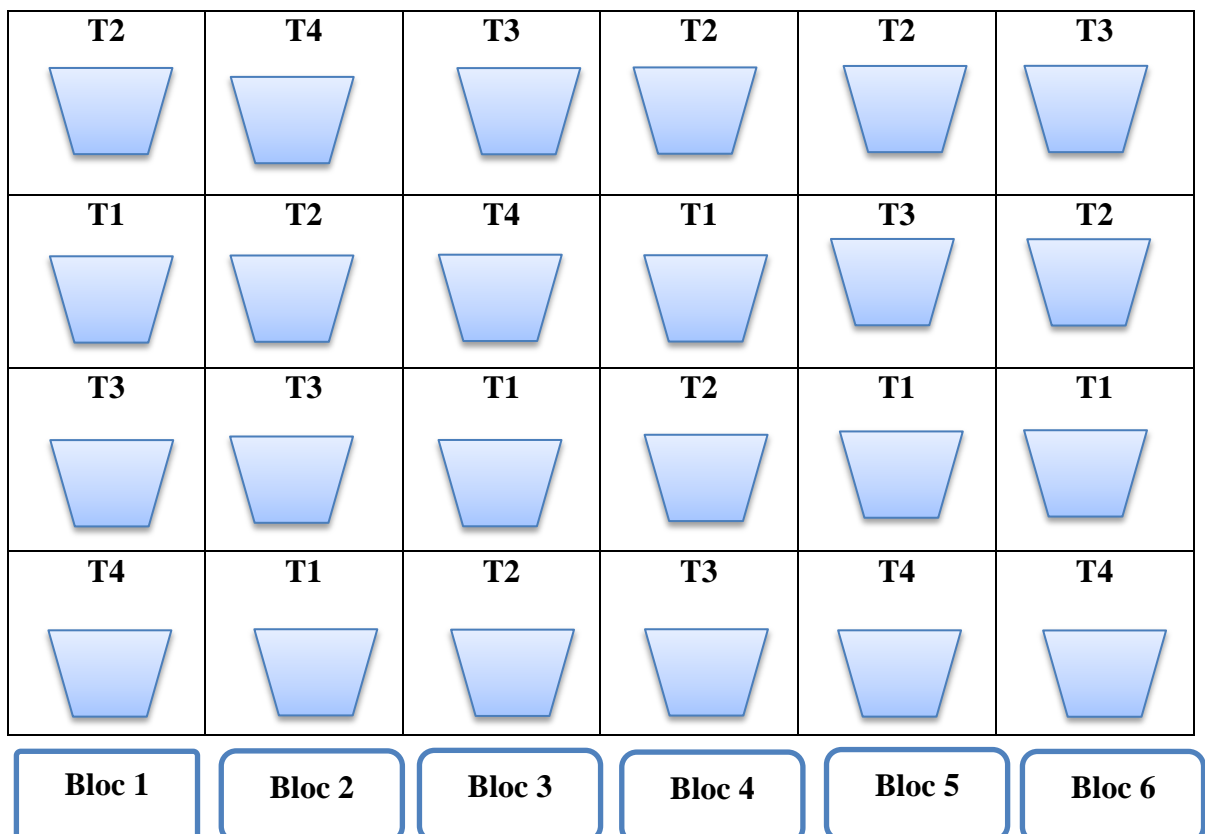


Figure 20: Dispositif expérimental.
(STRESS HYDRIQUE)



Figure 21 : Vue générale du bloc aléatoire.
(STRESS hydrique)

6. Paramètres étudiés

6.1. Paramètres de germination

Au cours de l'essai les paramètres étudiés sont les suivantes :

6.1.1. 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 du nombre de graines germées sur le nombre total de graines.

$$\text{TG} = \left(\frac{n}{N} \right) \cdot 100$$

n : Nombre de graines germées.

N : Nombre total de graines mises en germination

6.1.2. Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des graines étudiées ainsi que l'ensemble des événements physiologiques. Ces étapes commencent par l'absorption de l'eau par la graine et se termine par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Après toutes ces étapes nous avons dénombré les graines germées dans les boites de Pétri après 12, 24, 36, 48, 72 et 96 heures.

6.1.3. Vitesse de germination

Selon **COME, 1970**, la vitesse de germination peut s'exprimer en temps moyen de germination (TMG) équivalent à l'inverse multiplié par 100 du coefficient de **KOTOWSKI, 1926** et conduisant à la formule suivante :

$$TMG(jours) = \frac{(N1.T1) + (N2.T2) + \dots + (Nn.Tn)}{(N1 + N2 + \dots + Nn)}$$

N1 : Nombre de graines germées au temps T1,

N2 : Nombre de graines germées dans l'intervalle T1 -T2.....

6.1.4. Inhibition de la germination

Le pourcentage d'inhibition (I) de la germination a été calculé selon **EL HADJI (2014)** :

$$I = \frac{X_i - Y_i}{X_i} \times 100$$

I : Inhibition.

X_i : Nombre de graines ayant germées sur le milieu témoin.

Y_i : Nombre de graines ayant germées en conditions de stress.

6.2. Paramètres de croissance

6.2.1. Teneur relative en eau (Relative Water Content=RWC)

L'eau captée par les racines va occuper l'ensemble des cellules et des espaces intercellulaires du végétal. La mesure de la teneur en eau relative, permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de la turgescence de la plante. Elle est déterminée selon la méthode décrite par **BARRS** et **WEATHERLEY (1962)**, puis par **SCIPPA et al., (2004)**. Le limbe foliaire est coupé à sa base puis immédiatement pesé pour déterminer son poids frais (P.F). L'extrémité est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée puis maintenu à l'obscurité à 4°C pendant 12 heures. Les feuilles sont récupérées et essuyées délicatement avec un papier buvard et sont à nouveau pesées, c'est le poids en pleine turgescence (Ppt). Les échantillons sont ensuite mises dans une étuve pendant 48 heures à 80°C pour obtenir le poids sec (P.S).

La teneur relative en eau (T.R.E) est calculée selon **CLARK et MAC-CAIG (1982)** ; **TAFFOUO et al, (2009 et 2010)**.

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF-PS}) / (\text{Ppt-PS})] \times 100.$$

6.2.2. Chlorophylles et caroténoïdes

Les teneurs en chlorophylle (a), chlorophylle (b), et chlorophylle totale sont déterminées selon la méthode de **LICHTENTHALER, (1987)**. Dans un tube à essai, 0,1g d'échantillon frais issue des feuilles est additionné à 10 ml d'acétone à 95%, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures.

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

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

$$\text{Chlorophylle (a) (mg/l)} = 12,7 \times \text{DO663} - 2,69 \times \text{DO645}$$

$$\text{Chlorophylle (b) (mg/l)} = 22,9 \times \text{DO645} - 4,68 \times \text{DO663}$$

$$\text{Chlorophylle totale (mg/l)} = (20,2 \times \text{DO645}) + (8,02 \times \text{DO663})$$

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

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

$$\text{Caroténoïdes (mg/l)} = (1000 \cdot D_{470} - 1,82 \cdot \text{chl(a)} - 85,02 \cdot \text{chl(b)}) / 198$$

6.2.3. Proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par **TROLL ET LINDESLY (1955)** simplifiée et mise au point par **DREIER ET GORING (1974)** et modifiée par **MONNEVEUX ET NEMMAR (1986)**.

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

100 mg de matière fraîche foliaire ou racinaire sont prélevés de chaque répétition et mis dans des tubes à essais auxquels 2 ml de méthanol à 40 % est ajouté. Les tubes sont couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) et sont portés à l'ébullition au bain-Marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1 ml de l'extrait a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, 1 ml d'acide acétique a été ajouté. Ensuite, on additionne dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H₃PO₄, densité 1,7) et 25 mg de ninhydrine. Le mélange est porté à l'ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge.

Après refroidissement des solutions, le chromatophore est extrait avec 5 ml de toluène. Deux phases se séparent après agitation au vortex. La phase supérieure contenant le chromatophore est prélevé auquel on ajoute à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient 5 mg du sulfate de sodium oxydé (Na_2SO_4). La lecture de la densité optique des échantillons est faite après 48h à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption.

La teneur en proline est calculée selon l'équation :

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

6.2.4. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de (**DUBOIS *et al.*, 1956**). Elle consiste à prendre 100mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais où 2 ml d'éthanol à 80% est ajouté et laissé à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage, les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube, l'ajout de 20ml d'eau distillée à l'extrait effectué.

Dans des tubes à essais propres, 1 ml de la solution à analyser est incorporé, on ajoute 1 ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; puis 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. Une solution jaune orange à la surface est obtenue. La solution aussi préparé passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. Laisser les tubes pendant 10 mn et les placés au bain-Marie pendant 10 à 20 mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 490 nm.

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

6.3. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée par le logiciel SPSS© version 20.0.0 pour Windows™

- ✓ Les expériences concernant les paramètres de germination ont été répétées 05 fois, ceux des paramètres biochimiques ont été répétés 04 fois et les résultats montrent les mêmes tendances.
- ✓ La comparaison entre les moyennes des différents traitements a également été établie par le test ANOVA suivie du test de Tukey pour la comparaison des moyennes, ceci afin de pouvoir sélectionner les concentrations ayant un impact significatif sur l'inhibition de la germination et les teneurs en différents osmorégulateurs intervenant dans le stress hydrique et salin.

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

Cette étude a porté sur la réponse et le comportement du *Pistacia atlantica Desf.* vis-à-vis du stress salin et du stress hydrique

La stérilisation et la stratification des graines à l'hypochlorite de calcium(CaClO) donne de meilleurs résultats de germination avec 88%, alors que l'acide sulfurique (H_2SO_4) cause des dommages pour les graines et inhibe la germination.

Les résultats de la stratification des graines au sable et au froid sont moins appréciables, nous avons enregistré un taux de germination des graines moyens avec 63 %

Les résultats obtenus des tests de germination des graines des différentes campagnes, montre que le pouvoir germinatif est plus important au niveau des graines issues de la récolte de l'année. En effet, les graines issues de la campagne 2017 qui sont utilisées directement ont donné les meilleurs taux avec 89%.

L'étude de la contrainte hydrique au stade germinatif a montré que le polyéthylène glycol 6000 inhibe la germination des graines de pistachier en donne un taux de germination de faible à très faible de 13 à 1% selon les concentrations.

L'arrosage des graines de pistachier avec des solutions salines montre aussi une inhibition de la germination surtout pour les concentrations en NaCl élevés de 200, 250 et 300 dont la germination est inhibé jusqu'à 100%.

Ce travail a confirmé l'effet de la salinité et la sécheresse chez les plantules du *Pistacia atlantica Desf.* et sa tolérance face à ces contraintes qui se traduit par des modifications physiologiques et biochimiques.

Les plantules du pistachier de l'Atlas au cours de leur défense contre le stress salin accumulent des teneurs élevées en proline et sucres solubles totaux.

Concernant les teneurs en pigments chlorophylliens chez les plantules stressées en NaCl, nous avons enregistré une diminution pour la chlorophylle (a), (b) et caroténoïdes.

Cette constatation est également observer pour les plantules stressées par un arrêt d'arrosage (stress hydrique) où les résultats biochimiques avec des teneurs importantes en proline et en sucres solubles, alors que les résultats physiologiques subissent une réduction de la teneur relative en eau et les teneurs des pigments chlorophylliens.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure, qu'elle que soit le stress abiotique (hydrique ou salin) la réponse à ces contraintes chez le pistachier de l'Atlas dépend l'intensité du stress appliqué.

❖ PERSPECTIVES

Il est important de préserver le pistachier de l'Atlas, de le sauvegarder et de le valoriser. Sa réhabilitation et sa conservation sont nécessaires pour contribuer au développement durable des zones arides. Pour cela, il est important de mieux comprendre les mécanismes qui lui permettent de s'adapter à son environnement abiotique.

Nous proposons dans nos recherches futures :

- ✓ L'étude de l'effet des stress abiotiques sur les graines du pistachier d'Atlas avec d'autres paramètres que ceux testés dans notre expérimentation.
- ✓ Etudier d'autres aspects de la tolérance face au stress salin et hydrique tels que la pression osmotique foliaire, les protéines solubles et le contenu en éléments minéraux.
- ✓ Identification des mécanismes de résistance comme les systèmes antioxydants.
- ✓ Utiliser des techniques basées sur la description du comportement, l'analyse génétique des caractères et la recherche des marqueurs moléculaires pour une amélioration de la tolérance au stress abiotiques.

AIT RADI A., 1979-Multiplication par voie végétative et par semis de *Pistacia atlantica* et d'*Ailanthus altissima* .Mémoire d'ingénieur. I.N.A, Alger, 40p.

AL-SAGHIR M. G., 2006 - Phylogenetic Analysis of the Genus *Pistacia* (Anacardiaceae) ,Thèse, doc. Univ. Virginia **AL-SAGHIR M. G., 2010** - Phylogenetic Analysis of the Genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae) Based on Morphological Data. Asian Journal of Plant Sciences, N° 9(1), pp27-35.

ABDELLY C., 2006 : Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopoledeBorj-Cedria, Tunisie, pp. 28- 31.

ADEL J et BADER J., 2002: Studies of some traits related to salinity tolerance in bread wheat(*Triticumaestivum*L.). Proceeding of the International Symposium on optimum resourcesutilization in salt-affected Ecosystems in arid and semi-arid regions, Cairo, Egypt, p.102

ALEM C et al., 2002 : Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. C. R. Biologies, Vol. 325:pp1097-1109.

ALLEN R.D., 1995: Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiol. pp 1049-1054.

ANTIPOLIS S., 2003 :Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol.2 :44-49.

ASHRAF M etHARRIS., 2004: Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants.Plant Sci., 166: 3-6.

ABDEL HALEEM.M.A.MOHAMED., 2007-Physiological aspects of *Mung bean* plant in response of salt stress and gibberellic acid treatment. Research Journal Of Agriculture And Biological Science.3 (4):200-213.

ALCARAZ C., 1970 – Etude géobotanique du pin d'Alep dans le Tell oranais. Thèse de spécialité. Faculté des sciences, Université de Montpellier, 183p.

ALYAFI D., 1979 – Approche systématiques et écologiques du genre *Pistacia* de la région méditerranéenne. *Thèse de Doctorat 3ème cycle*. Faculté de Saint Jérôme, Marseille, 130p.

ALETA N., NINOT A., ROUSKAS D. et al 1997- La multiplication du pistachier. Options méditerranéennes. Amélioration d'espèces à fruits à coque: noyer, amandier, pistachier, n°14-16. Ed. CIHEAM. Pp.93-133.

BALO B., VARGAS I., VARADI G. AND MISIK S., 1995- Drought damage in vineyards INRA, Inter drought, VIII-27.

BELHADJ S., 1999 - Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation. Revue du CIHEAM, Saragosse, Espagne N°8 p30.

BENHASSAINI H., 1998 – Importance agro- écologique et composition biochimique de quelques espèces de *Pistacia*. Thèse de Magister, université Djilali Liabès, Sidi Bel-Abbès. Algérie, 89 p.

BENHASSAINI H., 2004 - Contribution à l'étude de l'auto- écologie de *Pistacia atlantica* Desf sp. Et valorisation. Thèse Doctorat d'Etat.77, 82, p.

BENHASSAINI H. & al, 2007 - Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. atlantica dans le Nord-ouest algérien. Sécheresse, N° 18 (3), pp 199-205

BENKHETOU A., 2003 – Contribution à l'étude de la mise en culture des zones steppiques dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole et son impact sur l'écosystème – cas de Rechaiga, Tiaret-. Thèse de Magister, Univ. de Tiaret, Algérie, p 25, 28.

Baba Aissa F., (2000). Encyclopédie des plantes utiles: Flore d'Algérie et du Maghreb. EDAS. Rouïba, 217 p.

BAYUELO J et al ., 2002:Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. Crop Sci., pp2184-2192.

BOT A et al., 2000: Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Report N° 90. Rome: FAO of UN.

BASIA. V et ARIE.A., 2005-Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievement and limitations. Review Of Current Opinion In Biotechnology. V16, p 123-132.

BELTRAN J.M., 2002-Le sel et la terre : Un danger pour la production vivrière. Dossiers de font sur le sel et la salinisation. Sommet mondial de l'alimentation FAO.10-13 juin 2002.

BEZZALA A., 2005 – Essai d'introduction de l'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Thèse de Magister, Université de Batna, Algérie, p 68.

BOUDY P., 1955- Economie forestière Nord Africaine. Edition Larousse, Paris, 687p.

BOUDY P., 1952- Guide du forestier en Afrique du nord. Editions la maison rustique, Paris, 504p.

BOUAOUINA S., ZID E et HADJI M., 2000 – Tolérance à la salinité, transport ionique et fluorescences chlorophylliennes chez le blé dur (*Triticum durum* L.). Option Méditerranéennes N° 40, 239-243.

BRICHET M., 1931- Le pistachier fruitier. Informatore agricola n°53. Pp.1416-1420.

BELHADJ S., 2008 - Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de Pistacia atlantica en Algérie. Botany, N° 5, pp 520-532.

BELHADJ S., 1999 - Les *pistacheraies* algériennes : Etat actuel et dégradation. Revue du CIHEAM, Saragosse, Espagne N°8 p30.

BASIA. V et ARIE.A., 2005-Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievement and limitations. Review Of Current Opinion In Biotechnology. V16, p 123-132

CHATIBI A., KCHOUK M.L., MLIKI A et GHORBEL A., 1996 – Use of growth regulators for adventitious shoot regeneration and plant propagation from mature cotyledons of pistachio (*Pistacia vera* L.). soumis à Acta Horticulturae.

CHEBOUTI Y., BENMANSOUR A et HADDAD S., 2004 - La multiplication du Pistachier. La forêt Algérienne. Revue d'information et de vulgarisation. N° 6,p32.

CASALS M.L. 1996. Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de doctorat de l'INRA Paris Grignon, 93 p.

CHRAA O., 1988 – Etude des facteurs limitant la germination de *Simmondsia chinensis* Link, *Pistacia atlantica* Desf. et *Juniperus phoenicea* L : essai de production de plants en pépinières. Thèse. Ing. I.N A. Alger, 55p.

CASSE-DELBART F., 1995 - Les plantes face au stress salin. Synthèses- cahier agricultures. 4 : 263-273.

DAJOZ R., 1996 – Précis d'écologie. Edition Dunod, Paris, 551 p

DUCHAUFOR P.H., 1983 – Pédologie. Pédogenèse et classification T1.Ed Masson, p 467-483.

DUBOIS.M, GILLES.K.A, HAMILTON .J.K, RESERS and SMITH.F.,1956- Colorimetric method for determination of sugars and related substances .Analytical chemistry, volume 28 (3), p 350-356.

DEMARTEAU M., 2005- Réponse de *Cedrus atlantica* au changements climatiques passés et futurs. Diplôme de Licence en sciences géologiques, Université de Liège, France,2p.

DURAND J.H ., 1958 :Les sols irrigables. Etudepédologique -ED.Imbert ,Alger, 190p.

Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. and El Oualidi J., (2007). Flore pratique du Maroc. Manuel de détermination des plantes vasculaires. 2ème éd. *Institut Scientifique*. Rabat. 636 p.

GHALEM B. & BENHASSAINI H., 2007 - Etude des phytostérols et des acides gras de *Pistacia atlantica*. Afrique SCIENCE, N° 03(3), pp405- 412.

GRECO J., 1966 - Restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ministère de l'agriculture et de la reforme agraire – 393 p.

GREGORY B., 2005 - Ecophysologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse Doctorat d'Etat, Université Laval., Québec. p 81

GATE P., 1995 - Ecophysologie du blé ISBN2-7430-0046-5. Ed Tec et Doc, Lavoisier 429 p. □□**KAFKAI U., 1991**: Root growth under stress. Plant roots: the hidden half. New York, USA: Marcel Dekker, pp375-391.

□□**KARMOUS C., 2007** : Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.

LASSANA D., 1991 : Contribution à l'étude de la résistance de quelque espèces fourragères au phénomènes de salinisation .Thèse ing ,université de Bamako .63p.

□□**LAUCHLI et ESPTEIN; 1990**: Saline culture of crops: a genetic approach, Science (2310) 399-404.

□□**LE GOUPIL J.C., 1974** : Agronomie Tropicale. Série 3 : Séminaire "développement rural

LEVIGNERON A, LOPEZ F., VANSYT G., BERTHOMIEV P., FOURCROY P et CASSE-DELBART F., 1995 - Les plantes face au stress salin. Synthèses- cahier agricultures. 4 : 263-273.

Maamri S., (2008). Etude de *Pistacia atlantica* de deux régions de sud algérien : dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens. Mémoire de magistère. Université de Boumerdes, Algérie, 109 p.

Monjauze A., (1980). Connaissance du bétoum *Pistacia atlantica Desf.* Biologie et forêt. Revue Forestière Française, 4 : 357-363.

MONJAUZE, A., 1968 - Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* DESF. en Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du N. N° 56, pp 1–127.

MONJAUZE, A., 1980 - Connaissance du « betoum » *Pistacia atlantica* Desf. Biologie et forêt. Rev. For. Fran. N° 4, pp 357–363.

MONJAUZE, A. 1982 - Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara Algérien. Rev. For. Fran. N° 4 , pp277–291.

□ □ **MAAS E. V et POSS J.A., 1989:** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. Irrig. Sci. pp29-40.

□ **MUNNS R et al ., 1983** : Halotolerante ukaryotes. In Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment. Encycl. Plant Physiol., pp. 59-135 New Series, Vol. 12C. Springer, Berlin.

□ **MUNNS R et RAWSON H.M., 1999:** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. pp459-464.

□ **MUNNS R., 2002:** Comparative physiology of salt and water stress; Plant, Cell and Environment pp239-250.

MEKHALDI A., 2007- Action de la salinité sur le comportement physiologique et biochimique du Mung bean (*Vigna radiata* L.) thèse de Doctorat d'Etat. Univ.

sénia, Oran, Algérie, 100p.

MONJAUZE A., 1965 - Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. ;

Bul. Sociol. Histoire naturelle de l'Afrique du nord. T 56 : 128p.

MONNEVEUX P., 1989 - Quelles stratégies pour l'amélioration génétique des céréales

d'hiver ? Dans : Jour. Scie. De l'AUPELEF. EVSA-INRA, Montpellier, 24 p.

MONNEVEUX P et THIS D., 1997 – La génétique face aux problème de la tolérance des

plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficulté. Cahier ``sécheresse``, Vol.8,

N°1, p.29 – 37.

MAY L.H. & MILTHROPE F.L.1962.Drought resistance of crops plants.*Field Crop*

Abstracts, 15, 171-179.

MONNEVEUX P, NEMMAR N. 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum*L.) et le blé dur (*T. durum*Desf) : étude de

L'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agro.* p583-590.

MAZLIAK. P., 2000-Physiologie végétale.TomeI.Edition Heremann. ISBN :2705659439 .p 521

MELONI. D. A., GULUTA .M. R., MARTINEZ.C.A. , OLIVA. M.A., 2004-The effects of salt stress on growth nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Brazilian Journal Of Plant Physiology* .16(1):39- 46.

NDOUR P et DANTHU P., 2000 : Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination dequelques acacias africain. Projet National de Semences Forestières du Sénégal. 11 p.

HALITIM A., 1985 – Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. p 1-41

HAMDY.A., 1999-Saline irrigation assessment for a sustainable use saline irrigation .Halophyte production and utilization , project n° IC 18CT 96-0055, p 152-26.

HASEGAWA.PAUL.M., BRESSAN.RAY.A., ZHU.JIAN-KANG., BOHNERT.HANS.J., 2000-Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu.Rev.Plant.Physiol.Plant Mol.Biol.*51:463-499.

HOPKINS.W.G., 2003-Physiologie végétale. Traduction de la 2e édition américaine. Édition DE **BOECK** université. P 451-473.

HAMDY A., 1999- Saline irrigation assessment and management for a sustainable use. Saline irrigation halophyte production and utilization. Project N°1C 18Ct 96-0055, p. 152 – 226

HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., 1998 - Physiologie végétale. Tome I : Nutrition. 6ème Edition, DUNOD, Paris, 47p

HENIA L., 1993 - Climat et bilans de l'eau en Tunisie, essai de régionalisations climatiques par les bilans hydriques- Tunis : Publication de la faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 391 p.

HOPKINS W.G., 1999 – Introduction to plant physiology. Second edition. The University of Western Ontario. Edit. John Wilay and Sons., Inc, 512p.

PARENT C et al ., 2008 : Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies* pp 255-261. polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

PRICE A.H. et HENDRY G.A.F., 1991: Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.*14:477-484.

PELLETIER X., BELBRAOUE S., MIRABEL D., MORCHET F., PERRIN J.L.,

PAGES X et DEBRY G., 1995 – A diet moderately enriched in phytosterols lowers plasma cholestrol concentration in normocholesterolemie humans *Ann. Nutr. Metab*, 39 : 291-295.

PESSON P et LOUVEAUX J., 1984 – Pollinisation et production végétale. INRA. Paris. 179p.

QUEZEL P. et SANTA S., 1963 – Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Centre nati. rech. sci. (C.N.R.S.), Paris, T. II, pp : 571 – 1170.

QUEZEL P., 2000 – Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis press. 117 p.

RICHTER G, 1993- Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. Pressepolytechniques et universitaires romandes. 5ème éditions, 526p.

ROGNON P., 1996- sécheresse aridité, leur impact sur la désertification au Maghreb. Rev. Sécheresse. p. 287-297.

RAHNAMA H et EBRAHIMZADEH H., 2005:The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. Biol Plant.pp93-97.

REDDYAR et al., 2004: Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J Plant Physiol p161-1189-1202.

SCIPPA,G., DI MICHELE, M., ONELLI, N. E., PATRIGNANI, G., CHIATANTE,

D., BRAY, E., 2004. "The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit". *J. Exp. Bot.* 55, 109.

SONG J et al., 2005: Strategies for Adaptation of Suaeda physophora, Haloxylon ammodendron and Haloxylon persicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. Annals of Botany.pp399-405.

TARDIEU F., 2000 – La modélisation de la tolérance à la sécheresse. Biofutur N°205, Edition Elsevier, p44-47.

TRETIACH M., 1993 - Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. Acta oecologica .Vol. 14.N°3, p. 314-360

TURNER N.C, 1990 – The benefits of water deficit. In: proceedings of the international congress of plant physiology, New Delhi, India, Vol.2, Sol. Physiol. Biochem., New Delhi.

THEBAULT.L.,2001-La nutrition végétale : La plante et l'eau, la photosynthèse, Interactions de la plante avec son milieu : les adaptations. Du BigBang à l'Homme. Think Different : Site créé sur Apple Macintosh

VIGNOEAU JP., 1996 - l'eau atmosphérique et continentale, Paris:SEDES, 192 p.

YAAQOBI A., EL HAFID L., HALOUI B., 2009 - Etude biologique de pistacia atlantica Desf. De la région orientale du Maroc, Biomatec Echo, Volume 3, N° 6, pp 39 – 49.

YEO.A.R., 1998- Molecular biology of salt tolerance in the context of whole. Plant Physiology.J.Exp.Bot.49:915-929.

ZID E., 1982- relation hydriques dans les feuilles de *Citrus aurantium*: Effets de l'age et de la salinité. Rev. FAC. SC. Tunis, 2, p 195-205.

ZID E., GRIGNON C., 1991 - Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress : cas des stress salin et hydrique. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey, Eurotext. Paris, pp.91-108.

CHAPITRE II : Caractérisation de l'espèce

1. Classification et Nomenclature

Le pistachier de l'Atlas présente la taxonomie suivante:

Règne :	Plantae
Embranchement :	Tracheobionta
Super-division :	Spermatophyta
Classe :	Magnoliophyta
Sous-classe :	Magnoliopsida
Ordre :	Rosidae
Famille :	Sapindales
Sous-famille :	Anacardiaceae
Genre :	<i>Pistacia</i> .
Espèce :	<i>Pistacia atlantica</i> Desf.
Subsp :	Atlantica.

Le pistachier de l'Atlas connu sous le nom vernaculaire de « Bétoum », « Botma » ou « Betm » au singulier, « Tismelal » ou Iggh « Igeghéne » en langue berbère, et nommé « Tedjog » dans les touaregs (LAROUCI, 1987 ; MANJAUZE, 1968 ; MONJAUZE, 1980 ; BELHADJ, 1999 ; FENNANE et al., 2007).

2. Caractéristique de l'espèce

Le pistachier de l'Atlas, est une espèce ligneuse (QUEZEL et SANTA, 1963), et un plant dioïque (MONJAUZE, 1980 ; BELHADJ et al., 2008). L'arbre peut atteindre 12-15m de hauteur (BROSSE, 2005), sa croissance est très lente avec une longévité de plus de 1000 ans (MONJAUZE, 1982 ; BELHADJ, 1999). Le pistachier possède un tronc ample et touffu, bien individualisé et hémisphérique, le port est arrondi et à ramifications étalées (MONJAUZE, 1980 ; BELHADJ et al., 2008) (figure 3).

L'écorce du pistachier de l'Atlas est lisse à l'âge jeune et squameux à un âge très avancé (BELKHODJA, 2014). Elle présente des fissures longitudinales (KHALDI et KHOUJA, 1995) et produit une résine-mastic qui exsude naturellement de façon abondante par temps chaud (BELHADJ, 1999).



Figure 3 : Vue générale d'un arbre du pistachier de l'atlas *Pistacia atlantica* Desf.
(ANNONYME, 2016).

2.1.Racine

Le système racinaire est pivotant et plus vigoureux que celui de pistachier vrai, aussi, il présente une bonne reprise à la plantation (AIT RADI, 1979). Selon AIT RADI (1979 in KAOURAD, 1987), les racines du pistachier peuvent atteindre jusqu'à 5 à 6 m de profondeur, l'espèce arrive à végéter sous une tranche pluviométrique très faible, sa résistance aux conditions climatiques très difficiles peut être attribuée à la vigueur de son système racinaire.

Si le sol est sableux, potentiellement moins humide et moins compact, quelques racines s'enfoncent vers des profondeurs plus humides et d'autres se ramifient en surface pour exploiter les opportunités hydrominérales. Un sol limoneux, donc potentiellement plus humide et plus compact, les racines tendent à développer un réseau horizontal peu profond. Avec l'âge, même en sol limoneux les racines puissantes s'enfoncent vers les profondeurs à la recherche d'humidité et d'ancrage.

2.2.Feuille

Les feuilles du pistachier de l'atlas sont composées, stipulées, à rachis finement ailé et à folioles lancéolées obtuses au sommet (FENNANE et *al.*, 2007). Elles sont caduques et chutent en automne, de couleur vert pâle, les feuilles sont imparipennées, glabres et sessiles (YAAQOBI et *al.*, 2009). Les folioles impaires sont au nombre de 7 à 9, de 2 à 5 cm de longueur sur 1 cm de largeur (BENHASSAINI, 2004) (Figure 4).

Un bon caractère distinctif du Bétoum peut être la présence d'une ligne de poils presque microscopique sur la marge de chaque foliole, celle-ci étant courbée vers l'apex, et parallèles entre eux. Cependant, il existe en Algérie du Bétoum dépourvus de cette pubescence, notamment l'exemplaire de DESFONTAINES (MONJAUZE, 1980).



Figure 4 : Feuilles composées de pistachier de l'Atlas (ANNONYME, 2017).

2.3. Inflorescence

Le pistachier de l'Atlas a une inflorescence en grappe rameuse. La floraison apparaît juste avant la feuillaison et débute à la mi-mars (YAAQOBI *et al.*, 2009) (figure 5 et 6).



Figure 5 : Inflorescence mâle de pistachier de l'atlas (YAAQOBI *et al.*, 2009).



Figure 6: Inflorescence femelle de pistachier de l'atlas (YAAQOBI *et al.*, 2009).

2.4. Fleurs

L'espèce Bétoum est dioïque (MANJAUZE.1980). Les fleurs mâles et femelles sont portées par des pieds différents, et dans certains cas, ils sont sur le même pied mais portées par des rameaux différents. Les fleurs sont petites en panicules axillaires et sont apétales. Ce sont des fleurs régulières avec une tendance à la zygomorphie (YAAQOBI *et al.*, 2009).

Les fleurs mâles sont disposées en inflorescence terminales (panicule composée de 450 à 500 fleurs apétales. Chaque fleur est constituée d'un calice de 3 à 5 sépales pubescents et d'un androcée composé de 5 à 8 étamines opposés à filaments très courts (**PESSONT et LOVEAUX, 1984 in BENHASSAINI, 1998**) (**figure 7**).

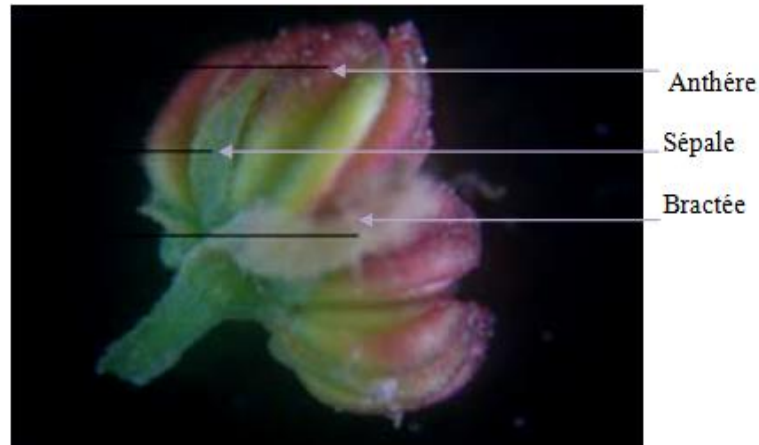


Figure 7 : Fleur mâle isolée (x40) (**YAAQOBI et al., 2009**).

Les fleurs femelles sont réunies en grappes paniculées composées de 190 à 260 fleurs. Chaque fleur a un très petit calice composé de 3 à 5 sépales. le centre de la fleur est occupé par un gynécée formé de carpelles soudés (**figure 8**). Les périodes de reproduction entre mâle et femelle sont ainsi en décalage phénologique donc asynchrones, limitant les chances de régénération avec un taux de parthénocarpie important (**PESSONT et LOVEAUX, 1984 in : BENHASSAINI, 1998**).

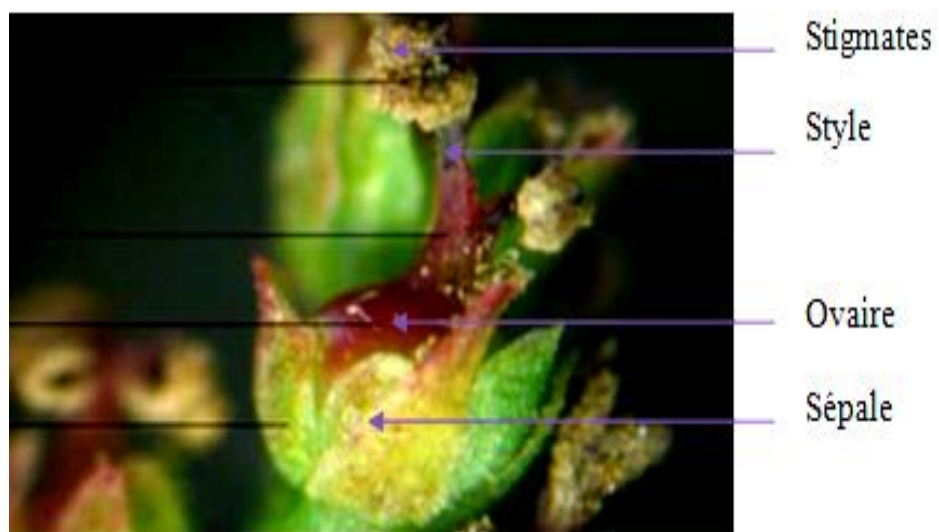


Figure 8: Fleur femelle isolée (x50) (**YAAQOBI et al., 2009**).

2.5.Fruit

Le fruit de *Pistacia atlantica* est une drupe ovoïde de 6 à 8 mm de long, d'abord jaune puis bleu foncé à maturité, à un seul noyau osseux ne contenant qu'une graine (SOMON, 1987). Il est appelé ElKhodiri par les populations locales, appellation dû à la prédominance de la couleur verte foncée à maturité. Ils sont comestibles et ont la grosseur d'un pois, légèrement ovale et aplatie, riche en huile dense très énergétique (BELHADJ, 1999), appelée aussi EL Goddim.

La fructification débute vers la fin du mois de mars à avril et les fruits atteignent leur maturité au mois de septembre (YAAQOBI et al., 2009) (figure 9 et 10).



Figure 9: Fruits du pistachier de l'atlas.

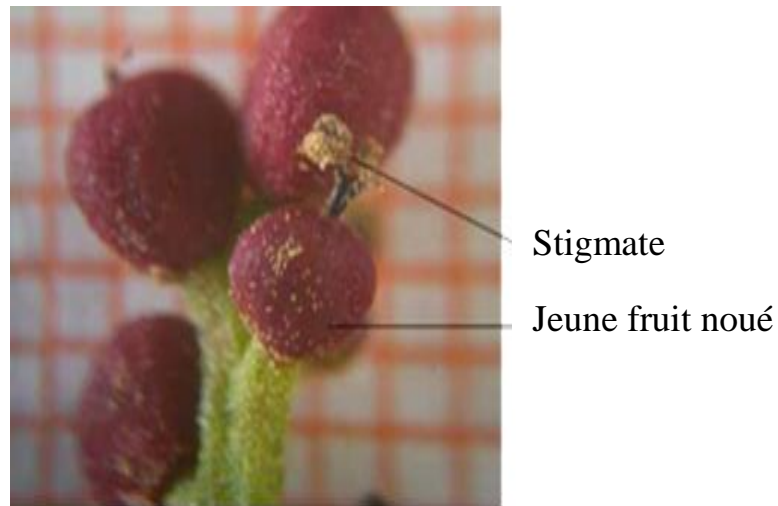


Figure 10: Fruits du pistachier de l'Atlas à la nouaison (x20) (YAAQOBI *et al.*, 2009).

2.6.Graine

La graine est plus ou moins verte et contient 50% d'huile. Les semences du Bétoum ont une germination très difficile, elles sont trop huileuses pour être conservées. Dans une chambre froide, la conservation est plus longue pouvant aller jusqu'à 4 à 6 années (MANJAUZE, 1980). DAHMANI (2011) (GHALEM et BENHASSAINI, 2007). Signale que les composés organiques des graines à maturité (de couleur noire) est estimée à 183 μ g/g de lipide 178 μ g/g de protéines et 183 μ g/g de sucres. (Figure 10).



Figure 11: Graines de *Pistacia atlantica* de la région DJELFA (2016) (ORIGINAL 2018).

CHAPITRE I : Présentation du pistachier de l'Atlas

1. Description de l'espèce

Le pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* Desf. est une espèce rustique, à croissance rapide pouvant atteindre 20 mètres de hauteur dans les conditions favorables (LAROUCI, 1987). D'après BABA AISSA (2000) et BELHADJ (2003) le pistachier de l'Atlas est connue comme étant un pistachier spontanée ou faux pistachier.

Le pistachier de l'Atlas a été distingué et décrit par DESFONTAINES en (1799) MONJAUZE, (1980). L'arbre est vigoureux possédant un tronc individualisé à frondaison hémisphérique (QUEZEL et SANTA, 1963).

2. Historique et origine

2.1. Historique

Le mot pistache est apparu dans la langue française au XIII siècle et vient de l'Italien pistachio. Le *Pistacia* est né dans l'Asie Centrale il y'a 80 millions d'années. (AL-SAGHIR, 2010).

C'est vraisemblablement à partir des arbres importés d'Italie que les plantations se créent dans l'empire romain et se propage en France, Grèce et Afrique du Nord. Aux Etats-Unis, l'importation du pistachier a été faite en 1853 et une seconde introduction en provenance de France, en 1876, où les cultures s'est développée en Californie, en Arizona et au Texas (LEMAISTRE, 2000).

2.2. Origine

Le genre *Pistacia* a une origine très ancienne et comptait avant l'ère tertiaire de nombreux représentants. Ceci explique le fractionnement actuel des aires des différentes espèces. La présence de restes fossiles du genre dans les îles de l'océan Atlantique apporte une preuve à cette opinion. Les pistachiers sont originaires d'Asie Centrale, des régions forestières subtropicales et l'ancienne zone méditerranéenne (MOGHTADER, 2010).

Selon BELHADJ (1999) et GHALEM et BENHASSAINI (2007) en Algérie le genre *Pistacia* est représenté par quatre espèces :

- *Pistacia atlantica*
- *Pistacia lentiscus*
- *Pistacia terebinthus*
- *Pistacia vera*

3. Régénération

La régénération du pistachier de l'Atlas est difficile et s'opère dans des conditions encore mal connues **BOUDY, (1952)**. Les rares cas de régénération naturelle de cette espèce ont lieu sous les touffes de jujubier qui assurent à la plantule une protection contre le pâturage et les gelées **BOUDY, (1955)**. La régénération par semence se trouve très réduite du fait que l'amande trop huileuse, rancit rapidement et ne peut être ainsi conservée assez longtemps dans la nature (pas plus d'un printemps) **MONJAUZE, (1968)**; **AIT-RADI, (1979)**.

Multiplier le pistachier consiste à le propager, à partir de la souche mère **DABBECHÉ, (1988)**. Selon **GRECO (1966)**, le but est également d'obtenir des plantules d'espèces et de variétés bien déterminées et connues :

- Des plantules à racine bien formées, bien développées, pouvant résister aux transports, et à la transplantation.
- Des plantules bien aoûtées, lignifiées, capable de résister aux intempéries dès la plantation, mais aussi jeunes que possible pour que la reprise soit assurée (**CHEBOUTI et al., 2004**).

L'extension de la culture du pistachier et son amélioration sont tributaires de la mise au point de techniques de multiplication fiables **CHATIBI et al., (1996)**. La technique de la culture in vitro a toujours été un outil de prédilection pour la production en masse de plusieurs espèces fruitières et ligneuses **DEBERGH et ZIMMERMAN, (1991)**, les milieux de multiplication in vitro ayant un effet à distance sur la vigueur et la rhizogenèse de la plante.

4. Répartition

YAAQOBI *et al.*, (2009) et RHARRABTI (2015) soulignent que le pistachier de l'Atlas est un arbre précieux pour les zones méditerranéennes pré-désertiques. Il a une écologie difficile à cerner et possède une grande plasticité lui permettant d'exister depuis les marges du Sahara jusqu'aux moyennes montagnes sub-humides. Le Bétoum se rencontre dans la plupart des zones semi-arides ou steppiques, solitaire ou en association avec *Ziziphus lotus* ou *Pinus halpensis* BEN ABDERRAHMENE *et al.*, (2009).

4.1. Dans le monde

Pistacia atlantica est largement distribué au sud de la méditerranée et dans Moyen-Orient, elle est répandu depuis les Canaries jusqu'au Pamir en passant par :

- L'Afrique du nord, le Sahara septentrional et Tripolitaine, avec relique au Hoggar.
- La Grèce, la Turquie, la Bulgarie, la Crimée, le Caucase, la Transcaucasie et l'Arménie.
- La Palestine, la Syrie, la Transjordanie, l'Iraq et l'Iran et l'Arabie Saoudi, le Baloutchistan et l'Afghanistan MONJAUZE, (1968) (figure 1).

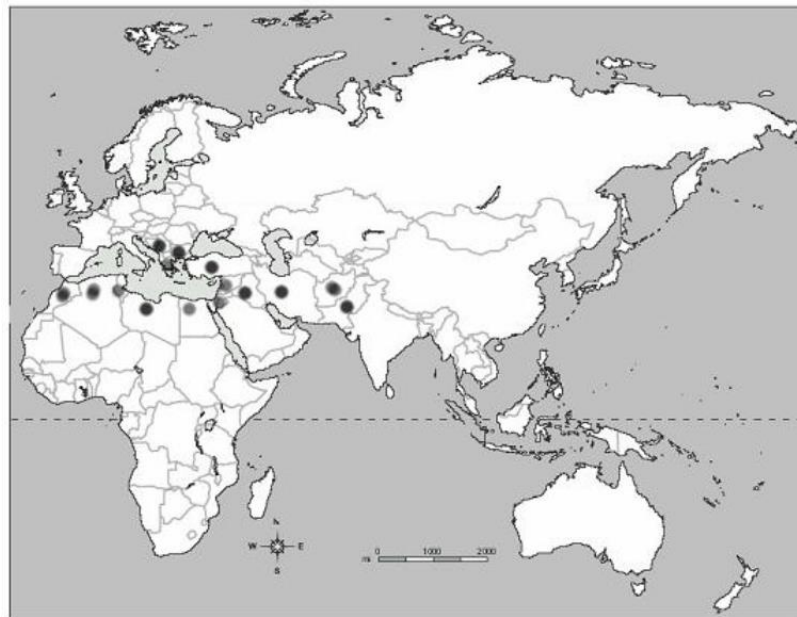


Figure 1: Aire naturelle de *Pistacia atlantica* dans le monde (AL-SAGHIR, 2006).

4.2. En Algérie

Le pistachier de l'Atlas est une espèce endémique qui figure parmi les plantes spontanées et protégées en Algérie (KAABECHE et al., 2005). D'après BOUDY (1952). Il est disséminé dans les forêts chaudes du Tell méridional mais surtout dans la région steppo-désertique des hauts plateaux et du Sahara septentrional où il ne subsiste que dans les Dayas. On le rencontre parfois en montagne dans l'Atlas saharien (région Ain Sefra) et sur les hauts plateaux oranais (figure 2).

Le Bétoum est un arbre par excellence du dayas du piedmont méridional de l'Atlas saharien, sa limite extrême se trouve en pleine cœur du Hoggar où il existe à l'état de relique MANJAUZE, (1980). Il se trouve principalement dans la zone de transition entre la steppe et le Tell.

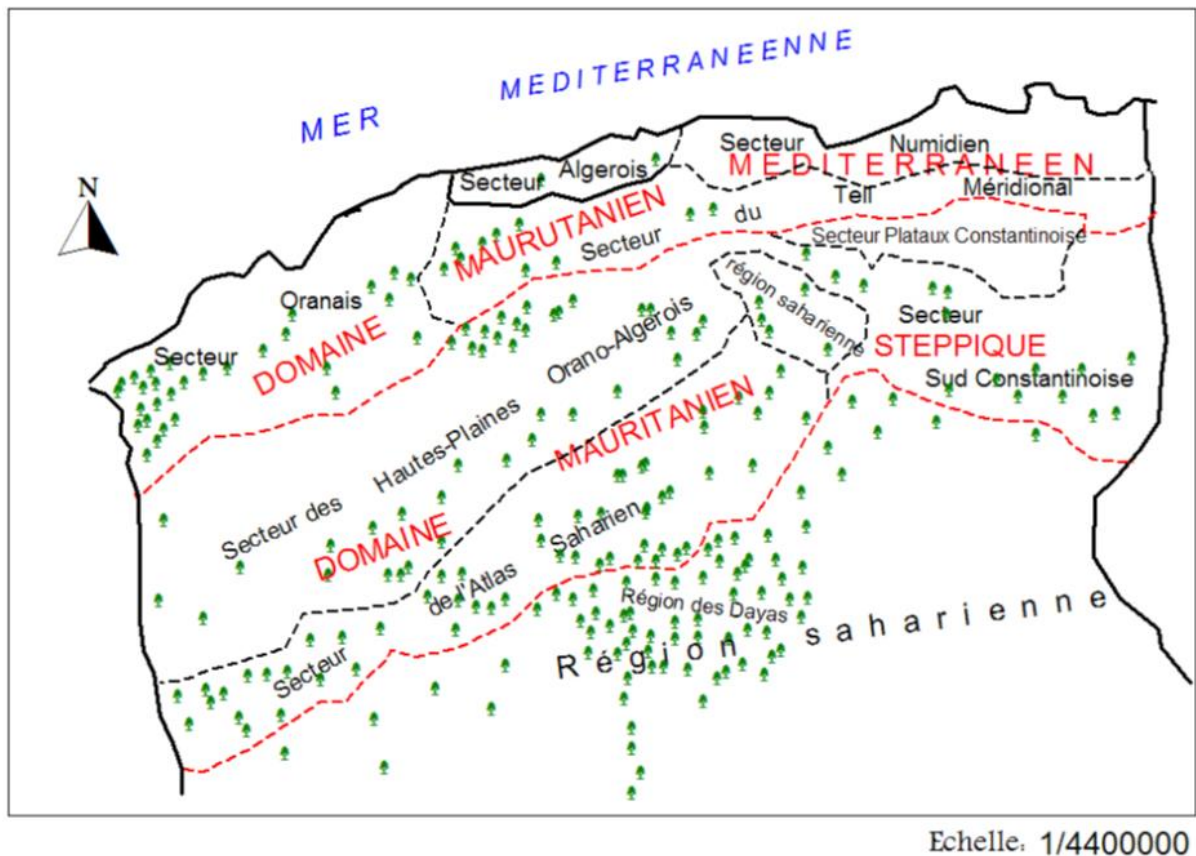


Figure 2 : Distribution de *Pistacia atlantica* en Algérie (MONJAUZE, 1968).

5. Exigences écologiques

Pistacia atlantica est l'une des rares espèces arborescentes encore présente dans les régions semi-arides et arides, voire même sahariennes.

Cette plasticité exceptionnelle vis-à-vis de la sécheresse atmosphérique pourrait être son caractère principal, mais il n'est pas moins indifférent à la nature du sol et il peut occuper dans son aire botanique les situations les plus extrêmes **MANJAUZE, (1980)**. C'est une essence principale, actuellement qui s'accommode de l'étage climatique aride et peut vivre dans les conditions écologiques les plus sévères **BOUDY, (1952)**.

5.1. Pluviométrie

Le pistachier de l'Atlas se caractérise par une grande plasticité vis-à-vis de la sécheresse. Son adaptation reste exceptionnelle pour de grandes variations climatiques, hiver froid, été sec et chaud. Pour une bonne fructification de cette essence, la tranche pluviométrique doit être entre 200 et 500 mm/an. **MONJAUZE (1965) et ALYAFI (1979)** notent que l'espèce se développe dans une tranche pluviométrique allant de 250 à 600 mm. Il bénéficie de 1300 mm/an au niveau de sa limite septentrionale à l'ouest d'Alger (Blida) et reçoit 600 mm/an sur le bord méridional de l'Atlas tellien Benchicao et Berrouagia, enfin jusqu'à 250 mm/an dans la plaine de Boughar -Boughezoul. Au sud du pays, le bétoum reçoit seulement 70 mm/an dans la région de Ghardaïa, au pied de l'Atlas saharien **CHRAA, (1988)**.

Dans la région occidentale de l'Algérie, le pistachier de l'Atlas se rencontre entre l'isohyète 511 mm/an à Mascara et 325 mm à Relizane **ALCARAZ, (1970)**. Il craint l'humidité atmosphérique, l'air salin et les irrigations abondantes **BRICHET, (1931)**.

5.2. Températures

Le pistachier de l'Atlas a une grande amplitude thermique allant d'une température très basse de l'ordre 5°C parfois même à 12°C (Djelfa) jusqu'à une température très élevée de +49°C avec un maximum de 52°C. Cependant les jeunes plantules craignent les gelées fréquentes **PESSON ET LOUVEAUX, (1984)**.

5.3. Lumière

Le pistachier de l'Atlas est une essence héliophile se trouvant généralement dans les dayas, les pieds sont assez distants les uns aux autres. Les semis se trouvent dans les touffes de *Zizyphus lotus Desf.* Ils bénéficient eux-mêmes de la lumière nécessaire sans difficulté. Il est à noter qu'un ombrage important nuira à la fructification (**AIT RADI, 1979**).

5.4. Sol

Les sols en régions arides posent d'une manière générale d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont pour la plupart du temps salés, très vulnérable à l'érosion et sujets à une salinisation secondaire (**AUBERT, 1980 in KHALIL 1995**).

Le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et long terme (**HALITIM, 1985**). Selon **LE HOUEROU (1995)**, les sols steppiques présentent généralement deux caractéristiques des sols squelettiques prédominants, de couleur grise à cause de la rareté de l'humus et qui s'ont plus exposés à la dégradation d'une part et d'autre part, des sols fertiles dont leur superficie reste limitée, localisée au niveau des lits d'oueds, dépressions et les piedmonts.

5.5. Altitude

Le pistachier de l'Atlas peut se développer jusqu'à 2000 m d'altitude dans les montagnes sèches (Atlas saharien) (**BELHADJ, 1999**), par ailleurs, **ALCARAZ (1970)**, note que le pistachier de l'Atlas se rencontre à une attitude de 45 m dans la région de Mohammedia (**ouest Algérien**) et jusqu'à une altitude de 590 m à Mascara.

5.6. Vent

La pollinisation chez le pistachier de l'Atlas est très souvent anémophile rarement entomophile. Il est à noter que cette espèce ne craint pas les vents violents, son système racinaire puissant et profond le maintient énergiquement au sol.

6. Intérêt

D'après plusieurs auteurs, le rôle du pistachier est multiple : (**MONJAUZE, 1968** ; **KHALDI et KHOUJA, 1995** ; **HCDS, 1996** ; **BELHAD, 1999**; **AL OUALIDI et al., 2004** ; **BENHASSAINI, 2007** ; **MAAMRI, 2008** ; **GHALEM et MOHAMED, 2009**, et de **LAHSISSENE et al., 2009**).

6.1. Agro économique

- ✓ Le pistachier constitue une essence de reboisement dans les stations les plus sévères pour la lutte contre la désertification. Aussi, il joue un rôle dans la conservation des sols et utilisé également pour la fixation des dunes comme brise-vents.
- ✓ Il constitue un porte-greffe par excellence du pistachier vrai, plus résistant à l'asphyxie radicaire que les autres espèces du genre *Pistacia*.
- ✓ C'est une source d'énergie par utilisation de son bois pour la cuisine et le chauffage dans les régions où les conditions de vie sont particulièrement pauvres.
- ✓ Il est aussi une source d'ombre pour les animaux qui trouvent dans *P. atlantica* un refuge contre la chaleur et l'irradiation solaire. Il est souvent le seul arbre dans la région.

6.2. Alimentation

Les drupes comestibles sont très énergétiques. Ses graines présentent un taux considérable de protéines et de glucides, de plus, elles fournissent une excellente huile alimentaire de l'ordre de 40 % (**BENHASSAINI, 1998**). Ceci est particulièrement intéressant pour la valorisation de cette espèce dans la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique et les carences nutritionnelles en général (**BENHASSAINI, 2004**). La fraction d'acide gras insaturé est elle aussi majoritaire et confère à l'huile de Bétoum une haute valeur nutritionnelle. En effet, plus une huile est riche en acides gras insaturés (polyinsaturés), moins elle est stable du point de vue oxydatif, mais bien meilleur sur le plan nutritionnel (**PELLETIER et al., 1995**).

6.3. Médicinal

. Les drupes du pistachier de l'Atlas présentent un rendement très appréciable en huile de l'ordre de 40%, comparativement à ceux d'autres espèces telles que le Soja (20 à 22%) ou l'olive (20 à 25%). L'analyse de cette huile a permis de mettre en évidence sa composition en différents constituants biochimiques tels que: les structures glycéridiques (acides gras saturés et acides gras insaturés), les stérols et différentes vitamines (A et E). L'écorce produit une résine-mastic. Les populations locales s'en servent pour usage médical.

6.4. Fourrage

Par ses feuilles, l'arbre fournit un élément apprécié par le bétail en période de disette, il procure jusqu'à 0,35 unité fourragère (les données de 1996 du haut-commissariat au développement de la steppe (Djelfa, Algérie)). Une étude récente montre que les semences broyées de *Pistacia atlantica* utilisées comme aliment de volailles a donné des résultats intéressants sur leur croissance, car ce composé est très pauvre en élément antinutritionnel tel que les tanins qui sont de l'ordre de 1,43% comparés à ce des glands de chêne (5%) (SAFFARZADAH *et al.*, 2000).

7. Facteurs ayant contribué à la dégradation du pistachier de l'Atlas

En Algérie, si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle serait traduite par la constitution de population plus homogène, plus nombreuse et plus productive (MONJAUZE, 1980). Le déclin du pistachier est dû tout d'abord à des raisons économiques, des budgets investis très limités dans la production, la régénération et l'entretien des pistacheraies naturelles des dayas. Parmi les facteurs ayant contribué à la dégradation des pistacheraie on peut citer :

- L'exploitation anarchique des pistachiers comme fourrage et bois de chauffage par les bergers et la population locale.
- Le pâturage empêchant la régénération naturelle et le développement des jeunes pousses.
- Le réseau routier qui traverse la plaine d'Oussera (destruction de certains pieds de pistachiers).
- Mauvais état sanitaire des arbres attaqués par les pucerons dorés provoquant des cloques ou des galles au niveau des feuilles (BELHADJ, 1999).

CHAPITRE III : Stress abiotiques

Le stress abiotique est une contrainte environnementale qui provoque une tension interne dans l'organisme végétal exposé, les facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de développement et peuvent même provoquer la mort du végétal (**Figure 12**).

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

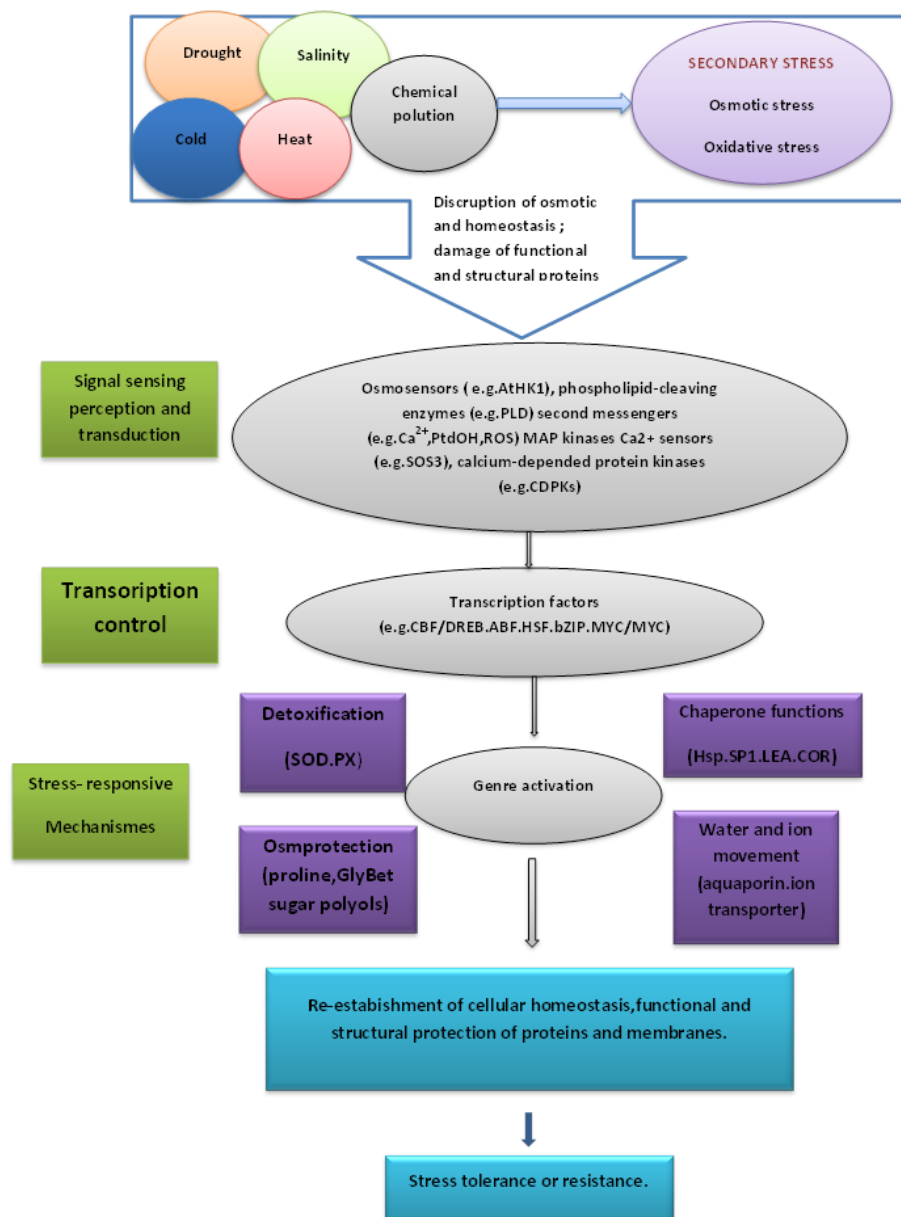


Figure 12 : Complexité des plantes à la réponse aux différents stress abiotiques (**BASIA et ARIE., 2005**).

1. STRESS HYDRIQUE

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

1.1.Sécheresse

La sécheresse est une notion relative, car non seulement ses manifestations sont diverses mais sa définition même varie en fonction de son impact et selon l'approche scientifique (**REYES-GOMEZ et al., 2006**).

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

Il existe différents types de sécheresses:

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

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

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

Sous le climat méditerranéen, la sécheresse est récurrente et peut être mensuelle, saisonnière ou annuelle, omni présente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie faible et fluctuante (**HENIA, 1993**).

Elle est caractérisée par une hausse des températures, cette sécheresse est dite saisonnière ou structurelle.

De brefs déficits de pluies peuvent frapper également les mois de la saison froide, il s'agit de sécheresse accidentelle (**ROGNON, 1996 ; VIGNOEAU, 1996**).

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

1.2.Caractéristiques hydriques

L'eau joue un rôle important dans la physiologie de la plante, elle est une composante d'un système très dynamique. La plante qui a une activité synthétique élevée subit d'importantes pertes d'eau, surtout par sa surface foliaire. Par conséquent, des quantités équivalentes d'eau doivent être prélevées dans le sol et circulées dans la plante de façon à combler les déficits qui apparaissent dans les feuilles (**WILLIAM., 2003**).

1.2.1. Rôle de l'eau dans la plante

A l'échelle cellulaire, l'eau participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme. Par la pression de turgescence qu'elle exerce sur les parois, elle contribue au maintien du port des végétaux, qui sans elle flétrit. Cette pression commande divers mouvements d'organes (feuilles et étamines) et de cellules (stomates), elle participe à l'allongement cellulaire au niveau de l'organisme et sert de véhicule aux substances nutritives, déchets et hormones (**HELLER et al., 1998**). Outre son rôle dans la photosynthèse, dans le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**SALMA et al., 2005 in SOUALMI, 2008**), elle est aussi indispensable au bon fonctionnement des protéines (**RICHTER, 1993**).

- **État de l'eau dans la plante**

Dans la plante, l'eau se trouve à l'état liée (immobilisée) dans la cellule, à l'opposé de l'eau libre (d'imbibition) facilement circulante, en plus de ces catégories, on retrouve de l'eau de constitution, stabilisant la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation (**MAZLIAK, 1981**).

- **Teneur en eau des végétaux**

La teneur en eau, dans les conditions données, dépend de l'organe et de l'espèce. Elle se détermine en comparant la masse de la matière fraîche à celle de la matière sèche obtenue par dessiccation. (HELLER, 1998).

1.2.2. Eau dans le sol

L'eau est liée aux constituants du sol par deux catégories de force : Les forces osmotiques qui sont dues aux attractions exercées sur l'eau par les ions de la solution du sol et les forces matricielles qui traduisent les liaisons entre l'eau et la structure figurée du sol (matrice). Comme les forces osmotiques, les forces capillaires (sauf dans le cas des sols desséchés ou salés), ne posent pas de problèmes à la plante et c'est la plus ou moins grande teneur des sols en colloïdes qui règlent, à humidité égale, la disponibilité de l'eau (HELLER, 1998). Selon les mêmes auteurs, dans certains sels ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, silicate d'aluminium hydraté), il existe une eau dite de constitution, fixée par des forces d'hygroscopicité, très énergétique. Elle est inaccessible aux plantes et ne représente qu'une faible fraction de l'eau totale.

1.3. Contraintes hydriques

Chez les végétaux, résistance à la sécheresse et croissance ne sont pas toujours compatibles. La transpiration des plantes est essentielle au maintien de la température et à la circulation de la sève. Une plante peut perdre jusqu'à trois fois son poids en un jour d'été. Lorsqu'elle ne peut plus prélever cette eau dans le sol, elle doit ralentir sa transpiration en fermant ses stomates. Elle évite ainsi la déshydratation, mais réduit considérablement sa photosynthèse. En réalité, les racines synthétisent une hormone, l'acide abscissique ou (ABA), d'autant plus rapidement que le sol est sec. L'ABA circule dans la sève brute du xylème et entraîne selon sa concentration la fermeture partielle ou totale des stomates (TARDIEU, 2000).

Une diminution de la disponibilité en eau du sol et une remontée de sel, font que les stratégies de survie varient d'une espèce à l'autre. En effet, ce sont les limites de la tolérance des organismes aux stress écologiques qui détermine en fin de compte les endroits où ils peuvent vivre (DAJOZ, 1996).

Les végétaux ligneux sont des êtres fixés, réalisant l'interface entre les milieux édaphiques et aériens. Des échanges d'eau ont lieu de façon indépendante entre le sol, la plante et l'atmosphère (**CRUIZIAT et TYREE, 1990**).

1.3.1. Effets du déficit hydrique sur les plantes

Le stress hydrique occupe une place particulière du fait de sa fréquence, et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métabolismes (**TURNER, 1990 ; BALO et al., 1995**).

Les effets directs du faible potentiel hydrique sur la photosynthèse ont été très bien étudiés sur des chloroplastes isolés de feuilles de tournesol (*Helianthus annuus*) soumises à la dessiccation (**RAO et al., 1987**).

Les dommages provoqués par un stress hydrique résultent de la dessiccation du protoplasme. La perte d'eau, provoque une augmentation de la concentration des solutés, lorsque le volume du protoplasme diminue, ce qui entraîne des conséquences sérieuses sur le plan structurel et métabolique. L'intégrité des membranes et des protéines est également affectée par la dessiccation, ce qui entraîne des dysfonctionnements métaboliques (**HOPKINS, 2003**). Le déficit hydrique peut également diminuer la pression de turgescence de la plante et par conséquent provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire. Cette perte de l'état de turgescence peut engendrer des effets physiologiques très importants (**GATE, 1995**).

1.3.2. Réponses des plantes à la sécheresse

Selon YEO (1983), la résistance d'une plante à un stress abiotique indique le maintien de la croissance et de son métabolisme fonctionnel à la différence des espèces animales qui s'échappent de ces conditions. Pour cela, la plante doit supporter le choc chimique et physique engendré par l'environnement en modifiant ses caractéristiques de croissance et de développement. **TRETIACH (1993)** note que les feuilles sempervirentes et caduques ont une économie différente de l'assimilation. Les premières sont plus efficaces, car leur assimilation se produit toute l'année, La réduction causée par la sécheresse estivale est ainsi minimisée. Sous les conditions arides, sclérophyllées et xéromorphies ont été proposées comme des caractéristiques adaptatives importantes des arbres. Cela peut être considéré comme le moyen le plus efficace pour faire face à un environnement potentiellement stressant, sans trop diminuer les échanges gazeux lors des conditions favorables (**PITACCO et GALLINARO, 1996**).

1.4. Adaptation des plantes au stress hydrique

1.4.1. Adaptations physiologiques

Le maintien d'une forte pression osmotique des fluides cellulaires se réalise par le potassium en début de croissance, et par les osmolytes dans l'autre phase de vie du végétal. Les protéines de sécheresse, analogue au heat shock proteins (HSP) et des polyamines (putrescine, spermidine), participent également dans le processus d'adaptation. L'acide abscissique (ABA) induit la fermeture des stomates qui a pour effet la réduction de la photosynthèse, la transpiration qui résulte donc de cette opération décroît (**MAZLIAK, 2000**).

1.4.2. Adaptations morphologiques

Les plantes adaptent leur architecture pour tolérer le stress hydrique, cela se réalise par un ralentissement de la croissance des feuilles ou bien par une réduction de la surface foliaire. Il s'est avéré que ces deux mécanismes sont plus importants que la réduction de la photosynthèse (**HERVIEU et GUILLOU., 2001**).

Les xérophytes sont des plantes qui ont réduit leur surface transpirante par atrophie des feuilles, ou bien par une cutinisation des épidermes et enfoncement des stomates dans des sillons ou des cryptes (**MAZLIAK, 2000**).

1.4.3. Adaptations métaboliques

Les plantes en C4 sont des plantes de milieu chaud et sec, elles ferment leurs stomates plus longtemps pour éviter les pertes d'eau. En parallèle, elles possèdent une enzyme supplémentaire : la phospho-énol-pyruvate-carboxylase qui piège le CO₂ et provoque la diminution de la photorespiration (**THEBAULT, 2001, GEST, 2002**).

Chez les plantes CAM, l'ouverture nocturne des stomates minimise les pertes par évaporation. En plein jour, la photosynthèse proprement dite peut s'effectuer à stomates fermés, elle n'utilise pas directement le CO₂ atmosphérique, mais la décarboxylation des malates ou isocitrates accumulés au cours de la nuit (**HENK et EGGLI., 1995 ; GEST, 2002**).

2. STRESS SALIN

2.1. Généralités sur la salinité chez les végétaux

2.1.1. Stress

Le stress est fondamentalement un concept mécanique, il se définit comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet ; autrement dit « une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner ». Cette définition est subjective et vraie en fonction des espèces et même des écotypes (**HOPKINS, 2003**).

2.1.2. Salinité

Selon **MERMOUD (2006)** la salinité est le processus d'accumulation des 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.

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

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

2.1.3. Salinisation

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}), le carbonate (CO_3^{2-}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le sodium (Na^+). Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sel par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sels du matériau parent ou des nappes souterraines. En second lieu, la salinisation est provoquée par des interventions humaines, telles que des pratiques d'irrigation inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sels et/ou par un drainage insuffisant.

2.2.Processus de la salinisation et de l'alcalinisation des sols

L'abondance de l'ion sodium dans le sol lui confère des caractères particuliers. Mais cet ion peut exister sous deux formes distinctes :

- La forme saline (NaCl , Na_2SO_4), dans ce cas l'ion sodium reste sous forme neutre.
- La forme alcalinisante (échangeable), l'ion sodium est lié au complexe absorbant. Sa présence enrichie la solution du sol en sels alcalins (carbonate ou bicarbonate de sodium) qui confère au sol un pH fortement élevé.

Duchaufour (1983), en fonction de ces deux formes de l'ion sodium, proposa le terme de "sols salsodiques" pour désigner la classe des sols sujets.

2.3.Types de salinité

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (**MAILLARD, 2001**).

2.3.1. Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle « édaphique », on qualifie alors la salinisation de « primaire ». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes.

Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (**ANTIPOLIS, 2003**).

2.3.2. Salinisation secondaire

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique, celles-ci sont qualifiées de « secondaires » dû principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (**LE GOUPIL, 1974 ; ANONYME, 2006**).

2.4.Origines et causes de la salinité

Selon **DUCHAUFOR (1983)**, sur le plan écologique, en plus de la condition climatique, une condition de station où les facteurs du milieu interviennent de façon locale indépendamment du climat général, concernant la présence obligatoire d'une source de sodium. **AUBERT (1975)**, note que la salinité d'une zone reste étroitement liée au climat.

Localisée surtout dans les zones semi-arides, arides à climat méditerranéen, subhumide de type tropical. Le climat est un facteur qui favorise l'augmentation de la salure au niveau du sol, surtout en présence des dépôts écologiques salifères et nappes salées.

Les origines de la salinité sont multiples, elle résulte des apports marins dans les zones côtières, de apports éoliens, par la présence d'une nappe salée peu profonde, le manque de précipitations et l'altération de la roche salifère (**BENKHETOU, 2003**).

Les sols reconstitués à partir de rejets sableux pourront être salins et/ou sodiques. Il faut bien noter que l'on peut retrouver au sein d'un même site des conditions salines, sodiques, salin-sodiques et qu'un classement des terrains se base sur des valeurs moyennes issues d'échantillons prélevés à la grandeur de chaque site (**GREGORY, 2005**).

2.5.Principaux sels responsables de la salinité

Les sels proviennent de la combinaison des bases (cations) et des acides (anions). Parmi ces sels, ce sont surtout Na Cl, Na₂SO₄, Na HCO₃, Ca SO₄, Ca Cl₂, Mg SO₄, Mg Cl₂ que l'on rencontre dans les sols salifères. Tous les ions peuvent participer à la salinisation. En pratique certains sont susceptibles de s'accumuler et d'être à l'origine d'une salinité excessive des terres. En effet, ce sont le sodium (Na⁺), le calcium (Ca⁺⁺), le magnésium (Mg²⁺), ainsi que le chlorure (Cl⁻), sulfate (SO₄⁻), carbonate (CO₃⁻), et les bicarbonates (HCO₃⁻) (**BENKHETOU, 2003**).

2.6.Composants de la salinité

Les composantes de la salinité sont : les stress osmotiques, ioniques, nutritionnels et oxydatifs.

2.6.1. Stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît. Selon **SONG et al. (2005)**, plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance. D'après **CHINNUSAMY et al., (2004)** la concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol qui augmente avec le dessèchement ; c'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na^+ via les charges négatives de l'argile.

2.6.2. Stress ionique

Le stress ionique est lié à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B,... peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes. Un excès de minéraux peut avoir des effets toxiques (**MONNEVEUX et THIS, 1997**). Des concentrations excessives de d'ions Cl^- dans la solution du sol peuvent provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci. Cependant, les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium Na^{2+} sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles, contrairement aux symptômes causés par des ions Cl^- qui apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles (**MAILLARD, 2001**). Selon **CHINNUSAMY et al., (2004)** l'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophylle des feuilles affecte la croissance et le métabolisme de la plante où le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques. Ainsi, la présence de ces ions perturbent l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (**HASEGAWA et al., 2000**). **CHINNUSAMY et al., (2004)** soulignent que la toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K^+ par Na^+ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structure protéiques et enzymatiques.

2.6.3. Stress nutritionnel

Selon **SNOUSSI ET HALITIM (1998)**, certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale.

La présence excessive d'ions sodiques, chloriques et boriques peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (MAILLARD, 2001). Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (LEVIGNERON et al., 1995 in HAOUALA et al., 2007). 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. Ainsi, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, K, N, P et Ca dans la plante. Ces déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sels lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (HAOUALA et al., 2007). Selon TESTER et DAVENPORT (2003) in Jabnoue, 2008), les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

2.6.4. Stress oxydatif

PARENT et al., (2008) soulignés qu'une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin est l'apparition du stress oxydatif. Ce type de stress se caractérise par l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées qui endommagent les structures cellulaires. Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et d'autres troubles métaboliques. La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super oxyde (RAHNAMA et EBRAHIMZADEH, 2005). Des antioxydants sont nécessaires pour faire face au ROS et maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (REDDY et al., 2004).

2.7.Importance des sols salés dans le monde et en Algérie

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle mondiale. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre. Généralement, le monde perd en moyenne 10 ha de terres cultivables par minute dont 3 ha (plus de 1,5 Mha par an) à cause de la salinisation. Aujourd'hui, il y a à peu près 400Mha des terres qui sont affectées par la salinisation (BOT et al., 2000).

En Afrique, près de 40 Mha y sont affectés, soit près de 2% de la surface totale. Au Proche-Orient, près de 92 Mha soit environ 5% de la surface totale (**FAO, 2008**).

Selon **DURAND (1958)**, en Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité, ou susceptibles de l'être. Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, dans le bas Chelif, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà.

2.8. Classification des sols salins

Il existe plusieurs classifications, parmi elle celles de **CHERBUY, (1991)** qui classe les sols salins comme suit :

- ✦ Sols salins
- ✦ Sols salins à alcalins.
- ✦ Sols alcalins.

2.9. Caractéristiques des sols salins

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ . Sous l'une ou l'autre de ses formes: salines (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeables, parfois les deux, les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) :

Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres tel que NaCl (chlorure de sodium), Na_2SO_4 (sulfate de sodium), mais ils contiennent également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi - arides.

Les sols alcalins (Solonetz) sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement). Ces sols se trouvent plutôt dans les zones semi-arides et sub-humides.

Ces deux types de sols ont des propriétés chimiques et physiques distinctes, d'où des effets sur les plantes, des traitements pour leur remise en valeur, une distribution géographique et une qualité des aquifères adjacents différents (**MAILLARD, 2001**).

Tableau 1 : Principales caractéristiques des sols salins et sodiques (MAILLARD, 2001).

Caractéristiques	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
Chimiques	- Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium. -un pourcentage de sodium échangeable inférieur à 15%	- Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na_2CO_3) -un pourcentage de sodium échangeable à 15%
	- Le pH de l'extrait de sol saturé généralement moins de 8,2	- Le pH de l'extrait de sol saturé est plus de 8,2 atteignant souvent 9 ou 10.
	- Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm	- Conductivité électrique à 25°C CE <4Ms/cm
Physiques	-En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols «normaux ».	La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Distribution Géographique	Les sols salins dominant dans les régions arides à semi-arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub – humides.

2.10. Impact de la salinité sur les sols

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ceci conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part, par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur et difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination et d'enracinement des plantes. Par ailleurs, le sol devient totalement asphyxiant, ce qui s'accompagne d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes et la baisse considérable des rendements (**LASSANA ,1991**).

2.11. Impact de la salinité sur la plante

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (**HILLEL, 2000**). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (**MUNNS et al., 1983**). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affecte négativement la croissance et la productivité végétale (**ASHRAF ET HARRIS, 2004**)

2.11.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol (**SHARMA, 1973, GUTTERMAN, 1993 in NDOUR ET DANTHU, 2000**). Selon **MAILLARD (2001) et ABDELLY (2006)**, la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique. Selon **KARMOUS (2007)**, elle agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique où elle affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (**MAAS et POSS, 1989**). La réduction du potentiel osmotique de la solution du sol empêche l'imbibition de la graine suite à une diminution des activités enzymatiques et une forte absorption de Na^+ par rapport à K^+ , ce qui conduit à une toxicité

embryonnaire et un retard dans les processus métaboliques (**HSIAO et al., 1976 ; OERTLI,1976 in ADEL et BADER, 2002**).

2.11.2. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante

Il existe 3 effets de la salinité sur la morphologie de la plante :

❖ Effet de la salinité sur l'architecture de la plante

L'architecture de la plante est profondément modifiée sous un stress osmotique, même très modérée et ne présentant pas de symptômes flagrants. Par exemple, chez des dicotylédones comme le pois ou la vigne, le nombre de ramifications et le nombre d'organes élémentaires (phytomères) de la tige sont drastiquement réduits. Il en va de même chez les graminées, où le nombre de talles est réduit en cas d'un stress osmotique.

❖ Effet de la salinité sur la partie aérienne

D'après **MAAS et POSS (1989)** et **MUNNS et RAWSON (1999)**, l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance végétative (réduction de la hauteur, nombre de talles et de feuilles) qui est en fonction de la division et de l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

❖ Effet de la salinité sur la partie racinaire

La salinité affecte en particulier la croissance des racines des plantes. **LÄUCHLI et EPSTEIN, (1990) ; BAYUELO et al., (2002)** ont montré que la salinité augmente le rapport PR/PA. En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel. **KAFKAI (1991)**, suggère que sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux et qu'une part importante des photosynthétats soit alors redistribué à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clefs aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparaît évident puisqu'une augmentation du ratio masse des racines/masse de la

canopée maximise la surface d'absorption de l'eau en diminuant la surface d'évaporation (MUNNS, 2002).

2.11.3. Effet de la salinité sur la physiologie de la plante

L'effet de la salinité sur la physiologie de la plante se fait sur deux paramètres : sur les échanges gazeux et la photosynthèse, ainsi que sur la reproduction.

❖ Sur les échanges gazeux et la photosynthèse

D'après ALEM *et al.*, (2002) la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui représente la cause principale de la réduction de la productivité végétale . Selon MUNNS (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (PRICE et HENDRY, 1991 ; ALLEN, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique (ORCUTT et NILSEN, 2000). La diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée.

❖ Effet de la salinité sur la physiologie et le rendement

Selon HU *et al.*, (2005) la salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs.

2.11.4. Effet de la salinité sur le rendement agronomique

Les composantes du rendement de l'orge tels que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain, sont élaborés de façon séquentielle dans le temps. MUNNS ET RAWSON (1999) ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit

2.12. Réponse et stratégie adaptative de la plante aux stress salin

Les plantes peuvent répondre aux stress de diverses façon, elles accomplissant leur croissance durant les périodes de moindre stress ou bien ne peuvent pas le supporter, auquel cas elles peuvent subir des lésions ou des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettant d'éviter ou de tolérer les effets de stress (ENITA, 2000). Les plantes réagissent aux variations de la salinité dans le biotope pour déclencher des

mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress (BELFAKIH *et al.*, 2013). 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), principalement des composés aminés et des sucres (LEVIGNERON *et al.*, 1995).

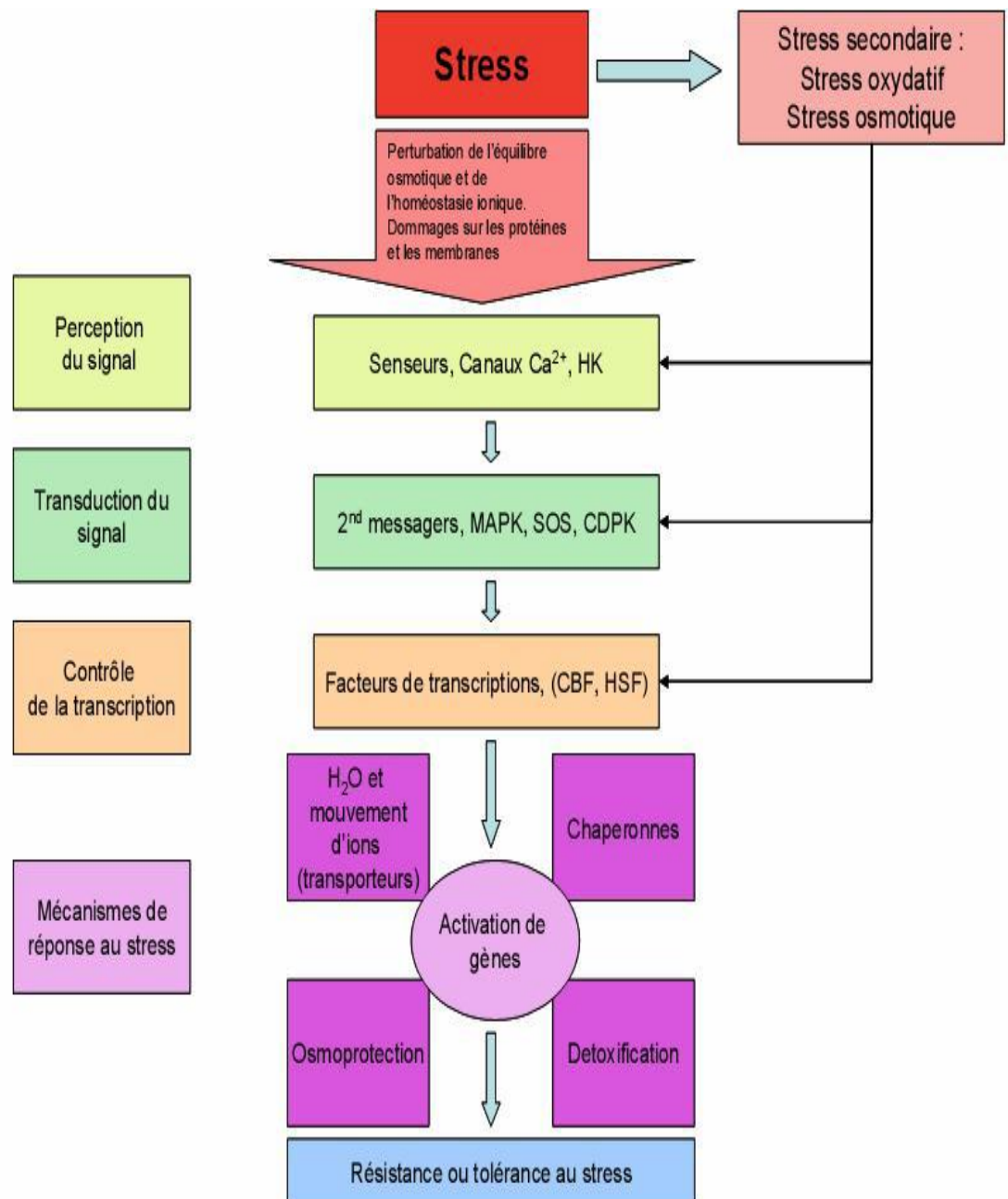


Figure 13: Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes (WANG *et al.*, 2003).

2.12.1. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation, il peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel. Ce phénomène joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress (**KARA et al., 2011**). Celle-ci devra synthétiser des solutés organiques pour ajuster son potentiel hydrique (**BELFAKIH et al., 2013**).

2.12.2. Accumulation de la proline

La proline, observée chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones, s'accumule aussi bien chez les glycophytes que chez les halophytes sur des cellules en suspension, ou des plantes entières pour restaurer l'équilibre osmotique entre cytoplasme et la vacuole.

La synthèse de la proline est une mesure adaptative prise par les plantes et sa teneur est corrélée à la tolérance au NaCl (**DENDEN et al., 2005**).

2.12.3. Sucres solubles

Les sucres solubles sont des voies des métabolismes végétaux présents aussi à la surface des plantes (**ARNAULT et al., 2011**). Ils sont stimulés par un stress salin (**LEVIGNERON et al., 1995**), produits par blocage de glycolyse ou de saccharose (provenant de l'hydrolyse de l'amidon). Ces sucres sont abondants dans le cas de concentration fortement salines et déshydratantes (**HUBAC, 1972 ; BINET, 1980 in : BOUHADDI ,2009**). Les sucres pourraient contribuer à plus de 50% à l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité (**FARISSI et al., 2014**)

2.13. Lutte contre la salinisation des sols

La lixiviation est l'une des possibilités, c'est un mode d'irrigation qui consiste à donner aux cultures juste un peu plus d'eau que nécessaire. De ce fait on réduit la salinité dans la zone racinaire et les sels sont transportés dans la couche aquifère qui les disperse. Un autre processus correcteur de la salinisation est un meilleur drainage des terres salines gorgées d'eau. L'inondation des terres salinisées a également un effet bénéfique, grâce à la

submersion et au drainage. Enfin une meilleure utilisation de l'eau d'irrigation comme le goutte-à-goutte, peut améliorer la qualité de ces sols salins (**BELTRAN, 2002**).

ANNEXE A

1. Analyse de la variance ANOVA : Taux de germination

TG %

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	26427,50	5,00	5285,50	264,28	0,00
Intra-groupes	480,00	24,00	20,00		
Total	26907,50	29,00			

2. Test de Tukey : Taux de germination

TG %

Test de Tukey

traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
200 mM	5	0,00		
300 mM	5	0,00		
250 mM	5	1,00		
150 mM	5	7,00		
100 mM	5		20,00	
Témoin	5			83,00
Signification		,171	1,000	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 5,000.

3. Analyse de la variance ANOVA : Temps moyen de germination

TMG

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	64,57	2,00	32,28	1,46	0,27
Intra-groupes	243,70	11,00	22,15		
Total	308,27	13,00			

4. Analyse de la variance : Inhibition

ANOVA à 1 facteur

Inhibition %

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	2231,47	4,00	557,87	16,05	0,00
Intra-groupes	695,36	20,00	34,77		
Total	2926,83	24,00			

5. Test de Tukey : Inhibition

Inhibition %

Test de Tukey

traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
100 mM	5	75,357843	
150 mM	5		91,220588
250 mM	5		98,823529
200 mM	5		100,000000
300 mM	5		100,000000
Signification		1,000	,169

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 5,000.

ANNEXE B

1. Analyse de la variance : Taux de germination et temps moyen de germination

ANOVA à 1 facteur

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
TMG	Inter-groupes	8,13	3,00	2,71	0,53	0,67
	Intra-groupes	50,76	10,00	5,08		
	Total	58,89	13,00			
TG	Inter-groupes	19993,75	3,00	6664,58	91,14	0,00
	Intra-groupes	1170,00	16,00	73,13		
	Total	21163,75	19,00			

2. Test de Tukey : Taux de germination

TG

Test de Tukey

traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
PEG -3	5	1,00	
PEG -1	5	9,00	
PEG - 0,5	5	13,00	
Témoin	5		80,00
Signification		,160	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 5,000.

3. Analyse de la variance ANOVA : Inhibition

ANOVA à 1 facteur

Inhibition

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	31179,80	3,00	10393,27	93,40	0,00
Intra-groupes	1780,40	16,00	111,28		
Total	32960,20	19,00			

4. Test de Tukey : Inhibition

Inhibition

Test de Tukey

traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Témoin	5	0,00	
PEG - 0,5	5		83,20
PEG - 1	5		88,80
PEG - 3	5		98,80
Signification		1,000	,131

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 5,000.

ANNEXE C

1. Analyse de la variance ANOVA : Proline, Sucres solubles, Chlorophylle (a), (b), totale et caroténoïdes

ANOVA à 1 facteur

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Proline	Inter-groupes	0,02	5,00	0,00	21,89	0,00
	Intra-groupes	0,00	14,00	0,00		
	Total	0,02	19,00			
SST	Inter-groupes	2,36	5,00	0,47	5,29	0,00
	Intra-groupes	1,43	16,00	0,09		
	Total	3,79	21,00			
Chl_A	Inter-groupes	64,05	5,00	12,81	12,19	0,00
	Intra-groupes	17,87	17,00	1,05		
	Total	81,92	22,00			
Chl_B	Inter-groupes	6,03	5,00	1,21	3,17	0,03
	Intra-groupes	6,48	17,00	0,38		
	Total	12,51	22,00			
Chl_tot	Inter-groupes	135,17	5,00	27,03	8,31	0,00
	Intra-groupes	58,57	18,00	3,25		
	Total	193,75	23,00			
Cart	Inter-groupes	26,30	5,00	5,26	8,05	0,00
	Intra-groupes	11,76	18,00	0,65		
	Total	38,06	23,00			

2. Test de Tukey : Proline

Proline

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
Témoin	3	,049187		
100 mM	3	,051253		
150 mM	3	,059727	,059727	
200 mM	3	,077707	,077707	
250 mM	4		,086645	
300 mM	4			,131285
Signification		,097	,128	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

- Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,273.
- Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

3. Test de Tukey : Sucres solubles

SST

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Témoin	3	,822977	
100 mM	4	1,207953	1,207953
150 mM	4	1,465202	1,465202
200 mM	4		1,644158
250 mM	3		1,745373
300 mM	4		1,817315
Signification		,094	,122

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

- Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,600.
- Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

4. Test de Tukey : Chlorophylle (a)

Chl_A

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
300 mM	4	1,459810	
250 mM	3	1,649597	
200 mM	4	1,900780	
150 mM	4	1,991103	
100 mM	4	2,291635	
Témoin	4		6,217095
Signification		,868	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,789.

b. Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

5. Test de Tukey : Chlorophylle (b)

Chl_B

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
300 mM	4	1,510520	
250 mM	3	1,575687	
200 mM	4	1,900795	1,900795
150 mM	4	2,049100	2,049100
100 mM	4	2,135110	2,135110
Témoin	4		3,059670
Signification		,731	,155

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,789.

b. Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

6. Test de Tukey : Chlorophylle totale

Chl_tot

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
300 mM	4	2,969395	
200 mM	4	3,890695	
150 mM	4	3,948625	
100 mM	4	4,425385	
250 mM	4	4,614980	
Témoin	4		10,182220
Signification		,786	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

7. Test de Tukey : caroténoïdes

Caroténoïdes

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
300 mM	4	1,168018	
200 mM	4	1,571878	
150 mM	4	1,703308	
100 mM	4	1,758113	
250 mM	4	1,997451	
Témoin	4		4,367768
Signification		,697	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

ANNEXE D

1. Analyse de la variance ANOVA : Proline, Sucres solubles, Chlorophylle (a), (b), totale et caroténoïdes

ANOVA à 1 facteur

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Proline	Inter-groupes	0,003	3,000	0,001	9,427	0,003
	Intra-groupes	0,001	10,000	0,000		
	Total	0,004	13,000			
Sucres solubles totaux	Inter-groupes	1,220	3,000	0,407	9,371	0,004
	Intra-groupes	0,391	9,000	0,043		
	Total	1,610	12,000			
Chlorophylle (a)	Inter-groupes	6,280	3,000	2,093	2,607	0,100
	Intra-groupes	9,634	12,000	0,803		
	Total	15,914	15,000			
Chlorophylle (b)	Inter-groupes	12,605	3,000	4,202	12,010	0,001
	Intra-groupes	4,198	12,000	0,350		
	Total	16,804	15,000			
Chlorophylle totale	Inter-groupes	31,341	3,000	10,447	5,250	0,015
	Intra-groupes	23,878	12,000	1,990		
	Total	55,219	15,000			
Caroténoïde	Inter-groupes	10,915	3,000	3,638	6,312	0,008
	Intra-groupes	6,917	12,000	0,576		
	Total	17,833	15,000			
Teneur en Eau	Inter-groupes	1020,910	3,000	340,303	10,344	0,002
	Intra-groupes	361,872	11,000	32,897		
	Total	1382,782	14,000			

2. Test de
tukey :
proline

Proline

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
Témoin	3	,038853		
05 jours	4	,040765	,040765	
10 Jours	4		,065720	,065720
15 Jours	3			,075020
Signification		,995	,051	,678

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,429.

b. Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

**3. Test de
Tukey :
sucres
solubles**

Sucres solubles totaux

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Témoin	3	,552333	
05 jours	3	,956089	,956089
10 Jours	4		1,211267
15 Jours	3		1,390223
Signification		,136	,104

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,200.

b. Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

4. Test de Tukey : Chlorophylle (a)

Chlorophylle (a)

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	
15 Jours	4		1,450498
Témoin	4		2,519795
10 Jours	4		2,558420
05 jours	4		3,195495
Signification			,072

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

5. Test de Tukey : Chlorophylle (b)

Chlorophylle totale

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
15 Jours	4	2,005445	
05 jours	4	4,262885	4,262885
10 Jours	4		5,237055
Témoin	4		5,601200
Signification		,162	,556

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

6. Test de Tukey : Caroténoïdes

Caroténoïdes

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
15 Jours	4	1,074919	
05 jours	4	1,941743	1,941743
10 Jours	4	2,505720	2,505720
Témoin	4		3,341897
Signification		,084	,092

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

7. Test de Tukey : Teneur en eau

Teneur en eau

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
10 Jours	3	64,202370	
15 Jours	4	72,793127	
05 jours	4	74,709286	
Témoin	4		87,811734
Signification		,117	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 3,692.

b. Les effectifs des groupes ne sont pas égaux. La moyenne harmonique des effectifs des groupes est utilisée. Les niveaux des erreurs de type I ne sont pas garantis.

Synthèse bibliographique

Partie expérimentale

Conclusion et perspectives

Introduction