



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

Université Ibn Khaldoun –Tiaret–

Faculté Sciences de la Nature et de la Vie

Département Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité: génétique moléculaire et améliorations des plantes

Présenté par :

AOUDJ Khaoula

BOUBEKEUR Kheira

**L'effet de la salinité et du stress hydrique sur la germination et la croissance
au stade juvénile chez l'espèce (*Chenopodium quinoa* Willd)**

Soutenu publiquement le: 27/06/2022

Membres de jury:

Président : M. BOUFARES Khaled MCA

Examineur: M. BOUBEKEUR Mohamed Abdel Aziz MAA

Promotrice : M^{elle}. SOUALMI Nadia MAA

Année universitaire : 2021 - 2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu « ALLAH » tout puissant de nous avoir accordé la force, courage et patience pour terminer ce travail.

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre enseignante encadrante, **M^{elle} SOUALMI Nadia**, pour avoir dirigé ce thème, ainsi que pour ses conseils, sa confiance, ses encouragements, et son soutien pour finir ce travail.

Nos vifs remerciements à **Mr. BOUFARES. K**, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire, et **Mr. BOUBEKEUR M/A**, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de faire partie de ce jury.

Nos vifs remerciements aux ingénieurs des laboratoires de protection des végétaux et de physiologie végétale pour leur présence et leur aide précieuse.

À tous nos amis et nos collègues de travail,

À tous les étudiants de la promotion 2022, et toute personne qui a participé à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

*A la flamme de mon cœur, la lumière de mes jours : ma grande mère Fatima (رحمها الله)
A mes très chers parents, pour tout l'amour ; je vous remercie pour l'affection dont vous m'avez
toujours entourée.*

*A mon oncle Mohamed et ma tante Keltoum,
A ma sœur Samia et ses filles Bochra et Wassila, à mon très cher frère Habib, à qui je souhaite
un avenir radieux plein de réussite.*

A ma camarade Khaoula, et tous mes proches et mes amis.

Kheira

*A la source de ma force, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore, puisse Dieu le tout
puissant, te préserver et t'accorder santé.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir,
mon père qu'Allah l'accepte dans son paradis (رحمه الله).*

A mon oncle que je considère comme mon deuxième père : Morsli

A mes frères : Bilal et Youcef

A mes sœurs : Hanane, Assmaà et Aicha

A mes copines : Djihad et Nacira

Et mon binôme dans ce travail Kheira

*Aux personnes qui m'ont toujours aidée et encouragée, qui étaient toujours à mes côtés ; mes
amis proches et ma famille.*

Khaoula

Table des matières

| | |
|------------------------------|------------|
| LISTE DES FIGURE | I |
| LISTE DES TABLEAUX | II |
| LISTE DES ABREVIATION | III |
| RESUME | IV |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction générale | 1 |
| CHAPITRE I : DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES | |
| I. Les stress..... | |
| 1. Définition de stress | 3 |
| 1.1. Stress Salin | 3 |
| 1.2. Stress Hydrique | 3 |
| 1.3. Stress Thermique | 4 |
| 2. Effet de stress salin sur germination | 5 |
| 3. Effet de stress salin sur la croissance et le développement | 5 |
| 4. Effet de stress Hydrique sur la germination | 5 |
| 5. Effet de stress Hydrique sur la croissance et le développement | 7 |
| 6. Comportement des plantes vis-à-vis le stress salin | 7 |
| 6.1. Réponse morphologique | 8 |
| 6.2. Réponse physiologique | 8 |
| 6.3. Réponse génétique | 8 |
| 7. Stratégies d'adaptation les plants pour tolérer le déficit hydrique | 9 |
| 7.1. L'esquive | 10 |
| 7.2. L'évitement | 10 |
| 7.3. Tolérance au stress hydrique | 11 |
| II. La Plante étudiée..... | |
| 1. Généralité sur le <i>Chenopodium quinoa</i> Willd | 12 |
| 2. Distribution du Quinoa dans le monde et en Algérie | 13 |
| 3. Description botanique | 15 |
| 4. La systématique du Quinoa | 17 |
| 5. Etapes phénologiques du Quinoa | 18 |
| 6. Valeurs alimentaires du Quinoa | 19 |
| 7. Utilisations | 20 |
| 8. Propriétés pharmacologiques et nutrition | 20 |
| III. La Germination..... | |
| 1. Définition de la germination | 23 |
| 2. Etapes de la germination | 23 |
| 3. Facteurs de germination | 25 |
| 3.1. Les conditions internes | 25 |
| 3.2. Les conditions externes | 25 |

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| I. Matériel..... | |
| 1. Matériel végétal | 26 |
| 2. Généralités sur le climat de la région de Tiaret | 26 |
| 3. Préparation des graines pour les tests de germination | 27 |
| 4. Tests de germination | 27 |
| II. Méthodes..... | |
| 1. Estimation du taux final de germination | 29 |
| 2. Précocité de la germination | 29 |
| 3. Vitesse de germination | 29 |
| 4. Réversibilité de l'action du stress | 30 |
| 5. Mobilisation des réserves au cours de la germination | 30 |
| III. Conduite de l'essai en serre..... | |
| 1. Préparation des gobelets | 31 |
| 2. Techniques d'analyse | 31 |
| 2.1. La partie caulinare | 31 |
| 2.2. La partie souterraine | 32 |
| IV. Analyse statistique..... | 32 |

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| I. Résultats..... | |
| 1. Sous stress salin..... | 33 |
| 1.1 Taux final de germination | 33 |
| 1.2. Délai de germination | 33 |
| 1.3. Vitesse de germination | 34 |
| 1.4. Réversibilité de l'action du sel | 35 |
| 1.5. Mobilisation des réserves | 36 |
| 2. Sous stress hydrique..... | |
| 2.1. Taux final de germination | 38 |
| 2.2. Délai de germination | 38 |
| 2.3. Vitesse de germination | 39 |
| 2.4. Réversibilité de l'action du stress hydrique | 40 |
| 2.5. Mobilisation de réserve | 40 |
| 3. Paramètres morphologiques..... | |
| 3.1. Sous stress salin..... | 42 |
| 3.1.1. Longueur des racines | 42 |
| 3.1.2. Longueur des tiges | 42 |
| 3. 2. Sous stress hydrique | 43 |
| 3.2.1. Longueur des racines | 43 |
| 3.2.2. Longueurs des tiges | 44 |
| II. Discussion | 45 |
| CONCLUSION | 49 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | |

Liste des figures :

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1: Culture de Quinoa en Bolivie (FAO. 2013)..... | 12 |
| Fig.2 : Carte de distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud (www.researchgate.net)..... | 14 |
| Fig.3 : Structure de la graine de <i>C.qionoa</i> (FAO, 2015)..... | 17 |
| Fig.4 : Phases de développement du quinoa (Espindola, 1992)..... | 18 |
| Fig.5 : Evaluation de l'absorption d'eau et de la consommation d'oxygène par un lot de semences (puis de plantules, phase III)..... | 24 |
| Photo n°6 : Graines de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. Original Aoudj et Boubekour (2022)..... | 26 |
| Fig.7 : Graines de Quinoa mises à germer, Original Aoudj et Boubekour (2022)..... | 27 |
| Fig.8 : Début de croissance des jeunes plants de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd..... | 32 |
| Fig.9 : Variation des taux finaux de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au Na Cl..... | 33 |
| Fig.10: Variation des délais de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au Na Cl..... | 33 |
| Fig.11: Variation des vitesses de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au Na Cl..... | 34 |
| Fig.12: Taux de réversibilité de l'effet du Na Cl sur la germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au Na Cl..... | 35 |
| Fig.13: Poids mobilisé des réserves des graines de quinoa sous stress salin..... | 36 |
| Fig.14: Variation des taux finaux de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000..... | 38 |
| Fig.15: Variation des délais de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000..... | 38 |
| Fig.16: Variation des vitesses de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000..... | 39 |
| Fig.17: Taux de réversibilité de l'effet du PEG 6000 sur la germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress..... | 40 |
| Fig.18: Poids mobilisé des réserves des graines de quinoa sous stress hydrique..... | 40 |
| Fig.19: Variation de la longueur des racines des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en Na Cl..... | 42 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.20: Variation de la longueur des tiges des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en Na Cl..... | 42 |
| Fig.21: Variation de la longueur des racines des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en PEG 6000..... | 43 |
| Fig.22: Variation de la longueur des tiges des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en PEG 6000..... | 44 |

Liste des tableaux

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 01 : Les teneurs en macronutriments, du quinoa..... | 19 |
| Tableau 02 : Les concentrations salines utilisées..... | 28 |
| Tableau 03 : Dispositifs et caractéristiques du PEG6000..... | 28 |
| Tableau 04 : Les tests statistiques de germination sous stress salin..... | 37 |
| Tableau 05 : Représentant les tests statistiques de la réversibilité au stress salin | 37 |
| Tableau 06 : les tests statistiques de germination sous stress hydrique..... | 41 |
| Tableau 07 : Représentant les tests statistiques de la réversibilité au stress hydrique..... | 41 |
| Tableau 08 : Les tests statistique des paramètres morphologiques des jeunes plants sous stress salin..... | 43 |
| Tableau 09 : Les tests statistiques des paramètres morphologiques des jeunes plants sous stress hydrique | 44 |

Liste des abréviations

FAO: Food and agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

INRAA : Institue nationale de la recherche agronomique d'Algérie (Adrar et Ghilizane).

INRF : Institue nationale de la recherche forestière (Bainem d'Alger).

ITDAS: Institut technique du développement de l'agronomie saharienne.

ITGC : Institute Technique du Grandes Culture de Sétif, Tiaret et Relizene.

Meq : milliéquivalent.

Na Cl : Chlorure de sodium

PEG 6000: polyéthylène glycol 6000

SPSS : Statistical package of social sciences

Tg : Taux de germination

ITDAS : Institut technique du développement de l'agronomie saharienne, (Biskra et El-oued).

Résumé

Ce travail vise à étudier l'impact des stress salin et hydrique sur la germination et la croissance à l'état juvénile de l'espèce *Chenopodium quinoa* Willd.

Le quinoa est une plante nouvellement introduite en Algérie, qualifiée de « pseudo-céréale », reconnue par sa grande capacité d'adaptation aux conditions pédo-climatiques très rudes, ainsi que par sa richesse en acides aminés et oligo-éléments, elle est dépourvue en gluten.

Les résultats montrent qu'il y a des perturbations des paramètres de germination (taux final, délai, vitesse de germination et cela sous stress salin et hydrique. Le test de réversibilité des effets des stress montre qu'après passage à l'eau distillée des graines non germées, un certain pourcentage de graines reprend l'activité germinative. La mobilisation des réserves diminue avec l'augmentation des stress et enfin la longueur des racines et des tiges à l'état juvénile subit une réduction importante en fonction de l'intensification des concentrations en Na Cl et en PEG 6000.

Mots clés : Quinoa, salinité, déficit hydrique, germination, croissance.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الملوحة و الاجهاد المائي على النوع: *Chenopodium quinoa* Willd تم ادخال نبات الكنوا حديثا الى الجزائر و تم تسميتها <<شبه الحبوب>> و المعروفة بقدرتها على التكيف مع الظروف المناخية القاسية و كذا ثرائها بالأحماض الامينية و العناصر الصغرى، و الخالية من الغلوتين. النتائج توضح وجود تغيرات في (النسبة النهائية، المدة، سرعة الانتاش) وهذا تحت تأثير كل من الملوحة و الاجهاد المائي. اختبار انعكاس تأثير الضغط، تبين أنه بعد وضع البذور في الماء المقطر، البذور الغير منتشرة بنسبة معينة تعود للانتاش مجددا. استهلاك المدخرات ينخفض بزيادة تأثير الاجهاد. في النهاية طول الجذور و السيقان في المرحلة الفتية يبين تناقص مهم بالنسبة لتأثير تراكيز كل من : كلور الصوديوم و PEG 6000.

الكلمات المفتاحية: الكنوا، الملوحة، الاجهاد المائي، الانتاش، النمو



INTRODUCTION

Introduction Générale

L'INTRODUCTION

La productivité et le développement agricoles sont confrontés à plusieurs contraintes abiotiques. Ces dernières engendrent d'importantes pertes de production à travers le monde (Jakab et *al.*, 2005). Parmi ces contraintes, celle hydrique et saline sont considérées comme les facteurs les plus importants limitant le rendement notamment au niveau des régions arides et semi arides (Rjeibi et *al.*, 2015). Ces régions constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre (Benbrahim et *al.*, 2004). Les contraintes générées par ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires (Wang et *al.*, 2001; Araus et *al.*, 2002).

Il est à noter également que l'eau est un élément de la composante biotique de la biosphère. Il est essentiel à la production d'aliments et d'énergie, à la santé des écosystèmes et à la survie de l'humanité. Depuis la dernière décennie, un déficit prolongé de cette ressource a été enregistré. Ce qui a entraîné par conséquence la sécheresse ainsi que la salinité des sols (Koubaa, 2019).

La zone aride en Algérie couvre près de 95% du territoire national (Halitim, 2011). Dans ces écosystèmes, marqués par des sécheresses rigoureuses et fréquentes, la salinisation des sols se manifeste comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes (Bouda, 2010; M'barek et *al.*, 2001 ; Jebara et *al.*, 2000).

Pour pallier à ces contraintes environnementales, diverses stratégies peuvent être adoptées, à savoir l'application des techniques de drainage des sels en excès et l'usage de l'arrosage. Cependant, ces méthodes sont très coûteuses et exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels et arroser les terres. De ce fait, l'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les sols. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème des stress abiotiques.

Parmi les espèces choisies, le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), représente une alternative très encourageante pour faire face à ces problèmes (Tapia, 1999). Selon des scientifiques, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) soulignant son efficacité dans la lutte contre la désertification. D'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride où il pourrait même donner des rendements acceptables (ITDAS, 2016).

Introduction Générale

C'est dans ce contexte que nous proposons d'étudier une variété de quinoa de provenance d'Espagne, pour étudier sa tolérance à la salinité et au déficit hydrique durant la phase de germination et au début de sa croissance. La phase de germination constitue une étape primordiale dans l'installation des cultures et sur laquelle repose la réalisation de la croissance précoce des plantes et le mode de déroulement des stades, ultérieures de développement.

Ce mémoire est structuré en plusieurs parties ainsi disposées:

- La première partie, est consacrée à des données bibliographiques concernant le thème du travail, elle est constituée de trois chapitres :
 - Chapitre I: les stress
 - Chapitre II: la plante étudiée
 - chapitre III : la germination.
- La deuxième partie concerne la méthodologie adoptée dans cette expérimentation
- La troisième partie : Dans laquelle nous établissons les résultats obtenus lors de notre travail et leur discussion
- Enfin nous terminons avec une conclusion.



Données Bibliographiques

I. Les stress**1. Définition du stress**

Le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant (Levitt, 1980 in Ben Kaddour, 2014). On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante (Hopkins, 2003). Donc, c'est l'ensemble des conditions qui induisent des changements de processus physiologiques conduisant éventuellement à des dommages, des blessures, l'inhibition de croissance ou de développement (Menacer, 2007).

Il y a deux types de stress : Biotiques (provoqués par les d'autres organismes vivants), abiotiques (provoqués par les excès environnementaux physico-chimiques, comme la sécheresse, la température, la salinité...) (Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Vincent, 2006).

1.1. Stress Salin

La salinité constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi arides ce qui limite fortement les rendements agricoles (Khaless et Baaziz., 2006). Le terme de stress salin s'applique essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans l'eau (Rains., 1972 ; Parida et Das., 2005). Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Flowers *et al.*, 1986; Flowers *et al.*, 1988; Flowers., 2004). Il est accompagné souvent d'une baisse importante du potentiel hydrique (Kinet *et al.*, 1998).

1.2. Stress hydrique

C'est l'un des stress environnementaux, il limite la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.* 2003), il résulte par d'une diminution temporaire de la disponibilité en eau pour les plantes (Chaves et Oliveira 2004). Ce facteur affecte fortement les zones arides et semi-arides caractérisées par des pluies rares et irrégulières et par les températures souvent élevées provoquant l'évaporation de l'eau (Abrol et Ingram, 1997) Un stress hydrique, peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le lien entre la disponibilité et les besoins (Benzala, 2005).

1.3. Stress Thermique

Dans lequel on distingue les basses températures, gélives ou non gélives, et les hautes températures. . La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité, la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

Chaque espèce ou variété de plante possède une température minimale au-dessous de laquelle la croissance est impossible, une température optimale qui représente la température idéale de croissance, une température maximale au-dessus de laquelle la croissance est interrompue et qui peut même entraîner la mort de la plante (Miller., 1993)

L'impact du stress thermique dépend fortement de l'intensité, la durée, et le rythme de changement de température (Wahid et *al.*, 2007). Le statut en eau de la plante est de première importance en cas de changement de température (Simões-Araújo et *al.*, 2003). De plus, de plus fortes températures s'accompagnent souvent d'un stress hydrique, surtout dans les environnements tropicaux et subtropicaux (Machado et *al.*, 2001). La hausse de température peut diminuer le taux de germination des graines, de même qu'entraîner une inhibition de la croissance et la sénescence précoce des feuilles (Zinn et *al.*, 2010). Une diminution de la teneur en eau des feuilles à plus haute température a été observée chez la canne à sucre et la tomate (Morales et *al.*, 2003; Wahid et *al.*, 2007). La perte d'eau à plus haute température se marque plus durant la journée, principalement en raison d'une hausse du taux de transpiration. Le stress thermique peut aussi impacter le nombre, la masse et la croissance des racines, ce qui à terme, peut limiter l'apport en eau et en nutriments aux parties supérieures de la plante (Huang et *al.*, 2012; Wahid et *al.*, 2007).

En réalité les contraintes environnementales subies par la plante associent le plus souvent, plusieurs types de stress la salinité par exemple, comprend des stress ionique (toxicité des ions Na⁺ et Cl⁻) et osmotique ; la sécheresse quant à elle, recouvre souvent à la fois des stress thermiques et hydrique (Belhassen et *al.*, 1995). La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité, la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

2. Effet du stress salin sur la germination

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. La salinité réduit d'une part, la vitesse de germination et d'autre part, sa capacité germinative. Selon Hajlaoui *et al.*, (2007), L'augmentation de la concentration saline jusqu'à une certaine dose, entrave le processus de mobilisation des réserves et diminue la moyenne de la germination journalière. D'après. (Lachhab *et al.*, 2013) l'application d'un stress salin retarde la germination des graines de luzerne à de faibles concentrations, et il l'inhibe complètement à des concentrations plus fortes. Ont montré aussi que la salinité a un effet inhibiteur sur l'activité des protéases qui serait impliquée dans le processus de germination.

La germination des plantes qu'elles soient halophytes ou glycophytes est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (Rjeibi *et al.*, 2015).

3. Effet du stress salin sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina *et al.*, 2000). En effet, les dégâts causés par le stress salin se manifestent communément par des modifications sur le plan morphologique et physiologique (Laribi *et al.*, 2016).

La salinité affecte la croissance des végétaux à travers l'altération de la photosynthèse, l'absorption des éléments nutritifs, la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes, l'équilibre hormonal et la disponibilité en eau (Benkaddour, 2014).

Les racines sont les premiers organes confrontés à l'augmentation du sel, il a été observé que des concentrations importantes de polypeptides appelés osmotines, s'accumulent dans les plantes au niveau des vacuoles de cellules de tabac soumises à des doses élevées de sel (Singh *et al.*, 1987).

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causé par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO₂ (Zhu, 2001; Munns, 2002). Le contrôle et la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des signaux racinaires, comme l'acide Abscisique (Zhang *et al.*, 1989 ; Davis *et al.*, 1994). Par exemple chez le petit pois, le stress salin provoque la perte de l'enveloppe chloroplastique, l'apparition de gouttelettes lipidiques et la dégradation des membranes thylakoïdiennes (Olmos, 1996).

4. Effet du stress hydrique sur germination

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture, et en cas de persistance de sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de levée (Feliachi et *al.*, 2001). La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Au cours de cette phase c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (Ingram et *al.*, 1996) à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldehyde-3-deshydrogenase cytotologique est fortement induit par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de glucose (Velasco et *al.*, 1994).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoi que l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique. Ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurant une protection des macromolécules essentiellement membranaires (Bray et *al.*, 1989).

Le stress hydrique peut impacter négativement la germination et la croissance de la plantule (Farooq et *al.*, 2009). La réduction du potentiel de germination, du poids sec des racines et des tiges, de la longueur de l'hypocotyle, et de la croissance végétative ont déjà été rapportés chez plusieurs plantes cultivées comme *Pisum sativum*, *Medicago sativa*, et *Oryza sativa* (Manickavelu et *al.*, 2006; Okçu, 2005; Zeid et *al.*, 2006). La taille de la plante, l'épaisseur de la tige, le nombre de feuilles et leur taille peuvent aussi diminuer sous stress hydrique (Fahad et *al.*, 2017).

5. Effet de stress hydrique sur la croissance et le développement

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.*, 2003). Le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype.

Les effets physiques, chimiques et physiologiques du stress hydrique dépendent du degré et du temps des conditions de sécheresse en relation avec le stade de développement de la plante (Hamon, 2007). D'autre part, la réponse de la plante à la sécheresse dépend de l'espèce, le génotype, la durée et la sévérité de la perte d'eau (Yokota *et al.*, 2006).

Le stress hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire prend aussi sa place. La répercussion se traduit par ralentissement de la croissance du système racinaire (Benlaribi *et al.*, 1990). Plusieurs études ont montré que, lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (Zerrad *et al.*, 2008 ; Hayak *et al.*, 2000).

6. Comportement des plantes vis-à-vis le stress salin

Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante (Berthomieu *et al.*, 2003). Deux types de comportement ont pour effet d'éviter la saturation en sel : « incluser » et « excluser » sont distingués (Apse et Blumwald, 2007). Les plantes « incluser » résistantes au NaCl, accumulent le Na⁺ dans les feuilles où il est séquestré soit dans la vacuole, l'épiderme foliaire, les limbes âgés... (Apse et Blumwald, 2007 ; Berthomieu *et al.*, 2003).

Les plantes « excluser » sont généralement sensibles à la salinité et sont incapables de contrôler le niveau de Na⁺ dans le cytoplasme (Munns, 2005).

L'ajustement osmotique du cytoplasme, suite à un stress osmotique provoqué par la présence de NaCl dans le milieu extérieure est réalisé par l'accumulation de solutés organiques. Parmi ces composés s'accumulant lors du stress salin, on trouve les acides aminés comme la proline (Hassani *et al.*, 2008); des sucres et leur dérivés alcool (Keller et Ludlow, 1993) et des méthylamines (Weretilnyk *et al.*, 1989).

Il existe trois réponses adaptatives de la plante vis à vis du stress salin :

6.1. Réponses morphologiques

La salinité est connue pour affecter de nombreux aspects des plantes et d'induire de nombreux changements dans leur morphologie. La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées dans le sens de l'économie d'eau ; les caractères liés à cette adaptation sont une cuticule épaisse, des stomates rares (Heller et *al.*, 1998) et des cellules à grandes vacuoles permettant de stocker le Na Cl (Garza Aguirre et *al.*, 2015). Ces adaptations jouent un rôle crucial dans la conservation de l'eau pour la croissance des plantes vivant dans des milieux salins.

6.2. Réponses physiologiques

La tolérance à la contrainte saline est associée à des caractéristiques physiologiques essentielles. En effet, selon (Djerroudi,2017) cette tolérance est basée sur :

- * une utilisation efficace des ions Na⁺ et Cl⁻ dans l'ajustement osmotique.
- * le maintien de la turgescence.
- *une bonne compartimentation vacuolaire de Na⁺ et Cl⁻ au niveau des feuilles.
- *une sélectivité d'absorption.
- *le transport en faveur de Na⁺ malgré l'excès de Cl⁻ dans le milieu de culture).

Pour qu'elles puissent absorber l'eau et continuer leurs fonctions vitales, les halophytes adoptent trois mécanismes essentiels : Compartimentation vacuolaire (C'est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na⁺ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Jabnourne, 2008), Ajustement osmotique (L'ajustement osmotique en réponse aux stress abiotiques est un mécanisme adaptatif des halophytes pour maintenir leur équilibre hydrique (Flowers et Colmer, 2008), et systèmes de défense par les antioxydants (Les plantes possèdent des antioxydants (de nature non enzymatique) de faible masse moléculaire (Ashraf, 2008).

6.3. Réponses génétiques

Les adaptations physiologiques ou métaboliques au stress salin au niveau cellulaire sont les réponses principales soumises à des analyses moléculaires et qui ont conduit à l'identification d'un large nombre de gènes induits par le sel (Shinozaki et *al.*, 1999).

7. Stratégies d'adaptation les plants pour tolérer le déficit hydrique

Les plantes réagissent principalement de 3 manières différentes au stress hydrique : (1) en évitant les périodes où l'eau vient à manquer, (2) en maintenant élevé le potentiel hydrique par différents mécanismes de protection, et (3) en maintenant l'activité métabolique lors des périodes de stress hydrique (Germ *et al.*, 2016).

La tolérance au déficit hydrique est définie comme étant la capacité de la plante à survivre, croître et produire de manière satisfaisante sous conditions limitantes en humidité (Tardieu, 2004). Le maintien de la croissance foliaire et les organes reproducteurs peut permettre la translocation des réserves vers les organes reproducteurs suite la capacité photosynthétique maintenue (Son Diakalia, 2010). Cette réponse de la plante permet l'obtention d'un rendement mais peut également favoriser le risque de la perte totale de rendement. Cette stratégie est favorable en conditions de déficit hydrique modéré (Amigues *et al.*, 2006). La tolérance au déficit hydrique peut donc être considérée comme la capacité d'un génotype à produire un rendement acceptable en conditions de déficit hydrique (Tardieu et Tuberosa, 2010). La première stratégie d'adaptation des plantes à la sécheresse consiste à « éviter » tout déficit hydrique et le deuxième est la capacité à le tolérer. Cette aptitude confère à la plante une meilleure tolérance au déficit hydrique interne (Son Diakalia, 2010).

En réponse au déficit hydrique, les végétaux développent plusieurs stratégies qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. L'adaptation à la sécheresse d'une plante cultivée, se définit comme la capacité de cette dernière à survivre et s'accroître du point de vue physiologique et du point de vue agronomique par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Turner, 1979).

La résistance globale d'une plante à la sécheresse apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques et biochimiques interagissant pour permettre le maintien de la croissance, le développement et de la production (Araus *et al.*, 1993 ; Hsissou, 1994).

7.1. L'esquive

La stratégie la plus utilisée par les sélectionneurs pour identifier les variétés plus tolérantes aux stress est l'esquive par raccourcissement de la durée du cycle (Acevedo et al., 1995). La précocité est la plus souvent associée à une amélioration du rendement et de l'adaptation aux stress conduisant à la régularité de la production (Pfeiffer, 1993). Elle permet à la plante d'accomplir leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. Grâce à la précocité, le rendement a été amélioré chez les espèces annuelles (Tuneur, 2001), les légumineuses (Subbarao, 1995) et chez les céréales (Fukai, 1999). Elle est plus manquée par l'installation d'un déficit hydrique fréquent en fin de cycle. Cependant les sélections de variétés à cycle court ne permettent pas toujours d'améliorer le rendement dans le cas où le déficit hydrique se déclare en cours du cycle de développement (Khafaoui, 1985).

Tuneur et al., en 2000 montrent que la réduction de la variabilité entraînant une réduction de la plasticité, elle est constituée comme une stratégie risquée dans le cas des légumineuses.

7.2. L'évitement

L'évitement est défini comme la capacité d'une plante à supporter une sécheresse en évitant une déshydratation des tissus. Donc le maintien du potentiel hydrique interne satisfaisant en présence de contrainte hydrique (Levitt, 1985 ; Tuneur, 1986). Ce mécanisme se fait selon deux réponses :

La première réponse est l'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress (Hsiao et Acevedo, 1974 ; Passiourra, 1988 ; Adda et al., 2005).

La seconde réponse est constituée par la réduction de surface foliaire, la réduction de l'ouverture et fermeture des stomates (Tuneur, 1977 ; Ludlow et al., 1990), la présence de cire à la surface des feuilles et l'enroulement foliaire (Clarck, 1986).

7.3. Tolérance au stress hydrique

Dans le cas d'abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique. En condition de stress hydrique, il induit au niveau de la plante une baisse du potentiel par l'augmentation de la concentration des solutés intracellulaire d'une manière active (Blum, 1989 ; Galaud et al., 1995 ; Galiba et al 1995).

Il aide dans le maintien de la turgescence cellulaire, qui est la base de la préservation de plusieurs fonctions physiologiques, car elle permet d'empêcher la fermeture des stomates, donc de maintenir la photosynthèse, la transpiration, l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire dont la turgescence est la force motrice (Bamoune, 1997).

L'ajustement osmotique permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques (Santarius, 1967). Par ailleurs, il apparait comme un mécanisme clé dans la tolérance à la déshydratation. Il a été observé chez différentes espèces végétales tel que l'olivier et les arbres fruitiers tel que la vigne (Rodriguez et al., 1993), chez certains légumineuses tel que le soja (Obaton, 1995), tournesol (Korell et al., 1995 ; Nouri, 2003), et le blé (Morgan, 1983 ; Munns, 2005 ; Merah, 1999 ; Jhonson et al., 1984 ; Nouri, 2002).

Les capacités d'ajustement osmotique sont variables chez les plantes et dépendantes de la variété, des modalités d'installation de déficit hydrique et l'âge de la feuille (Rodrigues et al., 1993). De plus, il peut intervenir à tous les stades de développement.

La capacité d'ajustement osmotique d'un végétal est liée à sa capacité d'accumuler au niveau symplasmique certains solutés de manière active (Blum, 1988 ; Korichi, 1994). Les solutés impliqués sont essentiellement des ions inorganiques, des sucres solubles, des acides aminés et organiques (Patakas et Noitsakis, 1999). C'est des composants majeurs de cet ajustement au niveau des feuilles de nombreuses espèces végétales (Morgan, 1984 ; Flores et Galston, 1984 ; Good et Zaplachinski, 1994).

L'adaptation à des milieux aux régimes hydriques et thermiques est associé à l'ajustement osmotique à une plus grande production de biomasse racinaire et à un plus grand transferts des réserves d'assimilés vers le grain en plein croissance sous l'effet de stress (Blum et al., 1991 ; Richards et al., 1997).

II. La plante étudiée**1. Généralité sur le *Chenopodium quinoa* Willd.**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Amaranthaceae, (Herbillon, 2015), originaire des Andes, et plus précisément des alentours du lac Titicaca, entre le Pérou et la Bolivie (Mujica et al., 2001). Elle est actuellement considérée comme une «Pseudocéréale» puisqu'elle appartient à la famille des Chénopodiacées et non à celle des Poacées (Herbillon M., 2015).

Elle est cultivée et consommée depuis des siècles par les populations indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili (Gandarillas, 1979).

Elle est caractérisée par sa bonne valeur nutritionnelle et surtout par sa résistance considérable aux conditions défavorables du climat tel que, la sécheresse, la salinité et au froid et peut être cultivé à haute altitude dans les régions montagneuses (Maradini . et al., 2015; Repo-Carrasco-Valencia. et al, 2009; Valencia., 2004).

Le développement technique du quinoa a été avancé et distribué sur tout le territoire des Incas (Cercam,2014). A la seconde moitié du xxe siècle, le quinoa est devenu un produit alimentaire populaire notamment en Europe et en Amérique du Nord. Le nombre de pays cultivant cette plante a augmenté de 8 en 1980 à 95 en 2015, en plus que le nombre de centres de recherche qui étudient la culture de quinoa et effectuant des expériences a augmenté (Da Cunha Veloso, 2016). Le quinoa est une plante très adaptée aux différents stress abiotiques tel que la sècheresse, le gel...ect (Jacobsen et al., 2003 ; Mujica et al., 2001). Cette plante halophytique a une capacité potentielle importante de croitre sous différentes conditions agro-climatiques dans plusieurs pays du monde (Adolf et al., 2013).



Figure n° 1: Culture de Quinoa en Bolivie (FAO. 2013).

2. Distribution du Quinoa dans le monde et en Algérie :**2.1. Dans le monde**

La plante de quinoa est une pseudo-céréale largement répandue géographiquement. . La faculté d'adaptation de l'espèce est très grande puisqu'elle peut la cultiver depuis le niveau de la mer au Chili, jusqu'à plus de 4000 m d'altitude sur l'Altiplano boliviano-péruvien, sous des climats allant du froid aride jusqu'au tropical humide (Touati., 2018).

-Le quinoa des zones situées au niveau de la mer : Les plantes poussent entre le niveau de la mer et 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le quinoa pousse sous une pluviométrie annuelle allant de 400mm à plus de 1500-2000 mm .Sa longueur est comprise entre 1 et 1,4 mètre, ils sont dépourvus de branches et s'épanouissent pendant les jours les plus longs. Ils ont vendu de petites graines, plates, jaunes, transparentes et riches en saponines (Herbillon., 2015 ; Bazile., 2015).

-Le quinoa des vallées arides et des vallées humides : Les quinoas des vallées inter-andines (entre 2000 et 3500 mètres d'altitudes), souvent considérés comme un groupe à part entière, se divisent pourtant entre les quinoas des vallées arides, et ceux des vallées humides. Ils sont adaptés à des températures comprises en 10 et 18°C et ne résistent pas au gel. La plupart sont ramifiées et produisent des grains de petite taille, contenant peu de saponines (Herbillon., 2015 ; Bazile., 2015).

-Le quinoa des zones tropicales : Les quinoas yungas (et les vallées forestières) en Bolivie poussent dans des conditions subtropicales à des altitudes comprises entre 1500 et 2000 mètres. Leur adaptation aux climats subtropicaux leur permet de tolérer de fortes précipitations mais aussi de fortes chaleurs. À maturité, les plantes ont une tige orange distincte, les graines sont petites, blanches ou oranges (Herbillon., 2015 ; Bazile., 2015).

-Le quinoa des « Salares » : Quinoa de «salares» est distribué dans le nord du Chili et du sud de la Bolivie, avec des altitudes supérieures à 3 000 m, les précipitations fluctuant entre 100 et 200 mm. Les plantes peuvent résister à des conditions extrêmes. Les graines de ces quinoas sont grosses avec une haute teneur en saponines (Enrique et *al.*, 2015 ; Herbillon., 2015).

-Le quinoa des hauts plateaux : Il provient des régions montagneuses autour du Lac Titicaca où les conditions de culture sont variables. Les précipitations faibles (400 à 600 mm par an) et de températures favorables aux abords du Lac Titicaca, d'où sont originaires les variétés, les plantes sont de petite taille (entre 0,5 et 1,5 mètre de hauteur) avec des tiges droites et présentent une courte période de croissance (Herbillon., 2015 ; Bazile., 2015).



Figure n°2 : Carte de distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud (www.researchgate.net).

2.2. En Algérie

D'après la **FAO (2016)** l'introduction de la culture du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement. Selon des scientifiques, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrême (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) soulignant son efficacité dans la lutte contre la désertification d'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride où il pourrait même donner des rendements acceptables , et Algeria était le premier cultivar recommandé pour le sol du cerrado brésilien (Sephah, 2003).

Une convention a été signée entre la FAO et l'Algérie dans le cadre du projet (TCP/RAB/3403) intitulé: Assistance technique pour l'introduction du quinoa et appropriation / institutionnalisation de sa production en Algérie, Egypte, Irak, Iran, Liban, Mauritanie, Soudan, et Yémen).

Les essais d'introduction du quinoa sont effectués au niveau des stations expérimentales des institutions de recherche et développement du secteur de l'agriculture, en vue d'étudier son comportement et ses potentiels de production dans différentes zones agro-écologiques. Selon ITDAS (2017), l'introduction du quinoa en Algérie se fait en 2014, elle est cultivée à titre expérimental dans huit sites de quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologique ; ITDAS, (Biskra et El-oued), INRAA, (Adrar et Ghilizane), ITGC, (Sétif, Tiaret et Guelma) et INRF (Alger).

L'intérêt de cette plante pour l'Algérie réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, gel). Elle pourrait être, de ce fait, utilisée dans la lutte contre la désertification d'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride ou elle peut donner des rendements acceptables à 100 millimètres de pluviométries (ITDAS, 2015).

3. Description botanique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) appartient aux dicotylédones herbacées, autogames, annuelles, elle peut atteindre une hauteur jusqu'à 3 m. Il est considéré comme une pseudo-céréale (Carmen Del et al, 2008; Gordillo-Bastidas et al., 2016).

3.1. Appareil végétatif: Comprend les organes suivant :

3.1.1. Les racines: Le système racinaire bien développé et fortement ramifié qui protège le quinoa contre les stress et donne une bonne stabilité (Bhargava et al., 2006). , et la croissance de la partie racinaire est en rapport étroit avec celle de la partie aérienne, (Carmen Del et al., 2008; Herbillon., 2015).

3.1.2. La tige: Elle est cylindrique, son diamètre varie entre 3 et 5 cm et sa hauteur entre 50 cm et 3 m, selon les variétés et les conditions de culture. Elle peut être unique ou bien présenter de nombreuses ramifications (Herbillon., 2015). Elle contient une moelle de texture tendre chez les jeunes plantes, devenant spongieuse et creuse à maturité, avec une écorce ferme et compacte. La couleur de la tige est également très variable. Elle peut être blanche ou jaune ou marron clair à rouge. (Gordillo-Bastidas et al., 2016).

3.1.3. Les ramifications: Les branches sortent de l'aisselle de chaque feuille sur la tige. Leur longueur varie selon la variété et les conditions environnementales (Herbillon., 2015).

Selon le développement de la ramification, on trouve: des génotypes très ramifiés, et parfois même à partir de la base tandis que d'autre présentent une tige unique (Carmen Del et al., 2008).

3.1.4. Les feuilles : Les feuilles présentent un polymorphisme, les feuilles inférieures sont grandes, rhomboïdales ou triangulaires ; tandis que les feuilles supérieures sont petites, lancéolées ou triangulaires. La couleur des feuilles varie selon les génotypes, elles sont généralement vertes lorsqu'elles sont jeunes puis elles virent au jaune, rouge ou violet. Elles présentent des adaptations morphologiques variées qui les aident à résister à la sécheresse pendant la croissance, parmi lesquelles une cuticule cireuse et des stomates protégés par un épiderme épaissi (Herbillon., 2015).

3.2. Les organes floraux

3.2.1. Les panicules: Les fleurs disposées en inflorescences appelés panicules, qui mesurent de 5 à 30 cm de diamètre et de 15 à 70 cm de longueur. La panicule est constituée de petites fleurs produisant une graine par fleur (Yazar et *al.*, 2014; Bhargava et *al.*, 2006). Il y'a deux types des panicules chez le quinoa :

*Panicule glomérulaire: les glomérules (courtes ramifications portant un groupe de fleurs) sont insérés sur les axes tertiaires prenant naissance à partir des axes secondaires.

*Panicule amaranthiforme: les glomérules sont directement insérés sur des axes secondaires.

3.2.2. Les fleurs: Les fleurs sont incomplètes, ils n'ont pas de pétales (apétales), très petites (3 mm au maximum). Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs hermaphrodites et de fleurs femelles unisexuées, les hermaphrodites localisées à l'extrémité proximale, sont constituées d'un périgone sépaloïdes (cinq sépales), d'un gynécée (ou pistil) avec un ovaire ellipsoïdal et deux ou trois stigmates entourées par l'androcée, lui-même composé de cinq étamines recourbées et courtes, tandis que la fleur femelle se compose seulement d'un périgone et d'un gynécée (Herbillon., 2015; Bhargava et *al.*, 2006)..

3.2.3. Les graines : Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, à savoir de l'extérieur vers l'intérieur: périgone, péricarpe et épisperme. Chaque fruit contient une seule graine qui pouvant atteindre jusqu'à 2,66 mm de diamètre selon la variété. Le péricarpe contient de la saponine qui donne le goût amer caractéristique du quinoa, chez certaines variétés (formes cultivées), la saponine est séparée facilement, tandis que dans d'autres (formes sauvages), elle reste difficile à éliminer (Valencia-Chamorro ., 2004; Carmen Del. et *al.*, 2008). Les couleurs des graines sont variables du blanc, jaune, rouge au noir, selon les variétés (Yazar et *al.*, 2014). Il existe quatre formes de graines: conique, cylindrique, ellipsoïdale et lenticulaire (Bioversity International et FAO., 2013).

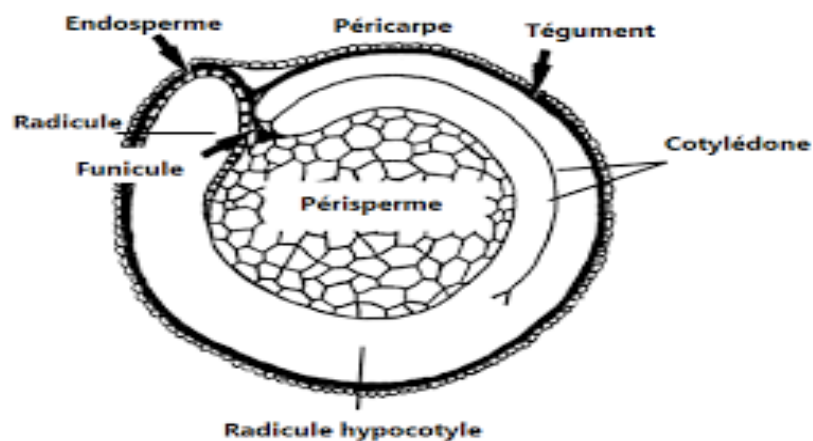


Figure n°3 : Structure la graine de *C. quinoa* (FAO, 2015).

4. La systématique du quinoa :

Classification botanique de Cronquist (1981)

- Règne Plantae
- Sous-embr. Tracheobionta
- Division Magnoliophyta
- Classe Magnoliopsida
- Sous-classe Caryophyllidae
- Ordre Caryophyllales
- Famille Chenopodiaceae
- Genre *Chenopodium*
- Nom binominal : *Chenopodium quinoa* Willd., (1798)

Mais la classification phylogénétique APG III (Angiosperms Phylogeny Group) en 2009, a classé cette espèce sous la famille des Amaranthaceae.

5. Etapes phénologiques du quinoa

Différents auteurs ont proposé des échelles pour décrire le développement phénologique du quinoa. (Espindola., 1992) distingue 9 étapes morpho-anatomiques pour le quinoa, qui sont : 1 : étape d'émergence, 2 : étape cotylédonaire, 3 : étape de quatre feuilles vraies, 4 : étape de six feuilles vraies, 5 : ramification, 6 : début de la panicule, 7 : panicule, 8 : début de la floraison, 9 : plein floraison, 10 : stade laiteux, 11 : stade pâteux, 12 : maturité physiologique.

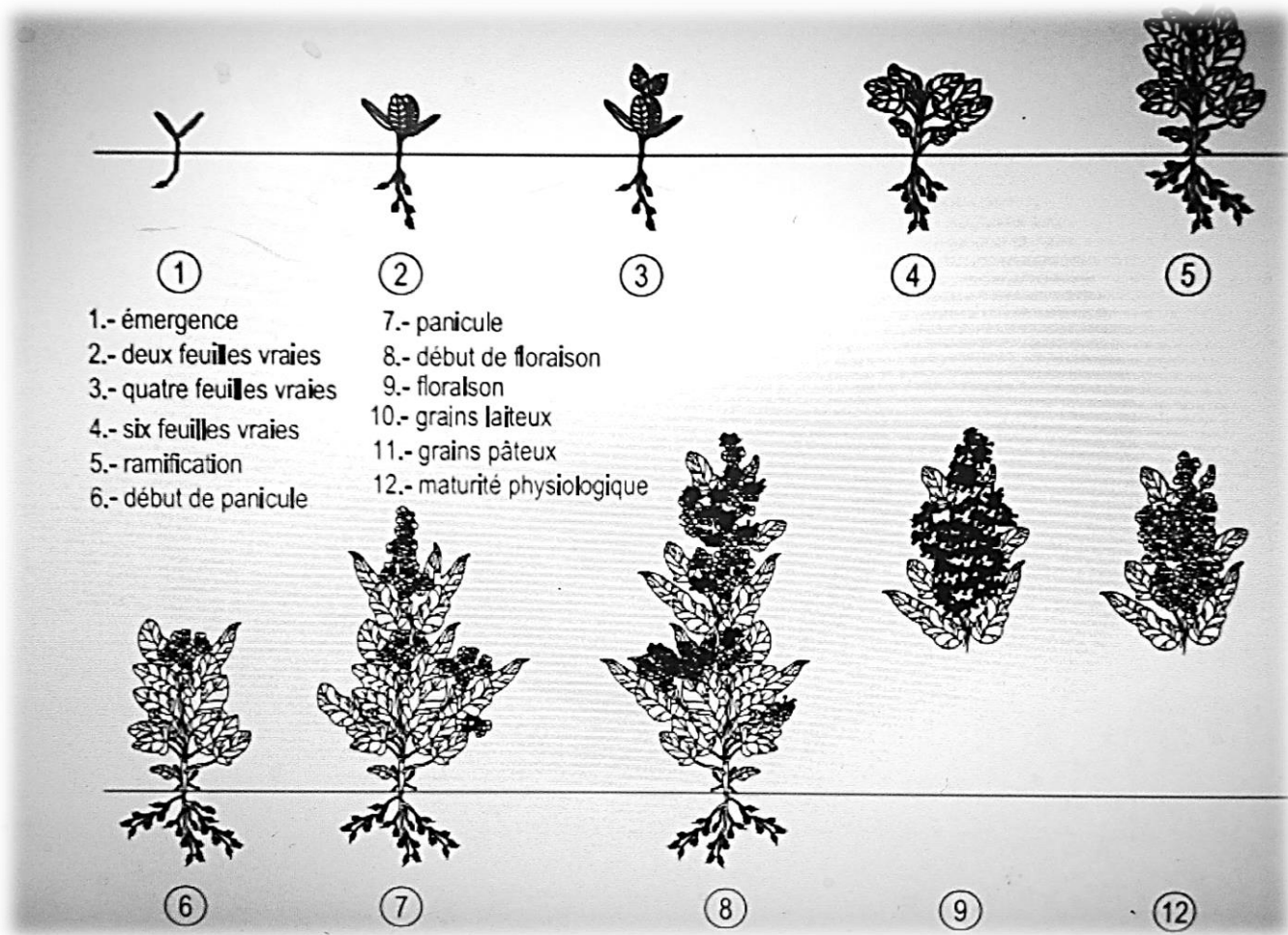


Figure n° 4 : Phases de développement du quinoa

6. Valeurs alimentaires du Quinoa :

Le quinoa a un potentiel nutritif important. Elle se caractérise par une teneur élevée en protéines : 14 à 21%, contre 7 à 12% chez la plupart des autres céréales (blé, riz, maïs, orge, etc.) (Bhargava *et al.*, 2006, Ayala *et al.*, 2001), son principal intérêt nutritif réside dans sa composition équilibrée et complète en acides aminés essentiels (la lysine fait généralement défaut dans les autres céréales), comparable à celle du lait et supérieure à celle du blé et d'autres céréales (Chauhan *et al.*, 1992 ; Koziol, 1992 ; Nega *et al.*, 2007). elle offre un contenu en minéraux très supérieur à celui des céréales classiques, en particulier en phosphore, magnésium, potassium et fer (SanMartin *et al.*, 2007), des études récentes indiquent que la quinoa est une excellente source de vitamines, d'antioxydants et d'acides gras (Dini., 2004 ; Nega *et al.*, 2007). Par ailleurs, le quinoa ne contient pas de gluten (recommandé pour les gens qui souffrent de la maladie coeliaque) et comparé à d'autres céréales, il a un contenu relativement élevé en huile. (Ward, 2000), les saponines sont devenues un sous-produit recherché par l'industrie cosmétique et des perspectives existent aussi pour les utiliser comme pesticides naturels (San Martin *et al.*, 2007). La particularité du quinoa tient au fait qu'il s'agit d'une graine consommée comme une céréale. En général, cet aliment est cuit et ajouté à des soupes ou bien réduit en une farine qui sert à préparer du pain, des boissons et de la bouillie (San Martin *et al.*, 2007). Du point de vue nutritionnel, le quinoa apporte autant d'énergie que les aliments utilisés de façon similaire, comme les haricots, le riz, le maïs ou le blé. Il est en outre une source importante de protéines de qualité, de fibres alimentaires, d'acides gras et de sels minéraux (San Martin *et al.*, 2007). Toutefois, il convient de l'intégrer à un repas équilibré comportant de nombreux autres types d'aliments afin de se nourrir convenablement. (Galwey, 1993).

Tableau 1 : Les teneurs en macronutriments, du quinoa

| Produits | Valeurs |
|----------------------------------|----------------|
| Energie (Kcal/100 g) | 399 |
| Protéines (g/100 g) | 16.5 |
| Lipides (g/100 g) | 6.3 |
| Glucides totaux (g/100 g) | 69.0 |

7. Utilisations

Les principales utilisations connues du quinoa touchent l'Homme et l'animal :

- **Alimentation humaine** : On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche), (Montoya et *al.*, 2005).
- **Utilisations thérapeutiques** : Les feuilles, les tiges et les graines de quinoa sont traditionnellement utilisées à des fins médicales par les peuples autochtones des Andes en raison de leurs propriétés cicatrisantes (Montoya et *al.*, 2005), anti-inflammatoires, analgésiques (mal de dents) et désinfectantes des voies urinaires. Elles servent également dans le traitement des fractures, des hémorragies internes et comme insectifuge. (Montoya et *al.*, 2005).
- **Alimentation animale** : La plante entière sert de fourrage vert. Les résidus de récolte servent également dans l'alimentation des bovins, ovins, chevaux et volailles. (Montoya et *al.*, 2005).
- **Utilisations comme produit nutraceutique** : Un concentré protéique de quinoa de qualité alimentaire ou pharmaceutique peut être utilisé comme ingrédient dans les compléments nutritionnels destinés à l'alimentation humaine ou animale. (Montoya et *al.*, 2005).
- **Utilisations pharmaceutiques** : Les saponines extraites des variétés de quinoa amères ont des propriétés pouvant modifier la perméabilité de l'intestin et faciliter l'absorption de certains médicaments. (Montoya et *al.*, 2005).
- **Utilisations industrielles** : L'amidon de quinoa a une excellente stabilité dans des conditions de gel-dégel et pourrait servir d'alternative aux amidons chimiquement modifiés (Ahamed et *al.*, 1998).

8. Propriétés pharmacologiques et nutrition

Outre leur intérêt nutritionnel, les graines de quinoa offrent une large gamme de composés chimiques dont les propriétés thérapeutiques sont activement étudiées depuis quelques années. En effet, le milieu scientifique prend conscience de la valeur du quinoa dans la problématique de la santé humaine et évalue son potentiel en tant que ressource pour le développement d'« aliments fonctionnels » (Herbillon., 2015).

1. Propriétés pharmacologiques : concerne les points suivants

- Activité anti-inflammatoire grâce à l'acide 3-O-b-D-glucopyranosyl oléanolique (Ma et *al.*, 1989).
- Activité anti-oxydante : grâce les substances suivantes, tocophérols, caroténoïdes, acides phénoliques, flavonoïdes, bétalaïnes, et les saponines (Herbillon., 2015).
- Activité anti-ulcéreuse : grâce à un petit groupe de polysaccharides, à savoir l'arabinane et les polysaccharides pectiques riches en arabinane (Herbillon., 2015).
- Effet sur l'absorption des médicaments : des études concernent les saponines du quinoa, qui montrent ses dernières ont un potentiel pour agir comme adjuvants pour les vaccins administrés par voie muqueuse. Les saponines extraites de la graine de quinoa ont été étudiées pour leur capacité à agir comme adjuvants muqueux lors de leur administration par voie intragastrique ou intranasale avec des antigènes modèles chez la souris (Herbillon., 2015).
- Activité molluscicide : Les saponines monodesmosidiques du quinoa ont montré qu'elles étaient à l'origine d'une action molluscicide. Un produit élaboré à partir des coques des graines de quinoa a été développé et testé sur *Pomacea canaliculata*, un escargot d'eau douce ravageur et affectant gravement les cultures de riz dans de nombreux pays asiatiques (San Martín et *al.*, 2008).
- Activité antifongique : Les saponines du quinoa présentent une activité antifongique importante puisqu'elles inhibent la croissance de *Candida albicans* à 50 µg/mL. Cet effet a été observé avec un mélange brut de saponines, tandis que les saponines individuelles pures ont montré peu ou pas d'activité, ce qui suggère un effet synergique (Woldemichael et Wink., 2001).

2. Nutrition : concerne :

- Gluten-free : Certaines protéines de la famille des prolamines se retrouvent dans de nombreuses céréales comme le blé, le seigle ou l'orge. Ce sont ces protéines qui sont considérées comme toxiques pour les personnes atteintes de la maladie coeliaque. Nous avons vu que les protéines du quinoa ne contiennent pas, ou très peu, de prolamines. , le quinoa est aujourd'hui considéré comme une pseudocéréale sans gluten (Herbillon., 2015).
- Effet bénéfique sur le système cardiovasculaire : Les graines de quinoa présentent des propriétés sur le système cardio-vasculaire. Elles les doivent principalement à leur teneur en acides gras insaturés et en phytostérols qui ont un effet bénéfique sur le cholestérol, un facteur de risque connu des maladies cardiovasculaires (Herbillon., 2015).

- Effet antidiabétique et anti-obésité : Les phytoecdystéroïdes, et en particulier la 20-hydroxyecdysone (20-HE), jouent un rôle certain dans le traitement et la prévention du diabète et de l'obésité. L'effet anti-obésité des ecdystéroïdes du quinoa est l'activité la plus étudiée parmi tous leurs effets potentiels sur la santé humaine. La supplémentation d'un régime alimentaire riche en matières grasses avec un extrait de quinoa enrichi en 20-HE ou en 20-HE pur chez des souris entraîne une réduction de l'accumulation de graisse et une diminution de la taille moyenne des adipocytes (Foucault et *al.*, 2008 ; Kizelsztejn et *al.*, 2009).
- Fibres alimentaires : Les graines de quinoa présentent un pourcentage élevé de fibres alimentaires, réputées pour leurs nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine, les principaux concernant la fonction intestinale (Herbillon., 2015).

III. La germination :**1. Définition de la germination**

La germination est la première étape du cycle de vie d'une plante. C'est un phénomène complexe dans lequel les graines sèches mûres passent d'un état de vie ralentie, où le métabolisme est pratiquement arrêté à un état d'activité métabolique intense (Maciejewski., 1991 ; Nadeem., 2011). La germination comprend les événements qui commencent avec l'absorption d'eau par une graine sèche au repos et se terminent par l'allongement de l'axe embryonnaire (Bewley., 1997)

D'après Miller (2001), il existe deux types de germination basé sur le destin des cotylédons, selon que les cotylédons se développent au-dessus de la surface du sol ou restent sous la surface du sol. Le terme épigé désigne le type de germination lorsque les cotylédons sont remontés au-dessus de la surface du sol par hypocotyle où ils continuent de fournir un soutien nutritif aux points de croissance jusqu'à l'épuisement des réserves des cotylédons. La germination épigée est considérée sur le plan de l'évolution plus primitive que la germination hypogée ; par contre, la germination hypogée est une caractéristique de certaines semences, où les cotylédons sont restés sous la surface du sol et soutenaient les plantules (Miller., 2001).

2. Etapes de la germination

Le processus germinatif met en jeu des phénomènes morphologiques et physiologiques qui s'opèrent en trois phases :

Phase I : C'est la phase d'imbibition, est une entrée rapide et passive d'eau, elle se déroule même si la graine n'est pas viable et qui voit la graine augmenter de volume. Cette entrée d'eau est accompagnée d'importante respiration, l'augmentation de la consommation d'oxygène attribuée à l'activation des enzymes mitochondriales pour oxyder les réserves de toute nature en vue d'acquérir l'énergie nécessaire à l'émergence radicaire (Michel., 1997).

Phase II : phase de germination au sens strict (de durée très variable, elle est de quelques jours à quelques mois) caractérisée par une diminution de l'entrée d'eau (l'hydratation des tissus et des enzymes est totale) et une consommation d'oxygène stable. La présence d'eau et d'oxygène permet l'activation des processus respiratoires et mitotiques (François et *al.*, 2009).

L'eau rend mobile et active les phytohormones hydrosolubles en stock dans la graine. C'est le cas des gibbérellines qui sont véhiculées vers la couche à aleurones où elles vont activer la synthèse d'hydrolases (les α -amylases, les nucléases ou les protéases) nécessaires à la dégradation des réserves, à la division et l'élongation cellulaire (François et *al.*, 2009).

La graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et se recourbe et s'implante dans le milieu (sol) selon un géotropisme (gravi-tropisme) positif. Puis, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut (le ciel). Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (Meyer et *al.*, 2004)

Phase III : Phase de croissance post-germinative (dure quelques jours), correspond à l'installation et au développement de la plantule. Cette phase est caractérisée par une nouvelle prise de l'absorption d'eau et une augmentation importante de la respiration. La consommation de l'oxygène serait due aux enzymes néo synthétisées (François et *al.*, 2009).

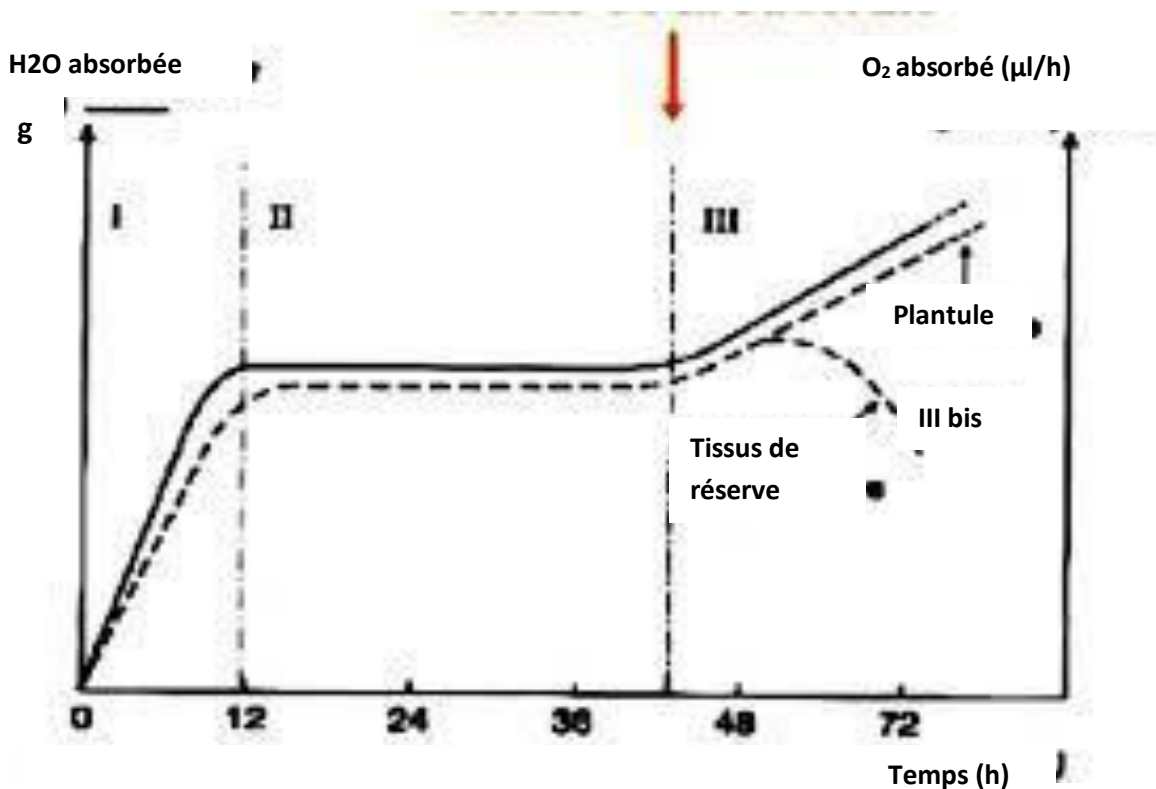


Figure n°5 : Evaluation de l'absorption d'eau et de la consommation d'oxygène par un lot de semences (puis de plantules, phase III).

3. Facteurs de germination :**3.1. Les conditions internes :**

Concernent la graine elle-même, qu'elle doit avoir atteint sa maturité morphologique et atteint sa maturité physiologique (l'embryon de la graine est prêt à croître pour former les radicules et plantules de la jeune plante) (Heller et *al.*, 2000). Une graine viable est qualifiée dormante lorsqu'elle ne germe pas dans des conditions environnementales à priori favorables (Baskin et Baskin., 2001), les différents types de dormance :

- Dormance morphologique, qui est caractérisée par la présence d'un embryon immature.
- Dormance physiologique, ce type de dormance est associé à la présence d'une inhibition physiologique (un ratio ABA/GA3 élevé) empêchant l'émergence radiculaire.
- Dormance physique, cette forme de dormance est induite par la présence d'un tégument qui imperméabilise la graine vis-à-vis du monde extérieur. L'embryon ne peut ni être hydraté ni avoir les ressources en oxygène nécessaires à la germination.

3.2. Condition externes :

La germination ne peut avoir lieu que si l'eau, la température, l'oxygène, et lumière sont assurées. On a :

3.2.1. Eau : est évidemment indispensable et doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante. L'eau dissout l'oxygène et lui permet d'atteindre l'embryon (Chaux et Foury., 2004). L'absorption de l'eau par la semence s'effectue par osmose, au travers du tégument qui, lui-même, plus au moins cellulosique, en retient des quantités importantes (Diehl., 1975).

3.2.2. Oxygène : seul l'oxygène dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ces besoins métaboliques. Ce gaz étant très peu soluble dans l'eau. La germination engage de nombreuses oxydations; Les semences germent dans l'eau courante seulement (Diehl., 1975).

3.2.3. Température : Il existe pour chaque plante et chaque phase de végétation des températures minima, optima et maxima (Diehl., 1975 ; Gate et Giban., 2003).

3.2.3. Lumière : Elle agit de manière différente sur les espèces, elle inhibe la germination des graines à photosensibilité négative et stimule celles à photosensibilité positive (Anzala., 2006) les espèces indifférentes à la photosensibilité sont rares (Heller et *al.*, 1990).



Matériel et Méthodes

I. Matériel et méthodes**1. Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé lors de cette expérimentation consiste en des graines de quinoa «*Chenopodium quinoa Willd* », Quinoa variété blanche, commercialisées et conditionnées dans des emballages, achetées en Novembre 2021. L'origine du produit est l'Espagne.

Notre travail consiste à l'étude des effets des stress salin (NaCl) et hydrique sur la germination des graines et les paramètres de croissance au stade juvénile.

La première partie est réalisée aux laboratoires de protection des végétaux et de physiologie végétale, la deuxième partie est réalisée dans une serre semi-automatique à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université IBN KHALDOUN de Tiaret.

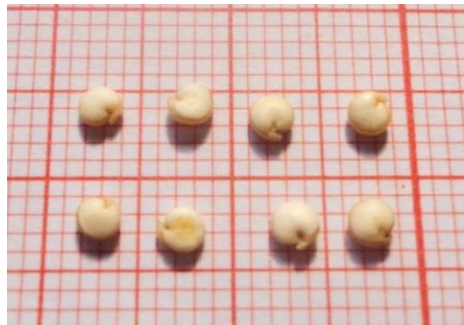


Photo n°6 : Graines de *Chenopodium quinoa* Willd.

Original Aoudj et Boubekeur (2022)

2. Généralités sur le climat de la région de Tiaret

Le climat de la wilaya Tiaret est de type semi-aride, en effet, le régime pluviométrique est caractérisé par une irrégularité interannuelle et saisonnière (pluie en hiver, sécheresse en été), avec des précipitations moyennes annuelles estimées à 475,1 mm

La majorité des précipitations se concentre entre Novembre et Mars avec une grande variabilité intra annuelle ; les régimes thermiques sont relativement contrastés de type continental avec une saison estivale alternant avec une saison hivernale pluvieuse (Achir , 2009).

3. Préparation des graines pour les tests de germination

Les graines mises à germer sont disposées dans les boîtes de pétries stériles de 9 cm de diamètre garnies de trois couches de papier filtre à raison de 25 graines par boîte.

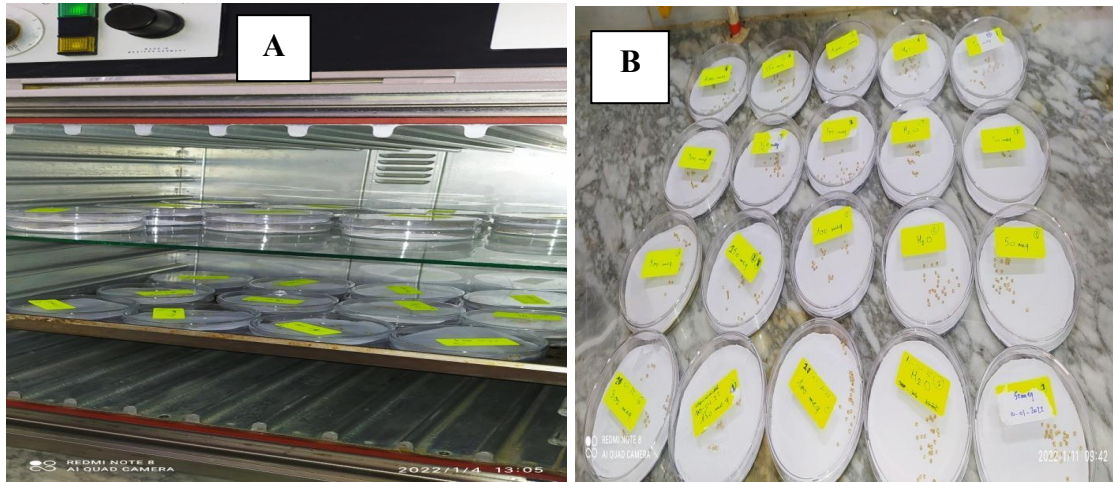


Figure n°7: Graines de Quinoa mises à germer : (A) dans l'étuve, (B) dans les boîtes de Pétri.

4. Tests de germination

➤ Protocole expérimental :

Pour chaque traitement 100 graines sont utilisées, disposées dans les boîtes de Pétri (fig. 7 A-B). Chaque boîte contient 25 graines. Les graines de chaque boîte de Pétri sont imbibées avec 5 ml d'eau distillée pour les lots témoins ainsi que les graines traitées au stress salin. Le même volume des différentes solutions salines est appliqué pour les graines. Egalement la même quantité des différentes solutions de PEG 6000 est utilisée pour imbiber les graines pour le stress hydrique. L'opération d'imbibition est refaite au besoin. Le comptage des graines germées est effectué régulièrement chaque 24h. Cette opération a duré quinze jours.

➤ Les tests de germination des graines de quinoa soumises au stress salin

Les solutions salines utilisées dans ce travail sont préparées à base d'eau distillée et de NaCl. Les essais de germination comportent trois traitements salins, les concentrations choisies sont 50 meq, 150 meq, et 300 meq, en plus du lot témoin imbibé à l'eau distillée.

Tableau 2 : Les concentrations salines utilisées

| Concentration en NaCl en meq | NaCl en g/l |
|------------------------------|-------------|
| 50 | 2,92 |
| 150 | 8,76 |
| 300 | 17,53 |

➤ **Les tests de germination des graines de quinoa soumises au stress hydrique**

Le stress hydrique est induit par le PEG 6000.

-Définition du PEG

Le PEG est un polymère non ionique hydrosoluble non perméable pour les cellules. Il est utilisé pour induire un déficit hydrique car il réduit la disponibilité en eau sans causer de dommages physiologiques (Romo et *al.*, 2001)

Tableau 03 : caractéristiques du PEG6000.

| Spécifications | PEG6000 |
|-------------------|--------------|
| Aspect | Solide blanc |
| Poids moléculaire | 5400-6600 |
| PH | 5-7 |
| Point de fusion | 57±2 |
| Viscosité | 12.0-16.0 |

-Préparation des solutions de PEG 6000 :

Pour créer un traitement hydrique nous avons utilisé des solutions de PEG 6000 aux concentrations suivantes : 4g/l, 8g/l, et 24g/l.

- Les tests de germination ont été menés dans une étuve au laboratoire à 25°C.
- Les graines germées sont quotidiennement observées, comptées et enregistrées.

II- Méthodes**1-Estimation du taux final de germination**

Sur la base du nombre total des graines utilisées (Nt), nous calculons le pourcentage des graines en germination (Ni) selon la relation :

$$Tg = Ni \times 100 / Nt$$

(Tg : Taux de germination)

2-Précocité de la germination

En général, chaque espèce dispose d'une précocité de germination spécifique à sa nature, car même placée dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la radicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines (Renard et *al*, 1975). Ce paramètre est déterminé lorsque nous observons les premières graines germées. Dans ce cas, la précocité de la germination est exprimée par le taux des premières graines germées correspondant à l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées (Belkhodja, 1996).

3-Vitesse de germination

Elle caractérise la variation dans le temps des taux de germination dès l'apparition de la première pointe de la radicule d'une des graines jusqu'à la stabilité de la germination. Elle peut s'exprimer par :

- ✓ Le taux de germination obtenu à un moment donné.
- ✓ Le temps nécessaire à l'obtention de 50% de germination.
- ✓ Le coefficient de vélocité (Cv) proposé par Kotowski (1926), avec un temps moyen de germination (Tm).

$$Cv = (N1 + N2 + N3 + \dots + Nn / N1T1 + N2T2 + N3T3 + \dots + NnTn) \times 100$$

$$Tm = N1T1 + N2T2 + N3T3 + \dots + NnTn / N1 + N2 + N3 + \dots + Nn$$

N1 : Nombre de graines germées au temps T1

N2 : Nombre de graines germées au temps T2

N3 : Nombre de graines germées au temps T3

Nn : Nombre de graines germées au temps Tn

Timpson (1965) a proposé de calculer la vitesse de germination par la somme des pourcentages partiels obtenus.

$$Z_n = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n$$

$N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ représentent les pourcentages de graines germées après 1 jour, 2 jours, 3 jours,, n jours.

Nous avons retenu le temps nécessaire pour obtenir 50% de graines germées parmi les graines qui ont accompli leur germination.

4. Réversibilité de l'action du stress

Ce paramètre a l'avantage de déterminer l'origine de l'effet dépressif du sel, s'il est de nature osmotique et/ou toxique. Aussi concernant le déficit hydrique, nous tentons d'estimer s'il y a reprise de germination lors du retour aux conditions normales. Ainsi, les graines sont mises à germer en présence de différentes concentrations de NaCl et de PEG 6000 pendant 6 jours. Dans notre travail nous avons retenu les concentrations suivantes concernant le NaCl: 150 meq ; 300 meq et 600 meq. Pour les graines soumises au traitement hydrique nous avons retenu la concentration 24 g/L et 35 g/L. Au 6^{ème} jour, les graines non germées sont rincées trois fois puis transférées dans d'autres boîtes de Pétri contenant de l'eau distillée pendant quatre jours supplémentaires. Après ce temps écoulé nous comptons les graines qui ont germé. Il est à noter que le mode opératoire au niveau de ces tests est le même que les tests de germination précédent (Hajlaoui et *al.*, 2007 ; Alaoui et *al.*, 2013).

5. Mobilisation des réserves au cours de la germination

C'est une étape essentielle dans la mesure où elle permet de soutenir la croissance de la plantule pendant les premiers stades de son développement. La sensibilité de cette phase aux stress salin et hydrique est estimée par la quantité de matière sèche résiduelle du grain après 8 jours de germination (N'Diri, 2013).

Pour la formule : on a

P1 : le poids initial de 500 graines.

P2 : le poids des graines après la germination après séchage.

Alors ; $P_m = P_1 - P_2$.

III. Conduite de l'essai en serre

L'essai a été conduit dans des gobelets dans une serre semi contrôlée située au niveau de la Faculté des sciences de la nature et de la vie « Université Ibn Khaldoun Tiaret » à température ambiante.

1. Préparation des gobelets

Les gobelets sont tapissés au fond de gravier très fin pour assurer le drainage suivi par un remplissage d'un substrat constitué d'un mélange de sable et de terreau, dans les proportions suivantes : 1V/ 2V. Les graines sont directement mises dans ces derniers. Les apports en eau sont effectués deux fois par semaine, à la capacité au champ en alternance avec des solutions enrichies de la solution nutritive commercialisée après l'apparition des jeunes plants. Cette opération a duré 15 jours.

Ces apports en eau sont réalisés après avoir réalisé des pesées des pots avec substrat et plants et cela pour compenser les pertes en eau. Les solutions salines d'arrosage sont préparées aux concentrations suivantes : 50, 150, 300 et 600 meq de NaCl. Le stress hydrique est réalisé en utilisant du PEG 6000 (poly éthylène glycol 6000) aux concentrations suivantes : 4, 8 et 24 g/l. Les gobelets contenant les jeunes plants sont disposés en blocs de traitements séparés. Il est à noter que pour chaque traitement le nombre de répétitions est de trois (3) et les jeunes plants témoins sont arrosés à la solution nutritive.

2. Techniques d'analyse

Durant cette expérimentation nous avons tenté d'évaluer le comportement des jeunes plants de *Chenopodium quinoa* Willd. sous le stress salin et hydrique, les paramètres retenus sont d'ordre morphologique au niveau de la partie aérienne caulinaires et souterraine.

2.1. La partie caulinaires

La mesure effectuée sur la partie aérienne caulinaires concerne, la longueur de la tige.

2.2. La partie souterraine

Les racines sont l'emplacement primaire de la perception des dommages pour plusieurs stress (Jiang et Deyholos, 2006). Dans le but d'observer le développement racinaire des plantes traitées, nous avons opéré comme suit :

Les gobelets sont soigneusement vidés de leur contenu, les racines sont dégagées des particules de substrats à l'aide d'un jet d'eau, puis séchées de l'excès d'eau avec un papier absorbant. Les mesures ont porté sur la longueur des racines (LR), elle s'effectue avec une règle graduée (cm) en partant du collet.

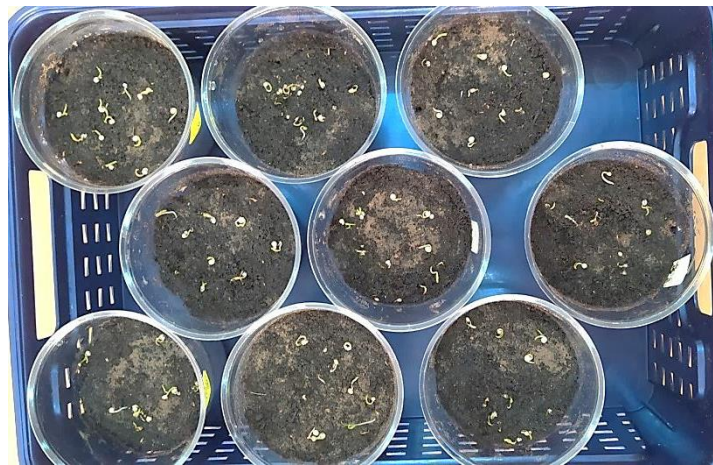


Figure n°8 : Début de croissance des jeunes plants de *Chenopodium quinoa* Willd.

Analyse statistique

Pour tous les tests réalisés, chaque résultat correspond à la moyenne de répétitions. Pour les tests de germination nous avons utilisé quatre répétitions, pour les tests morphologiques nous avons procédé à trois répétitions. L'analyse de variance est effectuée par la comparaison des moyennes, le test est basé sur la plus petite différence significative au seuil de 5 % de probabilité d'erreur à l'aide du logiciel SPSS.



Résultats et Discussion

I. Résultats

1. Sous stress salin

1.1. Taux final de germination

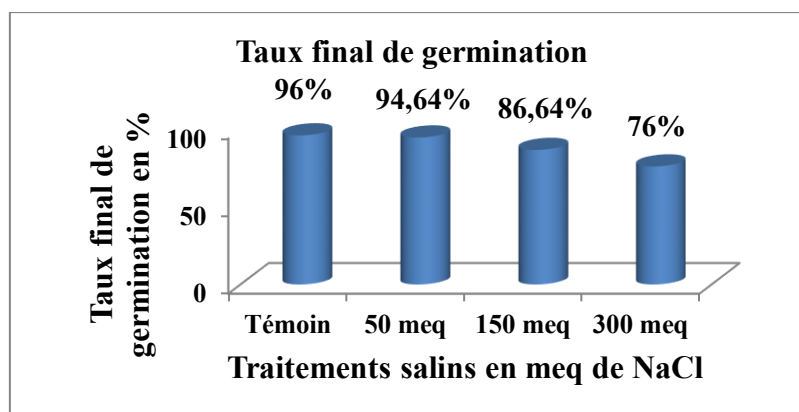


Figure n°9 : Variation des taux finaux de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au NaCl.

La figure 09 qui représentent les variations des taux finaux de germination des graines de quinoa sous stress salin, montre clairement une réduction de ce paramètre avec l'intensification des concentrations salines. En effet, les graines imbibées à l'eau distillée affichent un taux de 96% de graines germées. Les graines imbibées à 50,150 et 300 meq de NaCl, révèlent respectivement les résultats suivants : 94,64 ; 86,64 et 76 % de graines germées.

1.2. Délai de germination

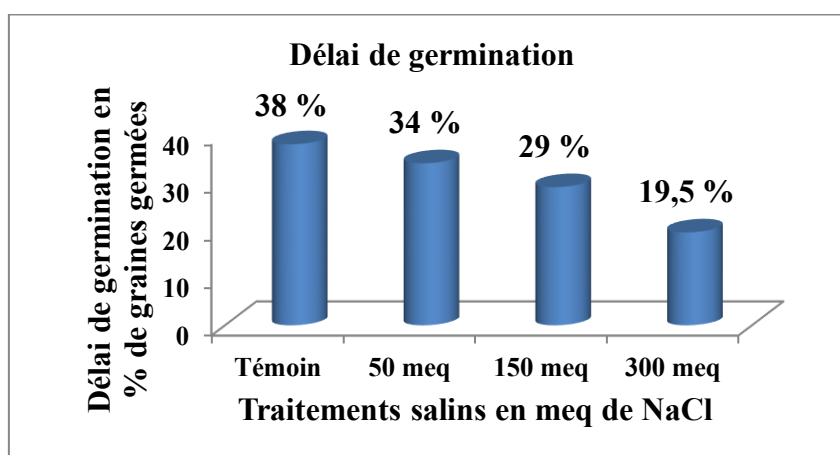


Figure n°10 : Variation des délais de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au NaCl.

La figure 10 met en exergue l'évolution des délais de germination sous contrainte saline. Il est à noter que sous tous les traitements les graines ont commencé à germer après 24 heures. La différence réside au niveau des pourcentages des graines germées à ce délai.

Le lot témoin a montré 38% de germination au bout de 24 h. Les lots imbibés à 50 ; 150 et 300 meq ont affiché respectivement 34 ; 29 et 19,5% de graines germées au bout du même délai.

1.3. Vitesse de germination

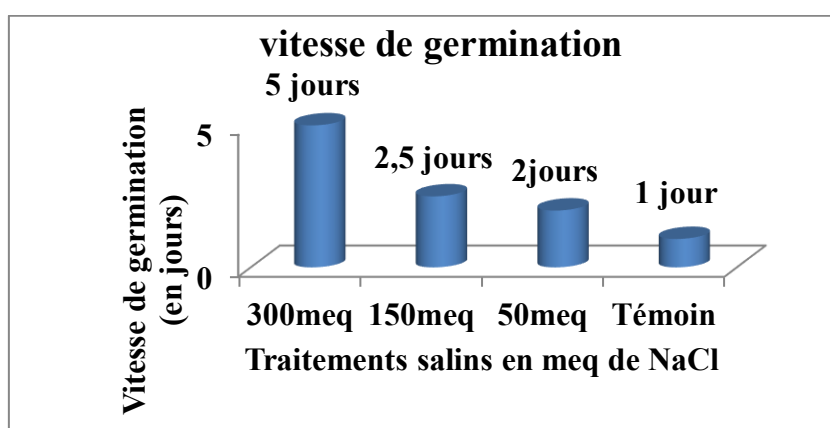


Figure n° 11: Variation des vitesses de germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au NaCl.

L'observation de la figure 11, affiche les différentes vitesses de germination des graines de quinoa sous traitement salin. La vitesse de germination est définie de plusieurs manières dans les littératures scientifiques, dans notre expérimentation nous avons opté pour la définition suivante ; c'est le temps nécessaire pour que 50% de la totalité des graines germées ont accompli leur germination. A 300meq la figure montre 5 jours, ce temps diminue avec l'abaissement des concentrations salines ; (2,5 ; 2 et 1 jours) sous les traitements respectifs 150meq ; 50meq et le lot témoin.

1.4. Réversibilité de l'action du sel

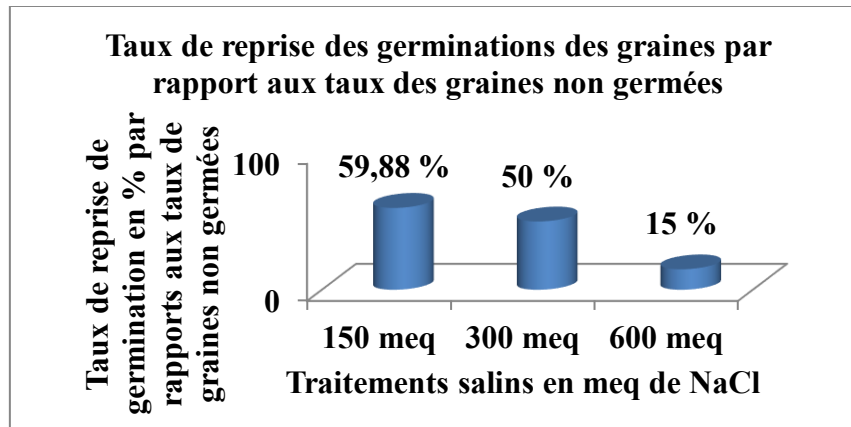


Figure n° 12 : Taux de réversibilité de l'effet du NaCl sur la germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress salin au NaCl.

Cette figure montre les résultats du test de réversibilité de l'effet du NaCl sur la germination des graines du quinoa. Dans les résultats cités dans les figures précédentes nous remarquons que le sel exerce à fortes doses un effet dépressif sur la germination des graines. Cette inhibition peut être d'origine osmotique et /toxique. Dans la mesure où elle est d'origine osmotique, on devrait avoir une reprise de la germination après la levée de la contrainte, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent il y a absence de cette reprise de germination. Nos résultats montrent que le transfert des graines dans de l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination. Cette reprise est plus faible chez les graines imbibées à une forte dose de NaCl (600 meq) où 15% des graines non germées reprennent. A 150 et 300 meq nous comptons respectivement 59,88 et 50 % des graines non germées qui reprennent leur activité. Ces résultats nous mènent à penser que si les concentrations du NaCl étaient plus importantes il est possible qu'on aurait eu un effet toxique du NaCl.

1.5. Mobilisation des réserves

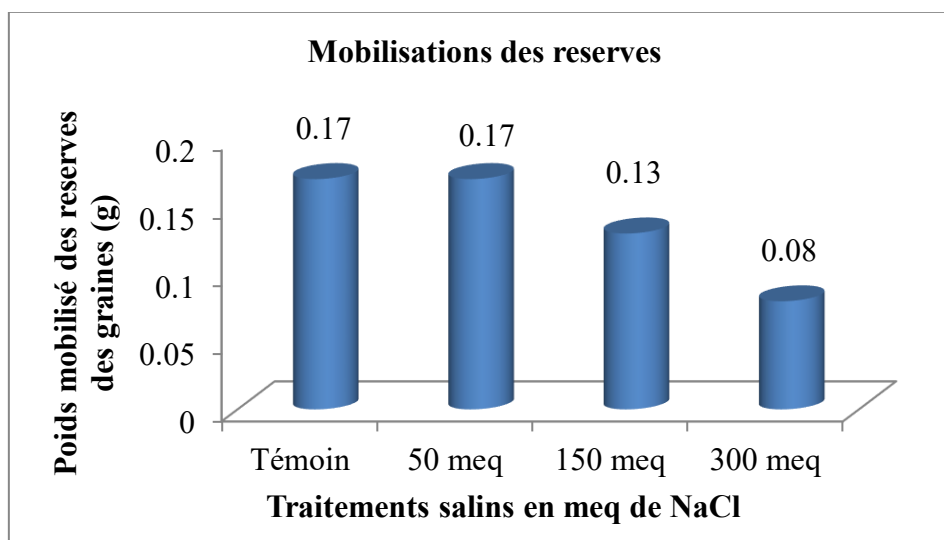


Figure n°13 : Poids mobilisé des réserves des graines de quinoa sous stress salin

La figure 13 présente les résultats de l'effet de différentes concentrations en NaCl sur la mobilisation des réserves secs après 08 jours de germination des graines de quinoa. La mobilisation des réserves est une étape essentielle au cours de laquelle il y a dégradation des réserves pour soutenir les premiers stades de croissance des plantules. Les pesées des graines augmentent significativement avec l'augmentation de la concentration de sel (NaCl) dans la mesure où les embryons n'ont pas germé et n'ont pas utilisé les réserves. Ceci suggère que le sel exerce un effet dépressif sur la mobilisation des réserves.

Les valeurs obtenues sur les tableaux 4 et 5 indiquent que dans le traitement salin concernant les tests suivants : taux final de germination, délai de germination, vitesse de germination, mobilisation des réserves et réversibilité au stress des différences très significatives sont notées

Tableau 04 : Représentant les tests statistiques de germination sous stress salin

| Paramètres | Traitements salins et moyennes | | | | Probabilités |
|---------------------------|--------------------------------|--------|----------|--------|--------------|
| | Témoin | 50meq | 150meq | 300meq | |
| Taux final de germination | 96% | 94.64% | 86.64% | 76% | 0.000 |
| Délai de germination | 38% | 34% | 29% | 19.5% | 0.000 |
| Vitesse de germination | 1jour | 2jours | 2.5jours | 5jours | 0.006 |
| Mobilisation des réserves | 0.17g | 0.17g | 0.13g | 0.08g | 0.000 |

Tableau 05 : Représentant les tests statistiques de la réversibilité au stress salin

| Paramètres | Traitement salins et moyennes | | | Probabilité |
|-------------------------------|-------------------------------|--------|--------|-------------|
| | 150meq | 300meq | 600meq | |
| Réversibilité au stress salin | 59.88 % | 50% | 15% | 0.000 |

2. Sous stress hydrique

2.1. Taux final de germination

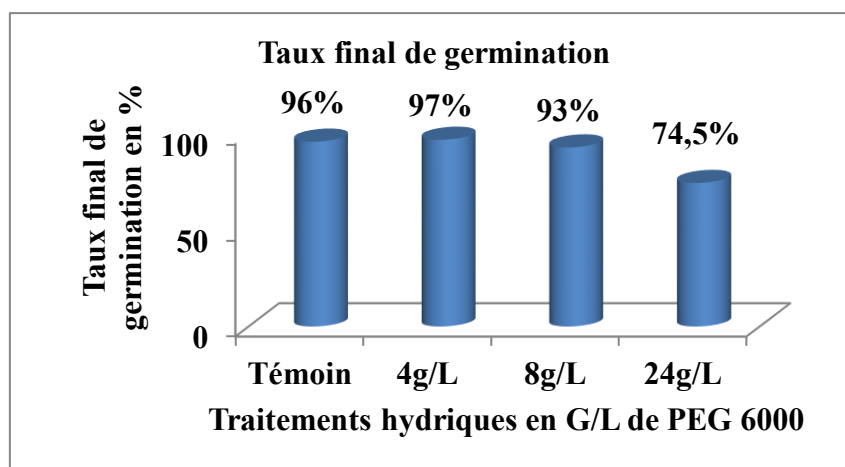


Figure n° 14 : Variation des taux finaux de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000.

La figure 14, présente les variations des taux finaux de germination des graines de quinoa en fonction de l'intensité de la concentration en PEG 6000. Le taux de germination enregistré pour le lot étudié à 4g/L (97%) est rapproché de la moyenne enregistrée chez les témoins (96%), alors que la différence, avec ce dernier, devient plus accentuée pour le lot imbibé 24 g/L (74,5%) de graines germées. Les graines ayant été traitées avec une solution à 8g/L ont germé avec un taux final de 93%.

2.2. Délai de germination

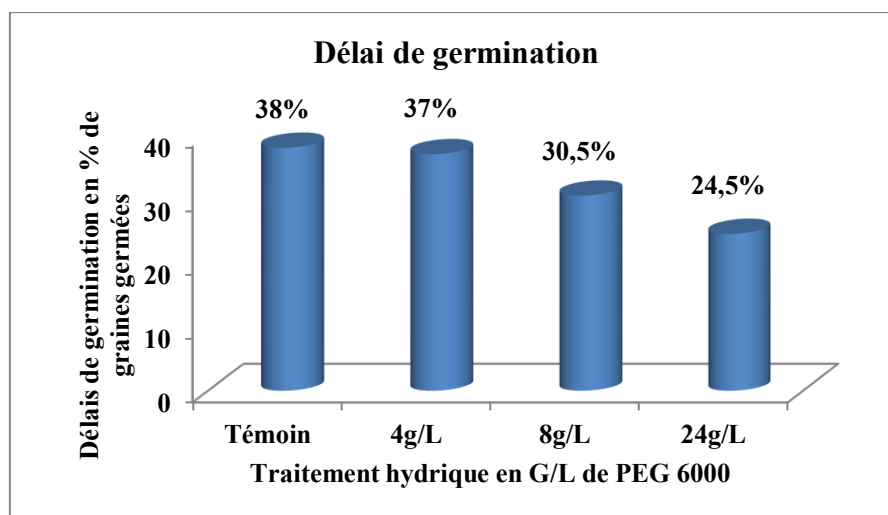


Figure n°15 : Variation des délais de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000.

Les données de la figure 15 illustrent l'effet des concentrations croissantes du PEG 6000 sur le délai de germination exprimé en pourcentage de graines germées. Il est à noter que pour tous les traitements étudiés, l'augmentation du PEG 6000 provoque une réduction de ce paramètre, où nous notons respectivement pour le lot témoin et les lots imbibés à 4,8 et 24 g/L les résultats suivants : 38 ; 37 ; 30 et 24,5% de graines germées. Nous remarquons que pour toutes les concentrations, les germinations ont eu lieu après 24heures.

2.3. Vitesse de germination

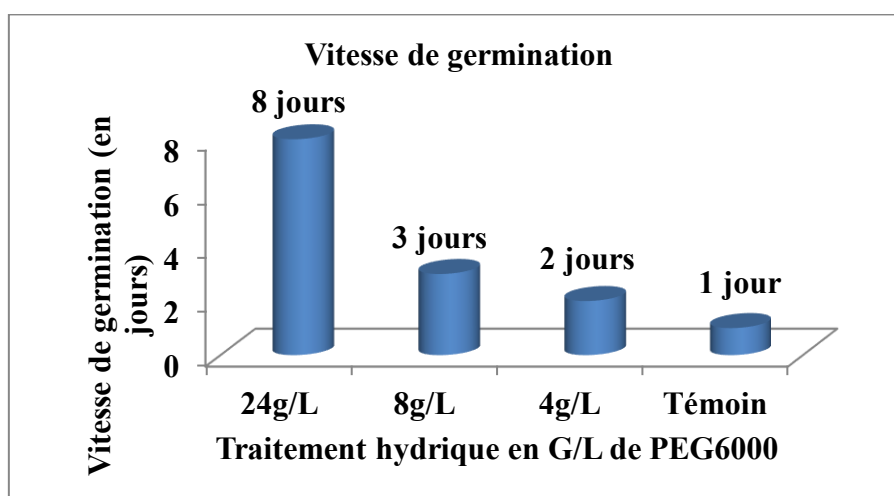


Figure n° 16: Variation des vitesses de germination des graines de quinoa, en fonction du stress hydrique au PEG 6000.

La figure 16 illustre les résultats comparatifs des vitesses de germination des graines sous différents niveaux de contrainte hydrique. La lecture de l'histogramme montre que pour ce paramètre, 50% des graines sous la condition de 24g/L germent au bout de 8 jours, comparativement au témoin où les 50% des graines ont germé après 24h. Les graines imbibées à 8g/L et 4 g/L ont réalisé ce paramètre après 3 jours et 2 jours.

2.4. Réversibilité de l'action du stress hydrique

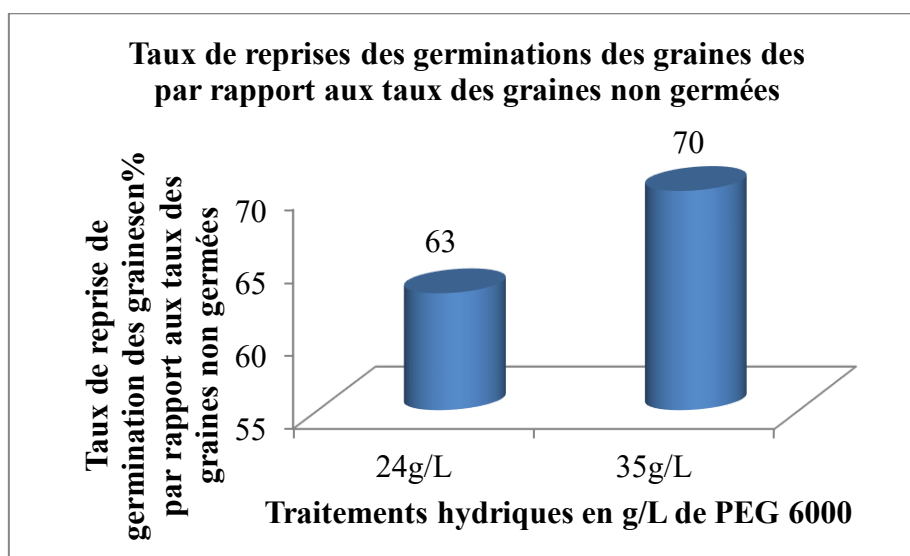


Figure n°17 : Taux de réversibilité de l'effet du PEG 6000 sur la germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress.

Nous avons montré que le PEG 6000 exerce, à fortes doses un effet dépressif sur la germination des graines étudiées. La figure 17 représente le Taux de réversibilité de l'effet du PEG 6000 sur la germination des graines de quinoa, en fonction de l'intensité du stress. Nous avons opté de travailler avec les graines imbibées avec 24g/L et 35 g/L de PEG 6000. Effectivement le transfert des graines dans de l'eau distillée est suivi d'une reprise de germination respectivement de (63% et 70%) des graines non germées au préalable.

2.5. Mobilisation des réserves

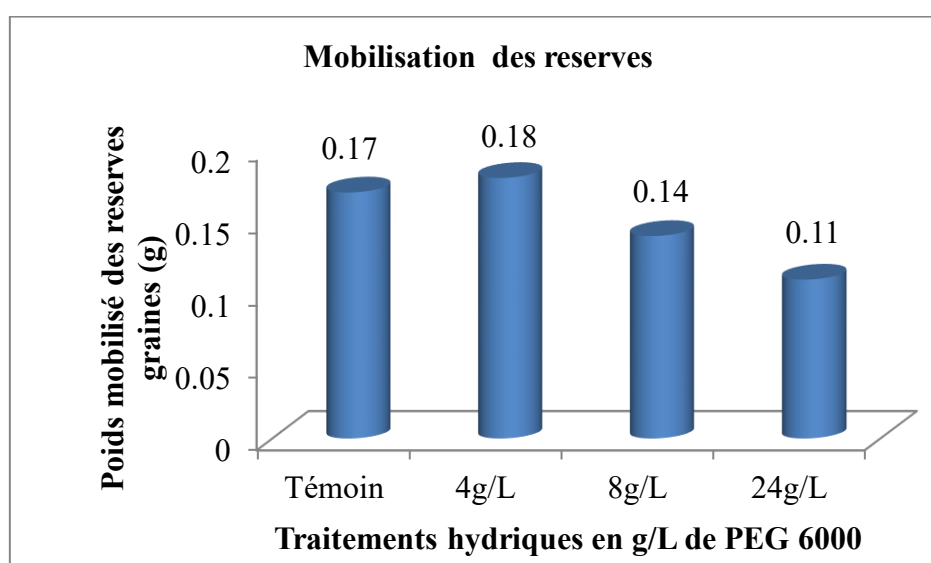


Figure n°18 : Poids mobilisé des réserves des graines de quinoa sous stress hydrique

La figure 18 représente l'effet du PEG 6000 sur la mobilisation de ces réserves estimée par la quantité de matière sèche résiduelle de la graine après 8 jours de germination. Sur milieu témoin et milieu à 4g/L, la masse de matière sèche résiduelle des graines est peu différente. Elle varie entre 0,17 et 0,18 g respectivement. La masse sèche résiduelle des graines en germination diminue en présence de concentrations plus importantes de PEG 6000 ce qui suggère que le manque d'eau exerce un effet dépressif sur la mobilisation des réserves. C'est ainsi qu'à la concentration de 8g/L et 24 g/L nous notons les poids suivants : 0,14 et 0,11 g.

Les tableaux 6 et 7 révèlent que le traitement hydrique a eu un impact significatif sur tous les paramètres de germination étudiés dans notre cas.

Tableau 06 : Représentant les tests statistiques de germination sous stress hydrique

| Paramètres | Traitements hydriques et moyennes | | | | Probabilités |
|---------------------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------------|
| | Témoin | 4g/L | 8g/L | 24g/L | |
| Taux final de germination | 96% | 97% | 93% | 74.5% | 0.000 |
| Délai de germination | 46.5% | 37% | 30.5% | 24.5% | 0.000 |
| Vitesse de germination | 1 jour | 2 jours | 3 jours | 8jours | 0.000 |
| Mobilisation des réserves | 0.17g | 0.18g | 0.14g | 0.11g | 0.000 |

Tableau 07 : Représentant les tests statistiques de la réversibilité au stress hydrique

| Paramètres | Traitements hydriques et moyennes | | Probabilités |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------|--------------|
| | 24g/L | 35g/L | |
| Réversibilité au stress hydrique | 63% | 70% | 0.000 |

3. Paramètres morphologiques

3.1. Sous stress salin

3.1.1. Longueur des racines

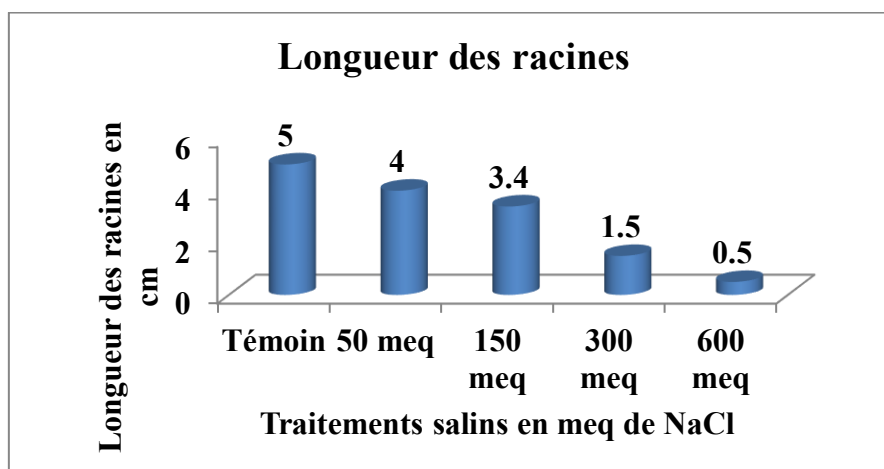


Figure n°19 : Variation de la longueur des racines des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en Na Cl.

La figure 19 met en évidence l'influence du traitement salin sur la longueur des racines des jeunes plants de quinoa, en effet nous relevons des différences notables entre les résultats des plants témoins et les plants traités. Ce paramètre diminue avec l'intensification des concentrations salines. Les plants témoins affichent en moyenne une longueur de 5cm, suivi du lot traité à 50 meq avec 4 cm de longueur alors que les plants qui sont arrosés avec les concentrations suivantes : 150 ; 300 et 600 meq développent respectivement des longueurs de 3,4 ; 1,5 et 0,5 cm.

1.2. Longueur des tiges

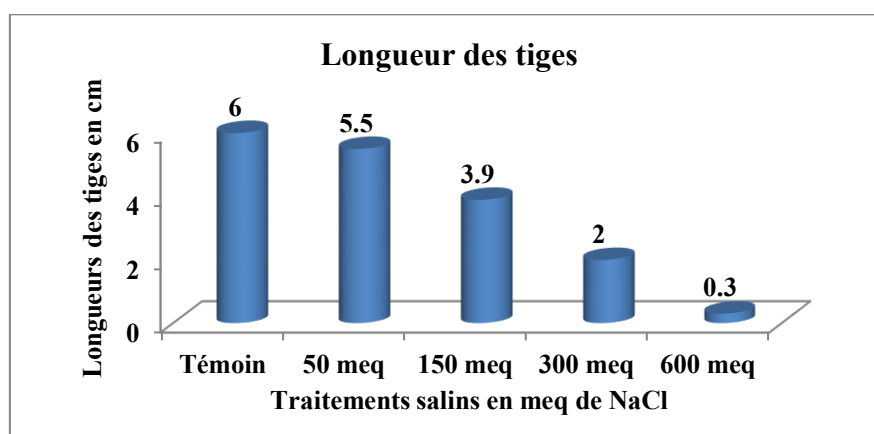


Figure n°20 : Variation de la longueur des tiges des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

Sur la figure 20 nous observons les résultats des longueurs des tiges après traitement salin. Plus le traitement est important, plus il y a diminution de la longueur de la tige. Les plants témoins élaborent des tiges de 6 cm de longueur en moyenne. Ce paramètre est de 5,5 cm sous le traitement de 50 meq. Avec les autres concentrations : 150 ; 300 et 600meq nous obtenons les valeurs suivantes :3,9 ; 2 et 0,3 cm.

Les résultats concernant la longueur des racines et des tiges sous stress salin trouvent leur confirmation dans le test statistique (tableau 8) qui révèlent des différences significatives par rapport aux témoins. Ils déterminent que chez les plantes étudiées la croissance en longueur des racines et des tiges est influencée par l'apport du sel.

Tableau 08 : Les tests statistique des paramètres morphologiques des jeunes plants sous stress salin

| Paramètre | Traitements salins et moyennes | | | | | Probabilités |
|------------------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| | Témoin | 50meq | 150meq | 300meq | 600meq | |
| Longueur des Racines (en cm) | 5 | 4 | 3.4 | 1.5 | 0.5 | 0.001 |
| Longueur des Tiges (en cm) | 6 | 5.5 | 3.9 | 2 | 0.3 | 0.000 |

3.2. Sous stress hydrique

3.2.1. Longueur des racines

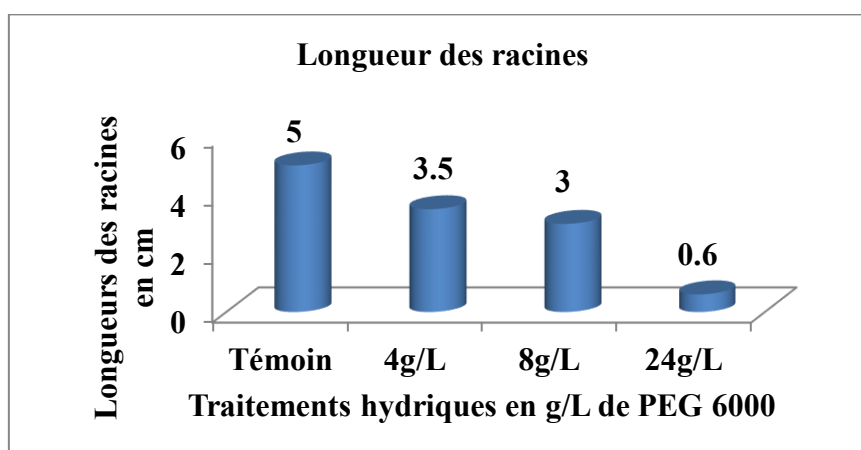


Figure n°21: Variation de la longueur des racines des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en PEG 6000.

Sur la figure 21 nous suivons l'évolution de la longueur des racines sous traitement hydrique. La valeur la plus faible est exprimée par le lot des plants traité à 24 g/L 0,6 cm .les racines les plus longues sont développées chez les plants témoins (5cm). Avec les traitements de 4g/L et 8g/L nous notons les valeurs respectives (3,5 et 3 cm).

3.2.2. Longueurs des tiges

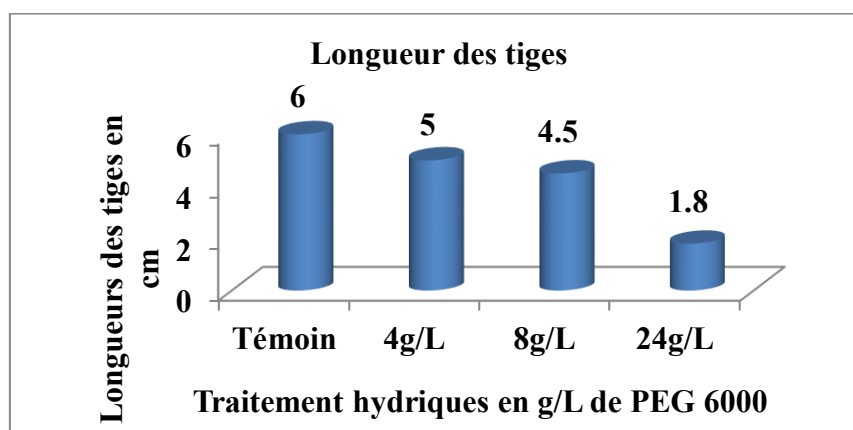


Figure n°22 : Variation de la longueur des tiges des jeunes plants de quinoa en fonction de la concentration en PEG 6000.

Les résultats de l'évolution de l'élaboration des jeunes tiges des plants de quinoa sous stress hydrique sont représentés sur la figure 22. Sous stress important (24 g/L) la tige est de 1,8 cm. Sous stress modéré (4 g/L et 8 g/L) les tiges ont atteint en moyenne 5cm et 4,5 cm. Le lot des plants témoins édifient des tiges de 6 cm.

Le test statistique (tableau 9) va dans le même sens que les résultats sous stress salin, où on relève que la longueur des racines et des tiges a évolué sous l'influence du traitement hydrique.

Tableau 09 : Les tests statistiques des paramètres morphologiques des jeunes plants sous stress hydrique

| Paramètre | Traitements hydriques et moyennes | | | | Probabilités |
|------------------------------|-----------------------------------|------|------|-------|--------------|
| | Témoin | 4g/L | 8g/L | 24g/L | |
| Longueur des Racines (en cm) | 5 | 3.5 | 3 | 0.6 | 0.002 |
| Longueur des Tiges (en cm) | 6 | 5 | 4.5 | 1.8 | 0.001 |

II. Discussion

Au terme de notre travail, il en ressort que le stade de germination est sensible aux stress abiotiques. Nous notons un ralentissement du processus de germination en fonction de l'augmentation de la salinité et du déficit hydrique.

Les variations de la germination des graines enregistrées dans les conditions expérimentales que nous venons de décrire font appel à un certain nombre de réflexions. En effet, la germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sels (Gutterman, 1993).

D'après (Prado et *al.*, (2000) la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales. Selon les mêmes auteurs, la conversion des polycarbohydres en sucres solubles jouant le rôle de régulation osmotique au niveau des cellules embryonnaires en phase de germination est alors inhibée. D'après Poljakoff et *al.* (1994) et Khan et *al.* (2001) l'effet de la salinité sur la germination est généralement attribué aux effets osmotiques dus à la diminution du potentiel soluté du sol ou des effets de toxicité dus à l'absorption et/ou à l'accumulation à certains ions sous forme de sodium et chlorure. Des travaux de Souhail et Châabane (2009) signalent que la germination de *Atriplex halimus*, *A. canescens* et *A. nummularia*, des espèces appartenant également à la famille des Amaranthacées est inhibée à partir d'une concentration de 8 g.l⁻¹ de NaCl. D'après Hajlaoui et *al.*, 2007, une forte concentration en chlorure de sodium peut entraîner l'accumulation des ions de Na⁺ et Cl⁻ dans l'embryon, et contribue ainsi à l'altération des processus métaboliques de la germination voir même à la mort de l'embryon par excès d'ions.

Dans notre expérimentation l'augmentation de la concentration de NaCl dans le milieu chez les graines traitées a provoqué une prolongation de la période de germination aussi. L'étude effectuée montre que le NaCl ralentit la vitesse de germination des graines et diminue leur capacité germinative. Ce retard peut être expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place l'ajustement de sa pression osmotique cellulaire interne (Bliss et *al.*, 1986). Les perturbations observées pourraient être expliquées par une diminution du potentiel osmotique du milieu suite à l'ajout du sel. Chrib et *al.* (2011), ont expliqué que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouve dans la graine. Il pourrait s'agir

également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevée entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicules hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (Gill et al., 2003). Dans le même contexte Woodell (1985) ; Keiffer et Ungar (1995) et Khan et al, (2001) mettent en évidence une caractéristique importante des semences tolérantes au sel, qui les distinguent des semences des glycophytes et leur capacité à maintenir la viabilité pendant une période prolongée au cours d'exposition à des conditions hypersalins puis initier la germination lorsque le stress est réduit.

Des résultats similaires comparables ont été abordés aussi chez différents auteurs sur le quinoa (Prado et al., 2000). D'après Ben Miled et al. (1986) ce retard s'expliquerait par le temps nécessaire aux graines pour déclencher les mécanismes leur permettant d'ajuster leur pression osmotique.

Les résultats obtenus montrent une différence hautement significative entre le témoin et les plantules traités en NaCl pour les paramètres de croissance étudiés. On observe une diminution de la longueur de la racine avec l'augmentation de la concentration en NaCl. D'après Neumann (1995), la salinité peut rapidement inhiber la croissance des racines et donc la capacité de l'absorption de l'eau et la nutrition minérale essentielle du sol. Le stress salin inhibe la croissance des pousses plus que la racine de beaucoup d'espèces. Les racines sont directement en contact avec la salinité du sol et elles constituent la première ligne de défense contre le stress salin. Les plantes ayant un système racinaire long sont capables d'absorber plus d'eau et s'échapper aux zones salines (Benrebiha et al., 1987).

Il est à signaler également que nos résultats indiquent un effet dépressif du PEG-6000 sur le pouvoir germinatif des graines, quelle que soit la concentration administrée. Ceci concorde avec les résultats des travaux antérieurs (Khayatnezhad et Gholamin, 2011 ; Mrani Alaoui et al., 2013 ; Benderaddji et al., 2016). De plus un stress sévère imposé par l'addition de PEG-6000 semble avoir un plus grand impact sur ce paramètre (Almansouri et al., 2001). D'après Khayatnezhad et Gholamin., (2011), la présence des agents de stress comme le polyéthylène glycol dans le milieu de germination réduit l'absorption de l'eau conduisant à une difficulté d'hydratation des semences. Ce qui va inhiber la translocation des réserves vers l'axe embryonnaire en croissance.

Pour la réversibilité de l'action du stress nous avons constaté que de fortes doses de chlorure de sodium et de polyéthylène glycol 6000 provoquent un effet dépressif sur la reprise de germination des graines étudiées. Cette inhibition peut être osmotique et/ou toxique. Dans le cas où elle serait d'origine osmotique, on devrait s'attendre à une reprise de la germination après levée de cette contrainte. Par contre, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, on peut prévoir l'absence d'une reprise de germination (Hajlaoui et *al.*, 2007). La remise en germination en présence d'eau distillée, des graines non germées a été conduite afin de préciser l'origine de l'inhibition. Concernant le lot de graines ayant initialement non germé en présence de sel, le transfert des graines dans de l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination, cette reprise diminue avec l'augmentation du stress salin initial. Ceci laisse supposer que les fortes concentrations sont responsables de l'apparition de phénomènes toxiques et osmotiques.

Pour ce qui est du lot de graines initialement non germé en présence de PEG 6000 ; le transfert dans de l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination. Cependant, la capacité germinative reste plus faible que celle obtenue chez les graines mises directement sur le milieu témoin.

La réversibilité de la réponse au sel a été démontrée dans les travaux de Alaoui et *al.*, (2013), sur certaines graines. Selon Hajlaoui et *al.*, (2007), si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, même en supprimant la contrainte imposée au départ, on peut prévoir l'absence d'une reprise de la germination. Ceci serait la résultante d'une accumulation des ions Na^+ et Cl^-

Enfin selon (Adolfa et *al.*, 2012) Les halophytes peuvent faire face à des niveaux de sel élevés pendant la germination. Cependant, il a été démontré dans plusieurs études que même les halophytes sont relativement sensibles à la salinité au cours des étapes de la germination et de l'émergence des semis

La mobilisation des réserves dans notre contexte a baissé sous les deux types de stress. D'après N'Diri (2013) après l'imbibition de la graine, un ensemble de processus d'activités métaboliques se déclenchent pour l'expression des gènes et la synthèse d'enzymes qui hydrolysent les réserves nutritives destinées au développement de la plantule. L'efficacité d'utilisation des réserves de nos graines diminue en fonction de la salinité et du stress hydrique.

La longueur des pousses et des racines est un paramètre important pour l'étude du stress dû au sel, car les racines sont en contact direct avec le sol et absorbent l'eau du sol et les pousses l'apportent au reste de la plante. Pour cette raison, la longueur des racines et des pousses fournit un indice important sur la réponse des plantes au stress salin (Jamil et Rha, 2004).

Les résultats obtenus montrent une différence hautement significative entre le témoin et les plantules traitées avec du NaCl pour les paramètres de croissance étudiés, on observe une diminution de la longueur de la tige avec l'augmentation de la concentration en NaCl. Les effets de la salinité sont également pressentis lors de la multiplication et la croissance cellulaires responsables de l'élongation des systèmes racinaire et aérien. A ce niveau ces effets se sont manifestés par une réduction des longueurs des racines et des tiges comparativement aux celles des témoins. Selon Gomes et *al.* (1983), l'émergence de la racicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu pendant la germination, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire.

Selon Baba Sidi-Kaci (2010), le traitement salin appliqué sur *Atriplex halimus*, une espèce de la même famille que le quinoa enregistre de faibles réductions de longueur de tige par rapport au témoin. C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre à l'intérieur de l'organisme en augmentant jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin (Bois, 2005).

Concernant l'étude de la croissance de la partie aérienne et de la partie souterraine sous stress hydrique, ce dernier a réduit le développement des tiges à l'état juvénile. Plus le déficit hydrique est important plus les plantes ont des difficultés à développer la partie aérienne. Selon Nana et *al.*, (2010), le déficit hydrique enregistré est lié aux pertes d'eau par transpiration ; et son augmentation chez les plantes stressées serait l'effet combiné de la transpiration et de la restriction de la disponibilité en eau du sol imposé aux plantes.

Enfin d'après Chaves et *al.*, 2002 ; Lebon et *al.*, 2006 ; Attia, 2007). le développement végétatif d'une plante cultivée soumise à des conditions de déficit hydriques est fortement perturbé suite à une diminution importante de la hauteur, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire.



Conclusion

Conclusion

Conclusion

Au terme de notre expérimentation qui s'intéresse à étudier l'effet du stress salin et du stress hydrique sur les paramètres de germination et morphologiques de l'espèce *Chenopodium quinoa* Willd. sous différentes concentrations de NaCl et de PEG 6000, les résultats de l'étude ont montré que :

- Les stress appliqués ont un effet dégressif sur le taux final de germination des graines traitées par rapport au témoin, sur le délai de germination et sur la vitesse de germination ;
- La mobilisation des réserves chez les graines après quelques jours de germinations a montré une grande activité chez les lots témoins et les graines imbibées à doses modérées, ce paramètre diminue à fortes concentrations, ce phénomène est observé sous les deux types de stress.
- Concernant la réversibilité, sous les deux stress nous avons observé une reprise de l'activité des graines et nous concluons que le stress salin à des doses modérées et moyennes a un effet osmotique, peut-être qu'à des doses très importantes il aurait un effet toxique.
- Pour les paramètres morphologiques, il s'avère que l'édification des racines et des tiges à l'état juvénile des plantes est fortement affectée par l'intensification du stress salin et du manque d'eau.

En perspective, il serait judicieux de reprendre cet essai en multipliant les variétés étudiées et en poursuivant l'expérimentation jusqu'à un stade avancé de développement de la plante.

Car il est à noter que même les halophytes sont sensibles aux stress durant la phase de germination, qui est une phase décisive durant la vie des plantes. La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie.

Aussi, il serait préférable d'entreprendre des essais similaires dans des conditions naturelles (champs affectés par la salinité) où d'autres facteurs environnementaux comme les hautes températures et le stress hydrique intervenant en même temps.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- ABROL YASH P., INGRAM Keith T., 1997-** Les effets de la hausse des température diurnes et nocturnes sur la croissance et les rendements de certaines plantes cultivées. Archive de documents de la FAO. pp 394-398.
- ACEVEDO ET AL., 1989 ACEVEDO E., CONESA A., MONNEVEAUX P., SRIVASTAV A., 1989-** Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Colloque n° 55., July 3-6, 1989, Montpellier, France, 449-458.
- ACHIR MOHAMED 2009.** Evaluation et modélisation de l'érosion hydrique ; étude comparative entre la région céréalière de Rahouia et la région steppique de Faïdja- Wilaya de Tiaret. Mémoire de Magister en Agronomie, Université Ziane Achour-Djelfa, p 28.
- ADDA A., SAHNOUNE M., KAID-HARCHE M., MERAH O., 2005 –** Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. C.R.Biologies III Edit. *plant biol. Path.* Vol.328, pp 918-927.
- ADOLFA I. V. JACOBSENA S. SHABALAB S. 2012.** Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) EEB-2568; No. of Pages 12.
- ADOLF V., JACOBSEN S.E., SAHBALA S., 2013.** Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environ. Exp.Bot.*, 43-54.
- AHAMED N.T., SINGHAL R.S., KULKARNI P.R., MOHINDER P. (1998).** A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: review of the chemical composition of its edible parts. F.
- ALAOUL, M. M., EL JOURMI, L., OUARZANE, A., LAZAR, S., EL ANTRI, S., ZAHOUILY, M., & HMYENE, A. (2013).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(6), 997-1004.
- ALMANSOURI, M.J, KINET, M. AND LUTTS, S. (2001)** Effect of Salt and Osmotic Stresses on Germination in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231, 243-254.
- AMIGUES J-P, DEBAEKE P, ITIER B, LEMAIRE G, SEGUIN B, TARDIEU F, THOMAS A,(éditeurs) 2006.**Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport: INRA (France), 72pood NUTR. Bull., 19(1), 61-70.
- ANZALA F., 2006-** Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*ZEA MAYS*): étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- APSE M.P et BLUMWALD E., 2007-** Na⁺ transport in plants. *FEBS Lett.* 581(12): 2247-254. doi: 10.1016/j.febslet.2007.04.014.PMID:17459382.
- ARUAS J. L., FEBRERO A., 1993_** Leaf posture, grain yield, leaf structure and carbon isotop discrimination in wheat. *Crop Sci* 33. 1273-1279.
- ARAUS, J.L., SLAFER, G.A., REYNOLDS, M.P. and ROYO, C. ; 2002.**Plant breeding and drought in C3 cereals : what should we breed for ? *Ann. Bot.*89,(Spec.No.) : 925-940.
- ASHRAF M., HARRIS P.J., (2004).** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants.-*Plant Sci.* 166: 3-16.
- ATTIA F., 2007.** Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse (France), 194p.
- AYALA G, ORTEGA L, MORON C, (2001),** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.): VALOR nutritivo y usos de la quinoa. In: Izquierdo Fernández, J.I., MUJICA, A.,

B

- BABA-SIDI KASSI S.,2010-**Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie,anatomie) et nutritionnels de l'Atriplexe d'une valorisation agronomique.Mém de magistère .Univ Kasdi Merbah .Orghla ,75p.

Références bibliographiques

- BAMOUNE A., 1997.** Contribution à l'étude de quelques caractères morpho-physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur, *Triticum turgidum esp. durum*, pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'ouest Algérien. Thèse de Magister. Pp. 1-33.
- BASKIN C.C., BASKIN J.M., 2001-** Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego. 666 p.
- BAZILE D., 2015-** Le quinoa. Les enjeux d'une conquête. Éditions Quæ. France, p: 13-18.
- BELHASSEN E., THIS D., MONNEVEUX P., 1995.** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers agricultures ; 4 : 251-261.
- BELKHODJA M , 1996.** Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes adultes de trois lignées de fève (*Vicia faba* L.) au cours de leur développement. Acta Botanica Gallica : bulletin de la Société botanique de France 143(1) : 21-28.
- BENBRAHIM K.F., ISMAILI M., BENBRAHIM S.F., TRIBAK A., 2004-** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc. Science et changements planétaires/Sécheresse, 15(4) : 307-320.
- BENDERRADJI, L., HADJI, N., KELLOU, K., BENNIUO, R., & BRINI F. (2016).** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées in vitro en milieu hydroponique. Revue Agriculture. Numéro spécial 1, 278-286.
- BENKADDOUR M., 2014-** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.
- BENLARIBI M., MONNEVEUX P. et GRIGNAC P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Agronomie, 10: 305-322.
- BENREBIHA., 1987** -Effet du stress salin sur la germination et la croissance de l'armoise blanche(*Artemisia herba alba asso*).pp :40.
- BENZALA A., 2005-**Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* L.) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse Thèse Magister. Université El Hadj Lakhdar 143 p.:p.25-28.
- BERTHOMIEU P., CONEJERO G., NUBLAT A., BRACHENBURY W.J., LAMBERT C., SAVIO C., UOZUMI N., OIKI S., YAMADA K., CELLIER F., GOSTI F., SIMONNEAU T., ESSAH P.A. , TESTER M., VERY A.A., SENTENAC H., CASSE F., (2003).** Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. EMBO Journal, Vol. 22: 2004- 2014.
- BEWLEY J.D., 1997-** Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055-1066.
- BHARGAVA A., SHUKLA S., RAJAN S., OHRI D., 2006-** Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. National Botanical Research Institute. Lucknow. India, 54:167-173.
- BIOVERSITY INTERNATIONAL et FAO. 2013-** Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N° 538, pp:3-38.
- BLISS, R. D., PLATT-ALOIA, K. A., & THOMSON, W. W. (1986).** Osmotic sensitivity in relation to salt sensitivity in germinating barley seeds. *Plant, Cell & Environment*, 9(9), 72
- BLUM A ., 1988-** Drought resistance. In CRC Press Edit. *Plant breeding for stress environment*, 223p.
- BLUM A., 1989.** Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.* Vol.29, Pp 230-233.
- BLUM A., SHPILLER L., MAYER J., SINMENA B., 1991-** Selection of grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica*;54;111-6.

Références bibliographiques

BOIS G., 2005-Ecophysiolgie de semis de conféresectomycorhizésen milieu salin et socolique .thèse de doctorat.Univ de Merséille.France .187p.1-725.

BOUAOUINA S., ZID E., HAJJI M., 2000- Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Royo C., Nachit MM, Di Fonzo N. et Araus JL, eds. L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne: nouveaux défis. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ : 239-243

BOUDA S., HADDIOUI A., 2010: Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. Rev. Nature & Technologie No 05 PP. 72 -79.

BRAY E. et ZIEGLER P. 1989. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. Annual Review of Plant Physiol. And plant mol. Bio. 40: 95-117. 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, 93p.

C

CARMEN Del Castillo., MAHY G., WINKEL T., 2008- La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente “ bio-équitable ”. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Bolivie.12(4): 421-435.

CERCAM., 2014- Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, p: 3.

CHAUHAN G.S, ESKIN N.A.M, TKACHUK R, (1992), Nutrients and antinutrients in quinoa seed. *Cereal Chemistry*, 69: 85-88.

CHAUX C. et FOURY C., 1994. Maîtrise des facteurs de production, qualité et traitement des semences, mise en culture par semis en place in Production légumière. Tome 1- Généralité. Tec et Doc. Lavoisier. pp 277-431-445.

CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; MAROCO, J.RODRIQUES,M.L.;RICARDO, C.P.P.; OSORIO, M.L. CARVATHO, I.; Faria, T. and PINHEIR,C.; 2002. How plants cope with water stress in the field.

CHAVES M.M., OLIVEIRA M.M. (2004): Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *J. Exp. Bot.*, 55: 2365–2384.

CLARCKE J.M., 1986- Effet of leaf rolling in leaf water loss in *Triticum* ssp. Edit, Can.J. Plant Sci. Vol.66. pp 885-891.

D

DA CUNHA VELOSO A., 2016- Impacts de l'essor international du quinoa. Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE). Suisse, p 2-3.

DAVIS W.J., TARDIEU F., TREJO C.L., 1994- How do chemical signals works in plants that grow in drying soil? *Plant Physiol*, 104: 309-314.

DIEHL R., 1975. Agriculture générale : Technique saisonnière de la production végétale. 2eme édition. pp 275- 286- 290.

DINI I, TENORE GC & DINI A, (2004), Phenolic constituents of *Kancolla* seeds. *Food Chemistry*, 84: 163-168.

Djerroudi O., (2017).Caractérisation morpho- physiologique d'une halophyte, *atriplex*, aux conditions arides. Thèse de doctorat. Univ. Oran 1Ahmed Ben Bella. Pp64.

E

ENRIQUE A., MARTINEZ, FRANCISCO F., FUENTES, BAZILE D., 2015- History of Quinoa: Its Origin, Domestication, Diversification, and Cultivation with Particular Reference to the Chilean Context. John Wiley & Sons, Inc. France, p: 19-22.

ESPINDOLA, G. (1992). Proyecto de fortalecimiento y modernización. IBTA-BM. Informe anual 1992. Programa quino, a37-42.

Références bibliographiques

F

- FAHAD, S., BAJWA, A. A., NAZIR, U., ANJUM, S. A., FAROOQ, A., ZOHAIB, A., HUANG, J. (2017, JUNE 29).** Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 8.
- FAO. 2015.** Catalogue of commercial varieties of quinoa in peru. Instituto Nacional de Innovacion Agraria. ISBN 978-92-5-108765-7. 86p.
- FAO, 2016.** (Food and Agriculture Organisation), 2016. Quinoa en Algérie. P16.
- FAROOQ, M., WAHID, A., KOBAYASHI, N., FUJITA, D., & BASRA, S. M. A. (2009, January).** Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 29, pp. 185–212.
- FELIACHI K., AMROUNE R. et KHALDOUNE, 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des cereals cultivées dans le nord de l'Algérie: céréaliculture N0 35.ED. ITGC. Algérie.
- FLORES H.E et GALSTON., 1984-** Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. Relation to amino acid pools. *Plant physiol.* 75, 110-113.
- FLOWERS T. J., HAJIBAGHERI M. A. AND CLIPSON N. J. W., (1986).** Halophytes. *Quart. Rev. Biol.* 61, 313–337.
- FLOWERS, T. J. TINKER, B. AND LAUCHII, A., EDS., PRAEGER 1988** In: New York. Chloride as a nutrient and as an osmoticum. *Advances in Plant Nutrition*. Vol.3. pp. 55–78.
- FLOWERS, T.J. 2004.** Improving crop salt tolerance. *J Exp Bot*; 55:307-19.
- FOUCAULT A.-S., LAFONT R., DIOH W., FROMENTIN G., VEILLET S., TOME D., et AL. 2008.** Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone sur l'adiposité dans le cadre du syndrome métabolique. *Nutr. Clin. Metabol.*, 22(S1), p. 103.
- FOURN, HUMB, VALE, 2002** Géographie d'une Espagne en mutation, Casa de Velázquez.
- FRONÇOIS J., MOROT G., ROGER P., 2009-** Biologie Végétale, Vol 2, croissance et développement.
- FUKAI S., COOPER M., 1995-** Development of drought-resistant cultivars using physiological traits in rice, Edit. *Field Crops Res.* Vol 40, pp 67-86.
- FUKAI S., PANTUWAN G., JONGDEE B., COOPER M., 1999** – Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. Edit. *Field Crops Res.* Vol. 64, pp 61-74.
- ### G
- GALAUD J.P., DAUMAS F., CARRASCO A., 1995.** Biochemical and molecular events in Arabidopsis cells under osmoticum treatment. INRA, Inter drought, IV-2.
- GALIBA G., ZOLTAN N., SIMON-SARKADI I., JOZSEF S et LASZLO E., 1995.** Differential adaptation to non-ionic osmotic condition in wheat. INRA, Inter Drought, 4-1.
- GALWEY N.W, (1993),** The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products* 1, pp 101-106.
- GANDARILLAS H. (1979).** Botánica. In : tapia m.e., GANDARILLAS h., Alandia s., Cardozo a., Mujica a., Ortiz r., et al., Editors. La quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Bogota, COLOMBIA, Centro INTERNACIONAL de Investigaciones para el Desarrollo (ciid), Instituto Interamericano de Ciencias agrícolas (IICA), 20-44.
- GARZA AGUIRRE R A., HERNANDEZ PIÑERO J L, ROCHA ESTRADA A., FOROUGHBAKHCH-POURNAVAB R., MORENO- LIMON. S., (2015).** Microanalysis of leaves of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Under salin conditions. *Int. Jour. Farm and Alli. Sci.* Vol., 4 (1): 26-31.
- GATE P. et GIBAN M., 2003.** Stades du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.

Références bibliographiques

- GERM, M., & GABERŠČIK, A. (2016).** The Effect of Environmental Factors on Buckwheat. In Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat (pp. 273–281).
- GHRIB, C. D., GHARBI, F., REJEB, S., KHOUDJA, L., & REJEB, M. N. (2011).** Tolérance à la salinité de trois espèces d'*Eucalyptus* aux stades germinatif et plantule. European Journal of Scientific Research, 50(2), 208 – 217.
- GILL P.K., SHARMA A.D., Singh P., BHULLAR S.S., 2003-** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds under various abiotic stresses. Plant Growth Regulation, 40 (2): 157-162.
- GOOD A.G ET ZAPLACHINSKI S.T., 1994.** The effects of drought stress on free amino acid accumulation and protein synthesis in Brassica napus. *Physiol Plant*.90.pp 9-14.
- GOMES F.E., PRISCO J.T., CAMPOS F.A.P., FILHO E.J., 1983-** Effect of NaCl salinity in vivo and in vitro on ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination, *Physiologia Plantarum* 59(2):183-188.
- GORDILLO-BASTIDAS E., DIAZ-RIZZOLO DA., ROURA E., MASSANES T., GOMIS R., 2016-** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). From Nutritional Value to Potential Health Benefits: An Integrative Review. *J Nutr Food Sci.* 6(3): 2155-9600.
- GUTTERMAN Y., 1993:** strategies of dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *Bot.rev.*, 60 : 373-425.

H

- HAJLAOUI H., DENDEN M. ET BOUSLAMA M., 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, Vol 25 (3), Pp 168-173
- HALITIM A., (2011):**L'aridoculture et le développement durable Algerian Journal of Arid Environment. Rev. Des Sciences de la terre et de la vie Volume 1, No 1 PP. 39
- HAMON ETIENNE 2007.** Une source insoupçonnée de l'architecture flamboyante parisienne: le Carnet de Villard de Honnecourt. *Bulletin Monumental*, Societe Francaise d'Archeologie, 2007, vol. 3, p. 281-288. halshs-00171849.
- HASSANI A., DELLAL A., BELKHODJA M. et KAID-HARCHE M., 2008.** Effets de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *European journal of Scientific Research.* Vol. 23 (1): 61-69.
- HAYAK T., BENSALAM M., et ZIDI E., 2000.** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse : cas du blé, de l'orge et du Triticale. *Options Méditerranéennes Zaragoza*, 40 : 287-290.
- HELLER R., ESNAULT R., ET LANCE C., (1998).** L'eau dans la plante. In : *Physiologie végétale* Dunod, 1, 315 p
- HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., 1990-** *Physiologie Végétale*, Masson Paris. p 16.
- HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., 2000-** *Physiologie végétale et développement*, Ed. Dunod, Paris. p366
- HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 2004.** *Physiologie végétale II, développement*. Ed., Dunod, Paris, Pp. 64-240.
- HERBILLON M., 2015 :** Marie HERBILLON. Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. *Sciences pharmaceutiques.* 2015. dumas-01172250.
- HERBILLON M., 2015-** Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse doctorat en pharmacie. Université de rouen u.f.r de médecine et de pharmacie. France, p:27 50.
- Hopkins W.G., 2003.** *Physiologie végétale.* 2ème édition. De Boeck, Bruscelles:476p.
- HSIAO T.C., ACEVEDO E., 1974.** Plant responses to water deficit, water use. Efficiency and drought resistance. *Edit. Agric. Meteorol.* Vol.14, pp 59-84.

Références bibliographiques

HSISSOU, D., 1994. Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Faculté des sciences, université catholique de lauvain.

HUANG B., RACHMIL EVITCH, S., & XU, J. (2012). Root carbon and protein metabolism associated with heat tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3455–3465.

I

INGRAM J. et BARTLZQ D., 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annuaire Review of Plant Physiolo. And plant mol. Biolo.*, 47 :377-403.

ITDAS 2015. Institut Technique de Développement d’Agronomie Sahariennes Valorisation des races locales ovines et caprines à faibles effectifs «Un réservoir de diversité génétique pour le développement local» INRAA, 2 & 3 Mars 2015.

ITDAS (Institut Technique du Développement de l’Agriculture Saharienne),2016. Protocole d’observation de la culture de quinoa.P14.

ITDAS, 2017. La culture du Quinoa en milieu Oasien.. Ed; DFRV, MADRP Alger. ITDAS .Catalogue, 2017.Catalogue de cinq variétés de quinoa objet d'essai au niveau de l'ITDAS. Ed; ITDAS.

J

JABNOUNE M., (2008). Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz. ThèseDoct. CNRS/INRA/Sup.

JACOBSEN, S.E, 2003. The world wide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).Ed; EBSCO Publishing. New York. USA. P 6. Agro.Univ./ Moutp II. 289P.

JACOBSEN, S.E., MARATHEE, J.P., Morón, C. (Eds.). Cultivos Andinos, versión 1.0. (CD Rom). Santiago, Chile: FAO. 62p.

JAKAB, G., TON, J., FLORS, V., ZIMERLI, L., METRAUX, J.-P. & MAUCH-MANI, B. (2005). Enhancing Arabidopsis salt and drought stress tolerance by chemical priming for its Abscisic Acid responses. *Plant Physiol.*, 139: 267-274.

JAMIL, M. AND E.S. RHA, 2004. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Korean J. Plant Res.*, 7: 296-305.

JEBARA M., Elarbi AOUNI M., MHAMDI R. Et GHRIR R., (2000) Effet du sel sur des isolates de *Sinorrobium sp* de Tunisie in vitro ou en association avec *Medicagosp*. *Agricultures*, vol. 5, N°2, PP. 99- 102.**JIANG Y. et DEYHOLOS M. K, 2006** .“Comprehensive Transcriptional Profiling of NaCl-Stressed Arabidopsis Roots Reveals Novel Classes of Responsive Genes,” *BMC Plant Biology*, Vol. 6, p. 25. doi10.1186/1471-2229-6-25.

JHONSON R.C., NGUYEN H., CROY L., 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two salinity. *Plant Physiol.* Vol 97, pp 518-52.

K

KEIFFER C.H. et I.A.UNGAR. 1995. Germination responses of halophyte seeds exposed to prolonged hypersaline conditions. In : M.A. Khan and J.A. UNGER (Eds.) *Biology of salt tolerant plants*. Karachi: pp. 43-50.

KELLER, F. AND LUDLOW, M. M. 1993. Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). *J. Exp. Bot.* 44 : 1351-1359.

KHALES A et BAZZIZ M, 2006 : etude des peroxydases d’écotypes d’opuntia *ficus indica* L. en relation avec le développement dans des conditions de stress salin. *Congrès International de Biochimie*. Agadir, 133-136.

Références bibliographiques

- KHALFAOUI JLB., 1985.** Conduite de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse en fonction des mécanismes physiologiques Oléagineux ; Vol.40, Pp329-334.
- KHAN MA, GUL B, WEBER DJ, 2001.** Effect of salinity and temperature on the germination of kochia scoparia. *Wetland Ecology & Management* 9: 483-489.
- KHAYATNEZHAD, M., & GHOLAMIN, R. (2011).** Effects of water and salt stresses on germination and seedling growth in two durum wheat (*Triticum durum Desf.*) genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6(21), 4597-4603.
- KINET Jm, BENREBIHA F, BOUZID S, LAILHACAR S Et Dutuit P., (1998):** Le réseau Atriplex. Atelier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi arides. Cahiers agricultures No 7. PP. 505-509.
- KIZELSTEIN P., GOVORKO D., KOMARNYTSKY S., EVANS A., WANG Z., CEFALU W., ET AL. (2009).** 20-Hydroxyecdysone decreases weight and hyperglycemia in a diet induced obesity mice model. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 296(3), 433-439.
- KORELL H R, ET FRIEDT W., 1995-** Developing a screening system in vitro to select for osmotic adjustment in an interspecific sunflower population INRA, Inter drought, 11-8.
- KORICHI M.F., 1994.** Contribution à l'étude de la capacité à l'ajustement osmotique de trois cultivars de blé dur en réponse à différentes intensités de déficit hydrique. INRA. Pp 1-17.
- KOUBAA S., 2019,** Etude Structurale et Fonctionnelle d'une Protéine LEA du groupe 3 impliquée dans la tolérance au stress abiotiques et biotiques chez le blé dur. Thèse doctorat , Université de Sfax ,École Nationale d'Ingénieurs de Sfax.
- KOZIOL M.J, (1992),** Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *J. Food Compos. Anal.*, (5), 35-68.

L

- LACHHAB I., LOUAHLIA S., LAAMARTI M., ET HAMMANI K., 2013.** Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicago sativa*. Vol.3. Pp. 511- 515.
- LARIBI B., GHARBI A., KOUKI K., M'HAMDI M., BETTAIEB T., 2016-** Étude de la tolérance à la salinité chez une plante condimentaire : le carvi (*Caruma carvi L.*), volume IABC (17). *Published January*, N°31 :1321-1327.
- LEBON E, PELLEGRINO A, LOUARN G, LECOEUR J. 2006.** Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. *Annals of Botany* 98:175-185.
- LEVITT, 1980 in Ben KADDOUR, 2014: Ben Kaddour M. 2014.** Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum Desf*) exposées à un stress salin. Thèse de doctorat 3ème cycle, université badji mokhtar – Annaba, 74 p. Levitt, 1980.
- LEVITT J., 1980 –** Salt and ion stress. In: LEVITT J. (eds). *Response of plant to environmental stresses*. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York: Academic Press, p. 365-406.
- LEVITT J., 1985.** Relationship of dehydration rate to drought avoidance, dehydration tolerance and dehydration avoidance of cabbage leaves, and to their acclimation during drought- induced water stress. *Plant Cell Environ.* 8:287-96.
- LUDLOW M.M., et R.C. MUCHOW., 1990.** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water- limited environments. *Edit. Adv. Agron.* Vol 43. Pp107-153.

M

- MA W.W., HEINSTEIN P.F., MCLAUGHLIN J.L. (1989).** Additional toxic, bitter saponins from the seeds of *Chenopodium quinoa*. *J. Nat. Prod.*, 52(5), 1132-1135.
- MACHADO, S., & PAULSEN, G. M. (2001).** Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. *Plant and Soil*, 233(2), 179–187.

Références bibliographiques

- MACIEJEWSKI J., 1991-** Semences et plants, Lavoisier Technique documentation. 5 P.
- MANICKAVELU, A. , NADARAJAN, N., GANESH, S. K., GNANAMALAR, R. P., & CHANDRA BABU, R. (2006).** Drought tolerance in rice: Morphological and molecular genetic consideration. *Plant Growth Regulation*, 50(2–3), 121–138.
- MARADINI A., PIROZI M., BORGES J., SANT'ANA H., CHAVES J., COIMBRA J., 2015-** Quinoa: Nutritional, functional and antinutritional aspects. Campus University. Brazil, p: 6-34.
- M'BAREK B., CAABANE R., SDIRI H. ET LAID M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en graine de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, No 12, PP. 167-174.
- MENACER F. 2007.** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus* L. et *A triplex conescens* (purch) Nntt. 99p.
- MERAH O., 1999.** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur dans les régions méditerranéennes. Thèse de doctorat.
- MERAH O., 1999.** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur dans les régions méditerranéennes. Thèse de doctorat.
- MEYER S., REEB C., BOSDEVEIX R., 2004-** Botanique, biologie et physiologie végétale .Ed. Moline, Paris, 461p
- MICHEL V., 1997-** La production végétale, les composantes de la production. Ed. Danger, Paris, p 478.
- MILLER N, 1993.** Expression d'une thermotolérance au niveau de la fonction du photosystème II. Mémoire présenté à l'université du Québec pour la maîtrise en biophysique, 159p.
- MILLER B.M., 2001-** Seed germination. In *Principles of seed science and technology*.
- MONTOYA L.A, MARTINEZ L, PERALTA J, (2005),** Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Innovar (Colombia)*. 15(25):103-119.
- MORALES,D., RODRIGUEZ, P., DELL'AMICO, J., NICOLAS, E., TORRECILLAS, A., & SANCHEZ-BLANCO, M. J. (2003).** High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato. *Biologia Plantarum*, 47(2), 203–208.
- MORGAN J.A., 1983.** Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Aust J. Agric. Res.* Vol 34, 607-614.
- MORGAN JM., 1984.** Osmoregulation and water in higher plants. Wheat conference 2-9 May, Rabat, Marocco. *Annu Rev Plant Physiol.* Vol 35, 299-319.
- MUJICA A., IZQUIERDO J., MARATHEE J.P., 2001.** Origen y descripción de la quinua. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) : ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathee, J. P. et FAO (eds). CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
- MUNNS R., 2002-** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25: 239-250.
- MUNNS R., 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol* 167, 645–663.

Références bibliographiques

N

- N'DRI A.A.N., VROH-BI I., KOUAMÉ P.L., ZORO BI I., SCI. NAT. 8 (2013) 119.**
- NADEEM M., 2011-** Remobilization of seed phosphorus reserves and exogenous phosphorus uptake during germination and early growth stages of maize (*Zea mays L.*). Thèse de Doctorat,
- NANA R, TAMINI Z, & SAWADOGO M, 2010.** Effet d'un stress hydrique intervenant pendant le stade végétatif et la phase de floraison chez le gombo. *Int. J. Biol. Chem Sci.*, 3(5), 1161-1170.
- NEGA., S.C, Anderson A, Coker J, Ondrus M, (2007),** Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, 101: 185-192. Bordeaux 1.
- NEUMANN, P.M. 1995.** Inhibition of Root Growth by Salinity Stress Toxicity or an Adaptive Biophysical Response In Baluska, F., Ciamporova, M. and Gasparikova, O., Eds., *Structure and Function of Roots*, Kluwer Academic Publishers, 299-304.
- NOÏTSAKIS BASILE 1986,** Le poids spécifique des feuilles : un indice de production de quatre graminées fourragères. *Agronomie*, EDP Sciences, 6 (1), pp.115-117. hal-00884856.
- NOURI L., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), en condition de déficit hydrique. Thèse de magister en biologie végétale, 4-16.
- NOURI L., 2003.** Caractérisation physiologique de génotype de Tournesol (*Helianthus annuus L.*). Rapport de stage. Toulouse, 6-48.

O

- OBATON M., 1995 –** Differential sensitivity of the physiological mechanisms to hydric deficit for soybean. INRA, Inter drought, 17.
- OKÇU, G. (2005).** Effects of Salt and Drought Stresses on Germination and Seedling Growth of Pea (*Pisum sativum L.*). 29, 237–242.
- OLMOS E., HELLIN E., 1996-** Cellular adaptation from a salt-tolerant cell line of *Pisum sativum*, *J. Plant Physiol.* 148: 727-734.
- OUKARROUM A., 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.

P

- PARIDA A.K , AND DAS A.B., (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (60), pp. 324-349
- PASSIOURRA JB., 1988.** The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. In *International rice research institute. Drought resistance in crops, with emphasis on Rice Vol 37.* Pp, 449-57.
- PATAKAS A., et NOÏTSAKIS B., 1999.** Mechanisms involved in diurnal change of osmotic potential in grapevines under drought conditions. *Journal of plant Physiology.* Vol 157, pp 767-774.
- PAUL MH., PLANCHTON C., 1979-** Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja . *ann amélio plants*, 29 pp 479-492.
- PFEIFFER WH., 1993.** Drought tolerance in bread wheat. Analysis of yield improvement over years in cimmyt germplasm in: Klatt, ed. *Proceeding of the international conference on wheat production constraints in tropical environments.* Mexico (Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé).
- POLJAKOFF-MAYBER, A., SOMERS, G., WERKER, E., AND GALLAGHER, J. 1994.** Seeds of *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae): their structure, germination and salt tolerance. *Am. J. Bot.* 81:54–59.

Références bibliographiques

PRADO F. E., BOERO C., GALLARDO M., GONZALEZ J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 27-34.

R

RAINS D.W. 1972. Salt transport in relation to salinity. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 23,367.

RENARD J. L. and QUILLEC G., 1975 – L'Helminthosporiose du cocotier. Etudes préliminaire. *Oléagineux* 30(5) : 209-213.

RICHARDS R., REBTZKE G., VAN HERWAARDLEN A., DUGGANB B., 1997. Improving yield in rainfed environments though physiological plantbreeding. Edit. *Revue Dryland Agriculture*; Vol 36, pp 254-266.

RJIEIB W, KAHLAOUI B, HACHICHA M., 2015,effet de l'irrigation avec des eaux salées sur une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Tunisie: Réponses du quinoa aux contraintes hydriques et salées, Editions universitaires européennes, P26.46.48.98.

RODRIGUES M., CHAVES M., WENLDER R., DAVID M., STITT M., PEREIRA J.S., 1993. Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Australian journal of Plant Physiology*. Vol 20, pp 309-321.

ROMO S., LABRADOR E., DOPICO B. 2001. Water stress-regulated gene expression in *Cicer arietinum* seedlings and plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 39(11): 1017–1026.

REPO-CARRASCO-VALENCIA., R.A.M. & SERNA, L.A., (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Ciênc Tecnol Aliment*, 31(1): 225230

S

SAN MARTIN R, NDJOKO K & HOSTETTMANN K, (2007), Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Crop Prot.*, (27), 310-319.

SAN MARTÍN R., NDJOKO K., HOSTETTMANN K. (2008). Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Crop Prot.*, 27(3-5), 310-319.

SANTARIUS K., 1967. Hill reaction and photophosphorylation of isolated chloroplasts in relation to water content. *Planta* 73. 228- 242.

SHINOZAKI, K., YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K., LIU, Q., KASUGA, M., ICHIMURA, K., MIZOGUCHI, T., URAO, T., MIYATA, S., NAKASHIMA, K., SHINWARI, Z.K., ABE, H., SAKUMA, Y., ITO, T.and SEKI, M.(1999) Molecular reponses to drought stress in plants: regulation of gene expression and signal transduction. In *Plant Responses to Environmental Stress*. Edited by Smallwood, C.M. and Bowles, D.J. pp. 133-143. BIOS Scientific Publishers, Oxford.

SIMÕES-ARAÚJO, J. L., RUMJANEK, N. G., & MARGIS-PINHEIRO, M. (2003). Small heat shock proteins genes are differentially expressed in distinct varieties of common bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(1), 33–41

SINGH N.K., HANDA A.K., HASEGAWA P.M., RESSAN R.A., 1987- Characterisation of osmotin. *Plant physiology* 85: 529-536.

SON DIAKALIA, 2010 Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum* L) Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) 2010 Résumé.

SOUHAIL M., CHAÂBANE R., 2009. Toxicity of the salt and pericarp inhibition on the germination of some *Atriplex* species. *Am. Eurasian J. Toxicological Sci.*, 1 : 43-49.

SUBBRARAO GV., JOHANSEN C., SUNKARD AE., NAGESWARA RAO RC., SAXENA NP., CHAUHAN YS., 1995. Strategies for improving drought resistance in grain legume. Edit. *Crit Rev Plant Sci*. Vol 14, pp 469-523.

Références bibliographiques

T

- TAPIA, M. (1999).** Zonificación agroecológica del cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) In: Primer taller internacional sobre quinua: recursos genéticos y sistemas de producción. Regional Office for Latin America and the Caribbean, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Santiago, Chile. Lima, Perú.
- TARDIEU F, 2004.** Virtual plants: modelling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science*, 8 : 9–14.
- TARDIEU F, TUBEROSA R. 2010.** Dissection and modelling of abiotic stress tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 13(2): 206-212.
- TIMPSON J, 1965.** The results of a study of germination and seed dormancy in *Polugonum Lapathifolium* L., *P.*, *persicaria* L., *Phydropiper* L., *P. mite* Schrank and *P. minus* Hinds. Methods of breaking this dormancy are reported and its causes investigated. *New phytologist*. Vol 64, Issue 2., p: 179-186.
- TOUATI I., 2018-** Etude de potentiel de croissance et de production de plusieurs variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) sous les conditions arides de sud de l'Algérie (Cas de Ouargla). Université Kasdi merbah. Ourgla, p: 6-48-54-56-60.
- TURNER C., 1979.** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In *stress physiology in crop plants*. (MUSSEL. H STAPLES RC. eds). New York Wiley. Pp 343-372.
- TUNEUR NC., 1986.** Adaptation to water deficits : a changing perspective. *Edit. Aust J Plant Physiol*. Vol 13, pp 175- 90.
- TUNEUR NC., 1997.** Further progress in crop water relations. *Edit. Adv. Agron*. Vol 58, pp 293- 338.
- TUNEUR NC., 2000.** Drought resistance ; a comparison of two frameworks. *Edit. Genetic option*. Pp 5-12.
- TUNEUR NC., WRIGHT GC., SIDDIQUE KHM., 2001.** Adaptation of grain legume to water limited environments. *Edit. Adv. Agron*. Vol 71, pp 193- 231.

V

- VALENCIA CHAMORRO S A., 2004.** Quinoa. Ecole Polytechnique Nationale, Quito. Equateur, p: 1-7.
- VELASCO, A. A ; AMMON C.J et LAY.T. AND ZHANG, J. 1994.** Imaging a slow bilateral rupture with broadband seismic waves: The September 2, 1992 Nicaraguan tsunami earthquake. *Geophysical Research Letters* 21: doi: 10.1029/94GL02402. issn: 0094-8276.
- VINCENT R., 2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat, Université de Rennes1, 237p.

W

- WAHID, A., & CLOSE, T. J. (2007A).** Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum*, 51(1), 104–109.
- WAHID, A., GELANI, S., ASHRAF, M., & FOOLAD, M. R. (2007b, December).** Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 61, 199–223.
- WANG B S, LUTTGE U, RATAJCZAK R 2001.** Effects of salt treatment and osmotic stress on V-ATPase and V-PPase in leaves of the halophyte *Suaeda salsa*. *J Exp Bot*. 52: 2355-2365.
- WANG W.X., BRAK T., VINOCUR B., SHOSEYOV O. et ALTMAN A., 2003.** Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed), *Plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht : 439-443.

Références bibliographiques

WARD S.M, (2000). Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Res.*, (68),157-163.

WERETILNYK EA , S BEDNAREK, KF MCCUE, D RHODES 1989. Comparative biochemical and immunological studies of the glycine betaine synthesis pathway in diverse families of dicotyledons . *Planta* (1989)178:342-352.

WOLDEMICHAEL G., WINK M. (2001).Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *J. Agric. FoodChem.*, 49(5), 2327-2332.

WOODELL, S.R.J. (1985). Salinité et schemas de germination des grains dans les plantes cotières. *Végétatio*,61, 223-230.

Y

YAZAR A., İNCE KAYA C., 2014- A New Crop for Salt Affected and Dry Agricultural Areas of Turkey: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Çukurova University. Adana. Turkey. Vol (2). 1440-1446.

YOKOTA A., TAKAHARA K. et AKASHI K., 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 15-39.

Z

ZEID, I. M., & SHEDEED, Z. A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum*, 50(4), 635–640.

ZERRAD W., MAATAOUI B., HILALI S., EI ANTRI S. et HMYENE A., 2008. Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, Vol.9 (2): 27-36.

ZHANG J., DAVIES WJ., 1989- Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell Environ*, 12: 73-82.

ZHU J.K., 2001- Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 2001, n°2 vol. 6, p. 66-71.

ZHU N., SHENG S., SANG S., JHOO J.-W., BAI N., KARWE M., ET AL. (2002). Triterpene saponins from debittered quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *J. Agric. Food Chem.*, 50(4), 865-867.

ZINN, K. E., TUNC-OZDEMIR, M., & HARPER, J. F. (2010, APRIL). Temperature stress and plant sexual reproduction: Uncovering the weakest links. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 61, 1959–1968.