

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

Université Kasdi Merbah - Ouargla

Faculté des sciences de la nature et de la vie



Mémoire de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Présenté par :

M^{lle} Benmerad Yasmine

**Effets de la température et de la salinité sur la germination
des graines de trois variétés de quinoa.**

Soutenu le 22/06/2022 devant le jury

Membre de jury	Noms et Prénom	Grades	Etablissement
Promoteur	M. AZIB S	MCB	U.K.M.Ouargla
Co-promoteur	Mme DJERROUDI O.	MCA	U.K.M.Ouargla
Présidente	Mlle TRABELSI H.	MCA	U.K.M.Ouargla
Examinatrice	Mme KACI S	Docteur	U.K.M.Ouargla

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Après avoir rendu grâce au dieu le tout puissant et miséricordieux

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur M. AZIB. S. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants. Mlle TRABELSI H la présidente, Mme KACI S examinatrice de ce travail et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs Meriem et Amina, et mes frère ma tante et son mari, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie la famille sportive et mes amis Amel, Yousra, Raouf qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Tableau de matières

RAMERCIEMENT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHPITRE I : REPRESENTATION DE LA PLANTE

I.1	Généralités sur la plante.....	4
I.1.1	Origine.....	5
I.1.2	Classification botanique.....	6
I.1.3	Importance.....	6
I.2	Généralités sur le stress.....	7
I.2.1	Qu'est ce qu'un stress ?.....	7
I.2.2	Stress abiotique.....	8
I.2.3	Stress salin.....	8
I.2.4	Stress thermique.....	8
I.3	Effets des facteurs étudiés sur la germination de quinoa.....	9
I.3.1	Salinité.....	9
I.3.2	Effet de température.....	10

PARTIE PRATIQUE

CHPITRE I : MATERIEL ET MATHODES

I.1	L'objectif et la méthodologie du travail.....	12
I.2	Materiel vegetal	12
I.2.1	Choix des variétés.....	12
I.2.2	Choix des facteurs abiotique.....	13
I.2.3	Températures	13
I.3	Essai de germination	13
I.3.1	Désinfection des graines	13
I.4	Conduite de l'essai :	14
I.5	Paramètres biochimiques	14
I.5.1	Dosage de la proline :	14
I.5.2	Dosage des sucres solubles totaux.....	15

CHPITRE II : RESULTATS

II.1	Germination des graines dans les différentes conditions.....	18
II.1.1	Germination a 25°C :	18
II.1.2	Germination à 5°C :	19
II.1.3	Germination à 35°C	20
II.1.4	Germination à 45°C :	21

II.2	Analyses biochimiques :	22
II.2.1	La teneur en proline à 25 °C :.....	22
II.2.2	Teneur en proline à 5°C :.....	23
II.2.3	Teneur en sucre totaux :.....	23
II.2.4	Teneur en sucres totaux à 25°C :.....	24
II.2.5	Teneur en sucres totaux à 5°C :.....	25

CHPITRE III : DISCUSSION

CONCLUSION.....	29
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	31
RESUME.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Plants de quinoa avec deux couleurs de grains différentes (violet et rouge)....	5
Figure 2.	Zones agroécologiques pour l'Altiplano péruvien, adaptées de Tapia (1994).	6
Figure 3.	Mise des graines dans les boites de Pétri (Benmerad 2022).....	14
Figure 4.	Préparation de l'extrait de dosage de proline	15
Figure 5.	Taux de germination des trois variétés à 25°C sous différentes salinités.....	18
Figure 6.	Taux de germination des trois variétés à 5°C sous différentes salinités.....	19
Figure 7.	Taux de germinations des trois variétés à 35°C sous différentes salinité.....	20
Figure 8.	Taux de germination des trois à 45°C variétés sous différentes salinités.....	21
Figure 9.	Teneur en proline des trois variétés à 25°C.....	22
Figure 10.	Teneur en proline des trois variétés à 5°C.....	23
Figure 11.	Teneur en sucres totaux des deux variétés à 25°C.....	24
Figure 12.	Teneur en sucres totaux des deux variétés à 5°C.....	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	les vérités étudiées et leur origine	12
Tableau 2.	Caractéristiques morphologiques et provenance des graines des espèces étudiées.	17

INTRODUCTION

La germination et la croissance des plantes dépendent de plusieurs facteurs environnementaux et de leurs combinaisons. Le stress abiotique est la première cause de pertes de récoltes, diminuant les rendements de plus de 50% dans le monde entier. Bon nombre de ces facteurs de stress se combinent naturellement (Mittler, 2006).

Selon Suzuki et Rivero (2014), les principaux stress abiotiques tels que la sécheresse, l'engorgement, la forte salinité, les métaux lourds, la chaleur excessive, le gel et le rayonnement ultraviolet (UV) ont été largement étudié chez les plantes.

Dans le monde entier, des pertes agricoles considérables ont été attribuées à la chaleur, souvent en combinaison avec la sécheresse (Sehgal et Sita, 2017). Le stress thermique produit différentes réponses selon les espèces végétales, en fonction de la durée de la température et du stade de développement de la plantes.

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est un aliment de base domestiquée en Amérique du Sud (région andine). Il s'agit principalement d'une culture récoltée et consommée d'une manière similaire à celle des céréales, bien que ses feuilles soient également utilisées comme herbe potagère. (Peter J. Maughan.al.). Cette culture présente un potentiel de rendement élevé dans des conditions climatiques et pédologiques défavorables. En outre, les grains présentent des propriétés nutritionnelles améliorées, et sont utilisées comme fourrage et culture de couverture (Strenske et *al.*, 2017).

Le quinoa tolère des stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité Yang et *al*2016. La réponse du quinoa à la salinité a été étudiée intensément au cours des 20 dernières années où plus de 120 études sur la relation entre la salinité et le quinoa étaient publiées entre 1998 et 2018, parmi celle-ci, environ 60% des études ont été publié au cours des cinq dernières années.

La forte salinité est considérée comme l'un des principaux stress abiotiques qui limitent le rendement des cultures car elle entraîne une réduction de la photosynthèse, la respiration et de la synthèse des protéines. La réduction de la photosynthèse, la dénaturalisation des membranes, le déséquilibre des nutriments, la fermeture des stomates et l'augmentation

spectaculaire de la production de **formes activées de l'oxygène (ROS**, pour *Reactive Oxygen Species*) sont les principaux changements physiologiques des plantes soumises au stress de la salinité.

Une température excessivement élevée pendant la croissance des plantes est considérée, en plus de la salinité, comme l'un des stress abiotiques les plus importants, qui est signalée avec une fréquence croissante en raison des conséquences du changement climatique actuel (Awasthi, 2015).

Le stress thermique chez les plantes est défini comme une augmentation de la température de l'air au-dessus de la température optimale de croissance pendant une durée suffisante pour causer des dommages et, par conséquent, limiter la croissance et le développement, (Wahid et Gelani, 2007).

Sur la base des connaissances actuelles, l'objectif de cette recherche était d'évaluer l'effet du stress thermique (de 4/25/35/45 °C) et de la salinité (de 0/2/4/6/8/ g/l de NaCl) sur le processus de germination et de croissance des plantules de trois variétés quinoa (Giza 2 /Q102/Q103).

PARTIE THEORIQUE

I.1 Généralités sur la plante

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante herbacée annuelle .C'est une plante dicotylédone qui possède des graines amylacées (akènes). Sa hauteur varie de 0.91 à 2.13 mètre, Selon les variétés, sa tige centrale ligneuse peut être ramifiée ou non et de couleur variable (verte, rouge ou violette) (figure01). Les panicules de fleurs apparaissent à l'aisselle des feuilles, le long de la tige, ou elles peuvent naître au sommet de la plante. En général, les fleurs sont autofécondées, mais la pollinisation croisée est également possible.

Le quinoa est un produit alimentaire hautement nutritif, cultivé depuis plusieurs milliers d'années en Amérique du Sud, avec une qualité protéique exceptionnelle et une teneur élevée en une gamme de vitamines et de minéraux. D'autres aspects positifs du quinoa sont les saponines présentes dans la coque des graines et le manque de gluten. Le quinoa est l'une des principales cultures vivrières des montagnes andines, mais ces derniers temps, le produit a suscité un intérêt accru aux États-Unis, en Europe et en Asie. Il a été sélectionné par la FAO comme l'une des cultures destinées à assurer la sécurité alimentaire au siècle prochain.

La variabilité génétique du quinoa est énorme et cultivars étant adaptés à la croissance du niveau de la mer (4000 mètres), et du climat froid des hautes terres aux conditions subtropicales. Cela permet de sélectionner, d'adapter et de cultiver des cultivars pour un large éventail de conditions environnementales. Le quinoa a un potentiel mondial important en tant que nouvelle espèce cultivée et en tant que produit importé d'Amérique du Sud.

La classification du quinoa a d'abord été faite à partir la couleur de la plante et des fruits. Par la suite, elle s'est basée sur les types morphologiques de la plante. Malgré la grande variation observée, le quinoa est considéré comme une seule espèce. Pour la pratique raisons, le quinoa, comme le maïs, a été classé comme une race. Le quinoa récolté en Équateur, au Pérou et en Bolivie a été classé en 17 races, cependant, d'autres races peuvent exister. Deux types d'inflorescences ont été décrits (Valencia ;Chamorro, 2003) :

- Glomérules - petits groupes de fleurs (glomer-uli) provenant d'axes tertiaires.
- Les Amaranthiformes ont des glomérules provenant principalement des axes secondaires.



Figure 1. **Plants de quinoa avec deux couleurs de grains différentes (violet et rouge)**

I.1.1 Origine

Le quinoa est une plante indigène ressemblant à une céréale, cultivée à l'origine dans la région andine de l'Amérique du Sud, notamment au Pérou, Bolivie, Équateur, en Colombie et au Chili. Il s'agit d'une culture céréalière sans gluten qui est sans risque pour les malades coeliaques. Il y a près de 3000 à 4000 ans, cette merveilleuse culture a été domestiquée pour la consommation humaine et l'alimentation du bétail. Ces dernières années, elle a été introduite dans d'autres régions du monde comme l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Australie, la Chine et le Japon (figure 02).

Autrefois, le quinoa était connu de plusieurs noms dans les langues locales. Pulgar Vidal, (1954) mentionnait que les gens de cultures différentes l'appelaient de différentes manières. León, (1964) a écrit que les noms « quinua » et « quinoa » étaient utilisés en Bolivie, au Pérou, en Équateur, en Argentine et au Chili.

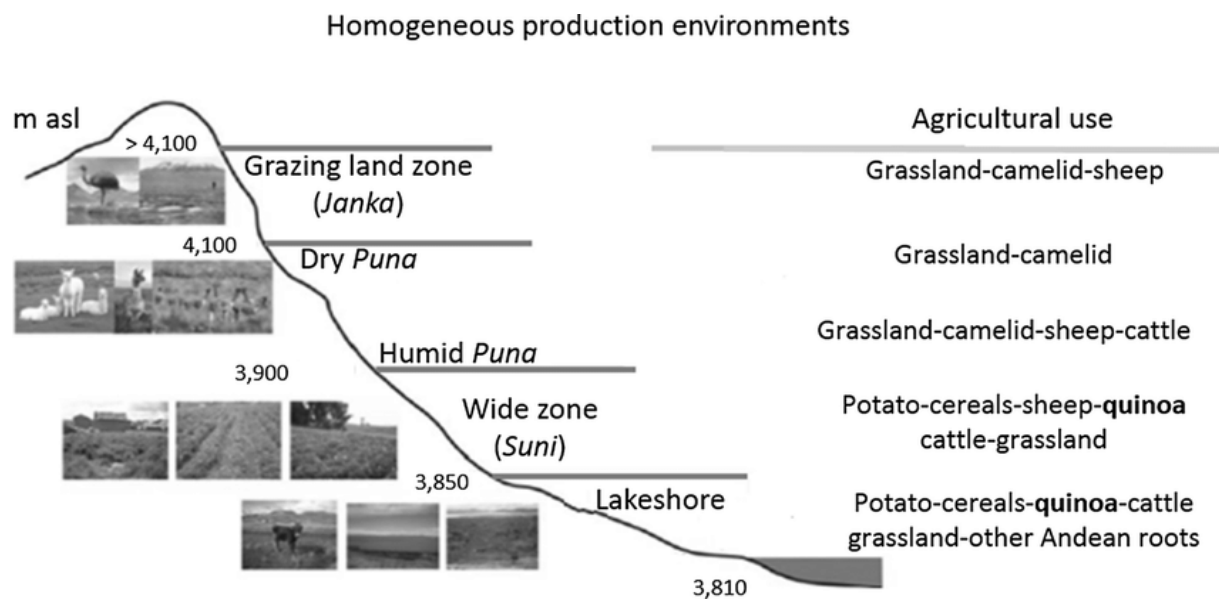


Figure 2. **Zones agroécologiques pour l'Altiplano péruvien, adaptées de Tapia (1994).**

I.1.2 Classification botanique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante annuelle dicotylédone herbacée, angiosperme de la famille Amaranaceae, genre *Chenopodium*, section *Chenopodia*, sous section *Cellulata*. Le *Chenopodium* est le genre le plus important de la famille des Amaranaceae avec plus de 250 espèces répandues mondialement Giusti, (1970). Le quinoa est une espèce allotétraploïde et possède 36 chromosomes (Gandarilla, 1979 ; Mujica et *al.* 2001).

I.1.3 Importance

Le quinoa présentant d'excellentes caractéristiques nutritives et une composition phytochimique. Les grains de quinoa, sans gluten, constituent une source d'énergie précieuse pour plusieurs acteurs de la société, notamment les enfants, les personnes âgées et les athlètes de haut niveau. Le quinoa a été une source unique de nutrition et de complément alimentaire pour des milliers de personnes mal nourries dans le monde. Les connaissances actuelles sur l'utilisation du quinoa et ses bénéfices pour la santé humaine devraient être améliorées parmi tous les acteurs de la société. 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.) cependant, son principal intérêt nutritif réside dans sa composition équilibrée et complète en amino acides essentiels (la lysine fait généralement défaut dans les autres céréales),(Chauhan et *al.*, 1992),en outre, elle offre un contenu en minéraux très supérieur à celui des céréales classiques, en particulier en phosphore, magnésium, potassium et fer.

Utilisations du quinoa :

- Alimentation humaine : On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule.
- Industrie alimentaire : Les grains et la farine de quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie de la farine. Le quinoa peut être associé aux légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle.
- Alimentation animale : La plante entière sert de fourrage vert.

Autres utilisations industrielles: Au quinoa est associé toute une gamme de sousproduits destinés à l'alimentation, à la cosmétique, aux applications pharmaceutiques et à d'autres utilisations (Herbillon, 2015)

I.2 Généralités sur le stress

I.2.1 Qu'est ce qu'un stress ?

La définition la plus pratique d'un stress biologique est une force ou une condition défavorable, qui inhibe le fonctionnement normal et le bien-être d'un système biologique tel que les plantes.

Selon Levitt, (1987), il s'agit d'un facteur environnemental "défavorable" pour l'organisme considéré. Par conséquent, la capacité d'un organisme à survivre à des facteurs défavorables est appelée "résistance au stress".

I.2.2 Stress abiotique

Un stress abiotique est une réponse de la plante à des changements environnementaux (lumière, eau, carbone, minéraux, température, salinité.....), induisant une réduction de développement et de croissance.

I.2.3 Stress salin

La salinité des sols est un stress abiotique majeur qui menace sérieusement la croissance des plantes et la sécurité alimentaire (Roy *et al.*, 2011). Dans les décennies à venir, les zones agricoles touchées par le sel vont s'étendre en raison à la fois du changement climatique et d'une mauvaise gestion des terres (Daliakopoulos *et al.*, 2016). La remédiation des terres affectées par le sel est nécessaire, mais il faudra des années avant que les cultures alimentaires standard puissent être cultivées à nouveau.

La salinité influence de nombreuses processus morphologiques, physiologiques et biochimiques, y compris la germination des graines, la croissance et le développement des plantes, l'absorption de l'eau et l'absorption des éléments minéraux (Willenborg *et al.*, 2004 ; Mahajan et Tuteja, 2005 ; Faghire *et al.*, 2011).

Les halophytes sont des espèces végétales qui sont naturellement bien adaptées à une salinité élevée, et qui peuvent survivre, croître et se reproduire dans des conditions de salinité extrême (Flowers et Colmer, 2008). Cependant, la plupart des halophytes présentent peu d'intérêt pour l'agriculture car leurs rendements sont trop faibles ou leur biomasse inadaptée à l'alimentation humaine ou animale (Shabala, 2013).

I.2.4 Stress thermique

Le stress thermique dû à des températures ambiantes élevées est une menace sérieuse pour la production agricole dans le monde entier (Hall, 2001) qui provoquent toute une série de changements morpho-anatomiques, physiologiques et biochimiques dans les plantes et affectent leur croissance et leur développement et peuvent conduire à une réduction drastique du rendement économique (Giaveno et Ferrero, 2003).

L'effet combiné de la température et de la salinité réduisent, au stade jeune, le taux et le pourcentage de germination et de croissance ultérieure des semis González et Prado , (1992).

I.3 Effets des facteurs étudiés sur la germination de quinoa

I.3.1 Salinité

L'établissement des semis est un processus critique dans la vie d'une plante, surtout en présence de facteurs environnementaux défavorables (Bohnert *et al.* 1995). Par rapport aux glycophytes, les halophytes peuvent faire face à des niveaux élevés de sel pendant la germination (Malcolm *et al.* ,2003 ; Debez *et al.* ,2004). Cependant, il a été démontré dans plusieurs études que même les halophytes sont relativement sensibles à la salinité pendant les étapes de la germination et de l'émergence des semis. (Ungar, 1996; Khan et Abdullah, 2003; Debez *et al.* ,2004; Tobe *et al.* ,2000 et Malcolm *et al.* ,2003)

Une grande variabilité de la tolérance à la salinité parmi les génotypes de quinoa a été signalée Gómez-Pando, (2010) ; Shabala, et Hariadi, (2013) et Aloisi, et Parrotta, (2016)

Cependant, des concentrations comprises entre 150 et 250 mM de NaCl retardent le début de la germination Orsini et Accorsi, (2011). Des changements dans l'activité invertase et le métabolisme des sucres solubles ont également été détectés au cours de la germination du quinoa, également été détectés pendant le processus de germination du quinoa sous stress salin (Rosa et Hila, 2004), au stade de la plantule.

Le stress osmotique produit par une concentration élevée de sel augmente la production d'ABA dans les racines et son transport ultérieur vers les feuilles comme un signal pour réguler la conductance stomatique. La fermeture des stomates réduit la perte d'eau mais aussi l'absorption de CO₂, inhibant ainsi la photosynthèse (Dinnyeny, 2015).

Cependant, Ismail *et al.* (2016) ont montré que la proline pourrait ne pas jouer un rôle majeur ni dans l'ajustement osmotique ni dans le mécanisme de tolérance tissulaire. Mais, l'antioxydant non enzymatique rutine améliore la tolérance à la salinité du quinoa en piégeant les radicaux hydroxylés. d'hydroxyle. La choline (Cho⁺) est un précurseur métabolique de la glycine bêtaïne et joue un rôle important dans l'ajustement osmotique au stress de la salinité.

On peut en conclure que la capacité de germination et de l'établissement des semis dans des conditions salines dépendent des variétés et probablement aussi du substrat dans lequel les graines germent. Cependant, le quinoa prouve en général une grande capacité de faire face à la salinité dans cette phase précoce et critique du développement.

I.3.2 Effet de température

De nombreuses études ont été menées dans différents régimes de température pour décrire l'effet de la température sur la germination du quinoa (Murphy ,2016), Par exemple, des études ont trouvé une relation linéaire positive entre le taux de germination et la température du quinoa (González et Buedo, 2017).

Selon Jacobsen et Bach, (1998), Les résultats ont suggéré que la température optimale de germination est de 30 à 35°C, la germination maximale est de 50°C, et la température de germination de base est de 3°C.

Les graines de quinoa peuvent être conservées pendant 430 jours dans des conditions environnementales contrôlées, à une température constante de 25°C, avant que la germination ne décline complètement Strenske et Vasconcelos, (2017), Selon ces résultats, le quinoa est très tolérant à la chaleur pendant sa phase de germination et est capable de germer dans une large gamme de température.

PARTIE
PRATIQUE

III.1 L'OBJECTIF ET LA METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Le principal objectif de ce travail est la détermination des meilleures conditions de germination de trois variétés de quinoa (Q102, Q103 et GIZA) en couplant deux facteurs abiotiques, à savoir la température et la salinité, ayant une grande incidence sur les différentes phases biologiques des plantes en conditions sahariennes.

I.4 MATERIEL VEGETAL

I.4.1 CHOIX DES VARIETES

Le matériel végétal utilisé dans notre travail est constitué des graines de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (GIZA, Q102 et Q103). Notre choix est basé sur la disponibilité des graines.

Tableau 1. Les vérités étudiées et leur origine

Code	Lignée	Origine
GIZA 2	/	Egypte
Q103	Blanca de junin	Pérou
Q102	Amanilla sacaca	Pérou

Par manque d'informations relatives aux variétés prises dans cette étude, nous avons tenté d'y pallier à ça en mesurant le PMG (Le poids de 1000 graines) qui est une composante essentielle du rendement et une caractéristique variétale propre à chacune d'elle. Selon Touati (2018), il est lié à l'eau absorbé pendant la phase floraison à maturité. Il est aussi en fonction des conditions de la nutrition minérale de la plante et aux conditions climatiques.

Nous avons compté pour chaque variété 1000, graines avec 3 répétitions. Puis, leur poids a été déterminé.

I.4.2 CHOIX DES FACTEURS ABIOTIQUE

Le choix des paramètres à étudier est conditionné par le contexte dans lequel l'étude est menée. Si on prend en considération notre région d'étude, nous pouvons de ce fait dire que la salinité (des eaux et du sol) et les températures élevées sont les deux facteurs édapho-climatiques qui limitent le plus la croissance végétale.

I.4.2.1 Salinité

Pour réaliser l'essai de la germination, nous avons effectué une recherche bibliographique sur la salinité des sols et des eaux d'irrigation de la région d'Ouargla afin de choisir les concentrations de NaCl qui se rapprochent à la réalité du terrain. A cet effet, nous avons fixé ces concentrations à : 0, 2, 4, 6 et 8g/l.

I.4.3 TEMPERATURES

En 2013 par exemple, la région de Ouargla est caractérisée par des températures minimales les plus faibles enregistrées en janvier (4,9°C), alors que la maximale est enregistrée en juillet (43,5 °C) (Ben Abdallah, 2014). A cet effet, nous avons fixés ces températures suivantes : 5, 25, 35 et 45°C.

I.5 ESSAI DE GERMINATION

I.5.1 DESINFECTION DES GRAINES

Les graines de quinoa choisies considérées comme saines, ont été sélectionnées selon leur taille, leur forme et leur PMG. Elles ont ensuite été désinfectées par l'hypochlorite de sodium à 12 % pendant 5 min Prado et *al.* (2000), puis rincées plusieurs fois soigneusement avec de l'eau distillée stérile pour éliminer toute trace de chlore. Ces dernières ont été séchées avec des compresses stériles.

Au bout d'une semaine les mesures suivantes ont été réalisées sur les graines germées :

I.5.1.1 Taux de germination finale (TGF) :

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification du facteur qui présente le mieux la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé en % par le rapport nombre de graines germées sur le nombre total de graines (Côme, 1970).

$$\text{TGF} = (n / N) * 100$$

n= Nombre de graines germées ; N= Nombre total de graines mises en germination

I.6 CONDUITE DE L'ESSAI :

Les graines sont déposées sur un papier filtre stérile placé dans des boîtes de Pétri stérile en plastique (90 mm de diamètre). Un total de 50 graines sont mises à germer dans chaque boîte et pour chaque variété. Une quantité de 5 ml de d'eau saline est e.st additionnée à chaque condition selon la concentration souhaitée (voire **1.2.1**).



Figure 3. Mise des graines dans les boîtes de Pétri

I.7 PARAMETRES BIOCHIMIQUES

I.7.1 DOSAGE DE LA PROLINE :

L'accumulation de proline dans le système racinaire et foliaire est la plus manifestations importantes de salinité et de stress hydrique. Cette accumulation sera le signe de perturbation du métabolisme ou/et les processus de stockage de l'azote survie cellulaire (Hanson et al., 1977).

Selon Voetberg et Sharp, (1991), la proline pourrait contribuer à l'ajustement du potentiel osmotique interne de la plante. En outre, l'augmentation de la proline est souvent corrélée avec la capacité des plantes à survivre en condition de stress.

Le dosage de la proline est réalisé selon la méthode de Troll et Lindsey, (1955) améliorée par Lahrer et Magne, (1992). Le principe de la méthode consiste à prendre 250mg de matière fraîche (feuilles et tiges) ; les Couper en petit morceaux puis l'introduire dans un tube à essai ; ajoute ensuite 5ml d'éthanol diluée (20 ml éthanol 20 ml eau distillée) et chauffer le mélange au bain Marie à la température de 85°C pendant 10 minutes. On procède ensuite au refroidissement : on prélève 1 ml de l'extrait, auquel on ajoute 1ml de mélange (3ml d'acide acétique et 10ml acide ortho phosphorique on ajoute enfin 25mg de ninhydrine). La solution est portée à ébullition pendant 30 min à la température 100 c ; on refroidit la solution puis on ajoute 5 ml de toluène est on procède à l'agitation du mélange ; la lecteur au spectrophotométrie a densité 528 nM .



Figure 4. Préparation de l'extrait de dosage de proline

I.7.2 DOSAGE DES SUCRES SOLUBLES TOTAUX

Le stress salin induit chez plusieurs espèces de plantes des modifications dans les teneurs relatives des hydrates de carbone avec une accumulation plus ou moins importante des sucres solubles totaux (saccharose, glucose et fructose). Ces derniers semblent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique (Rhodes, 1987).

100 mg de graines germées ont été séchées au four à 70 °C pendant 24h, homogénéisées dans d'éthanol à 80 % et placées dans un bain- marie à 80 °C pendant 30min. Après

centrifugation à 3000 g pendant 5 min, les échantillons ont été lavés deux fois avec l'eau distillée température ambiante. Chaque échantillon a été remis en suspension avec 3 ml de l'eau distillée et bouilli pendant 2 h (Amirjani, 2011). Les teneurs en sucres totaux ont été estimées par la méthode de phénol sulfurique décrite par Dubois et *al.* (1956). Cette méthode consiste à mélanger la solution à doser (1 ml) avec 1 ml de phénol (5%) et 5 ml d'acide sulfurique. Les mélanges sont placés au bain-marie à 30°C pendant 20 min puis refroidis sous eau à 20°C. L'absorbance est mesurée à 490 nm. Les teneurs sont déterminées en référence à une gamme étalon de glucose.

I.7.3 Poids des 1000 graines (PMG) et l'aspect des graines :

Les caractéristiques morphologiques des graines sont résumées dans le tableau 02ci-dessous:

Tableau 2. Caractéristiques morphologiques et provenance des graines des espèces étudiées.

	Q102	Q103	GIZA2
Dimensions (mm)	2mm	2 mm	2 à 3mm
Couleur	Jaune orangé	Blanc jaunâtre	Blanchâtre rosée
Forme	Ronde aplaté	Ronde aplaté	Ronde
PMG	3.49±0.55	3.86±0.20	7.13±0.15

Le tableau ci-dessus montre que les variétés de quinoa étudiées possèdent des formes et des couleurs différentes.

Le poids de 1000 graines est aussi différent. La variété GIZA 2 est de loin celle ayant le PMG le plus élevé. Selon Touati (2018), il est lié à l'eau absorbé pendant la phase floraison à maturité. Il est aussi en fonction des conditions de la nutrition minérale de la plante et aux conditions climatiques.

I.7.3 Pré-germination

Avant d'entamer nos essais, nous avons effectué une pré-germination pour estimer le pouvoir germinatif des graines. Ce dernier est défini comme étant l'aptitude d'une graine à germer, soit la durée maximale qu'une graine peut consentir avant de perdre la capacité de germer, quand l'ensemble des conditions sont réunies.

Les résultats obtenus (**tableau03.**) montrent que le pourcentage de germination des trois variétés étudiées est élevé surtout chez la variété GIZA02 qui a donné un pourcentage de germination de 100%.

Tableau 3. Résultats de pré germination

Variétés	Nombre de graines (× 3 répétitions)	Nombres de graines germées	Pourcentages de germination
GIZA2	50	50	100%
Q102	50	37.5	85%
Q103	50	28.5	57%

II.1 Germination des graines dans les différentes conditions

II.1.1 GERMINATION A 25°C :

Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination, en conditions de stress salin et de températures, donne une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées.

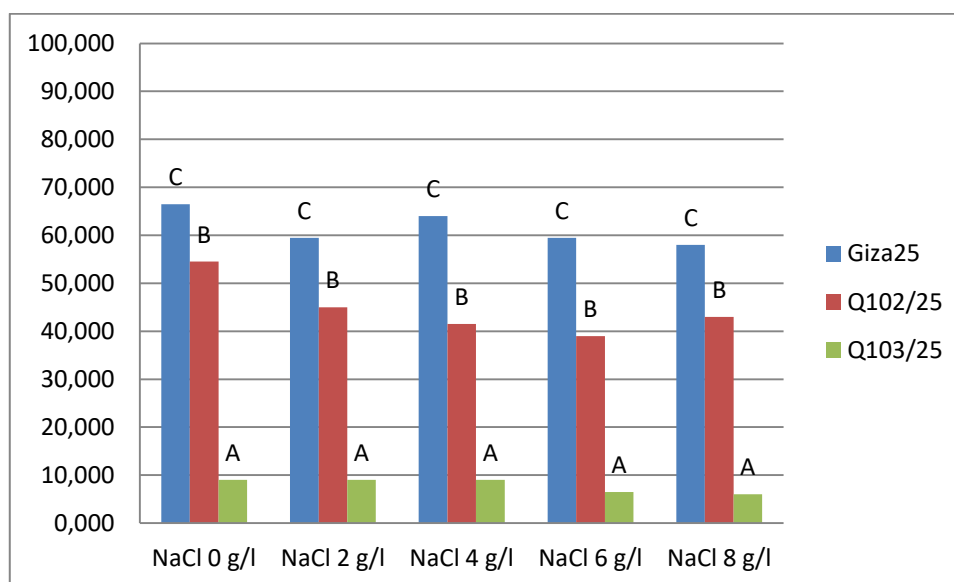


Figure 5. **Taux de germination des trois variétés à 25°C sous différentes salinités**

La figure 05 montre des différences significatives de la germination des graines sous les différentes concentrations salines.

Les résultats obtenus montrent, premièrement, que le taux de germination le plus élevé est enregistré par la variété GIZA2 (66.500 %), suivie par la variété Q102 (54.500%) et la variété Q103 (9 %) respectivement. Deuxièmement, les réponses des variétés sont différentes face à au stress salins. Ce dernier affecte, le plus, la variété Q103 qui ne semble pas être tolérante du tout au stress salin. La variété GIZA2 est celle ayant montré les meilleurs résultats.

Il est important de signaler que l'effet de l'augmentation des concentrations salines n'a pas eu d'effet significatif sur les taux de germination des trois variétés. Par exemple, pour la variété GIZA2, le taux de germination est comparable entre les différentes concentrations salines. La même remarque s'applique aussi aux deux autres variétés (Q102 et Q103).

II.1.2 GERMINATION A 5°C :

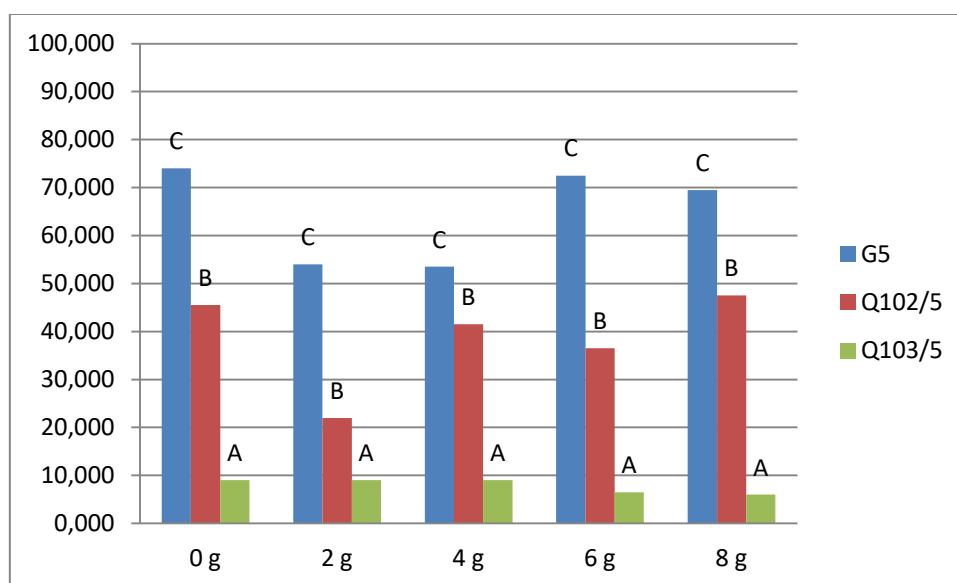


Figure 6. **Taux de germination des trois variétés à 5°C sous différentes salinités**

Il apparaît que l'effet combiné de la température basse et de la salinité a un effet significatif sur la germination des graines des trois variétés, tel que montré par la figure 06.

Les résultats obtenus montrent, tout d'abord, que les réponses des variétés sont différentes face à la température basse de 5°C. Cette dernière affecte, le plus, la variété Q103 (9% de germination) qui ne semble pas résister au froid.

La variété GIZA2 est celle ayant montré les meilleurs résultats de germination (74%) à cette température montrant ainsi une résistance au froid comparativement aux autres.

Pour ce qui est de la salinité, l'analyse de la variance montre des résultats significatifs entre les variétés. Il est important de souligner que, à l'intérieur de variétés, l'effet de l'augmentation des concentrations salines n'a pas eu d'effet significatif.

II.1.3 GERMINATION A 35°C

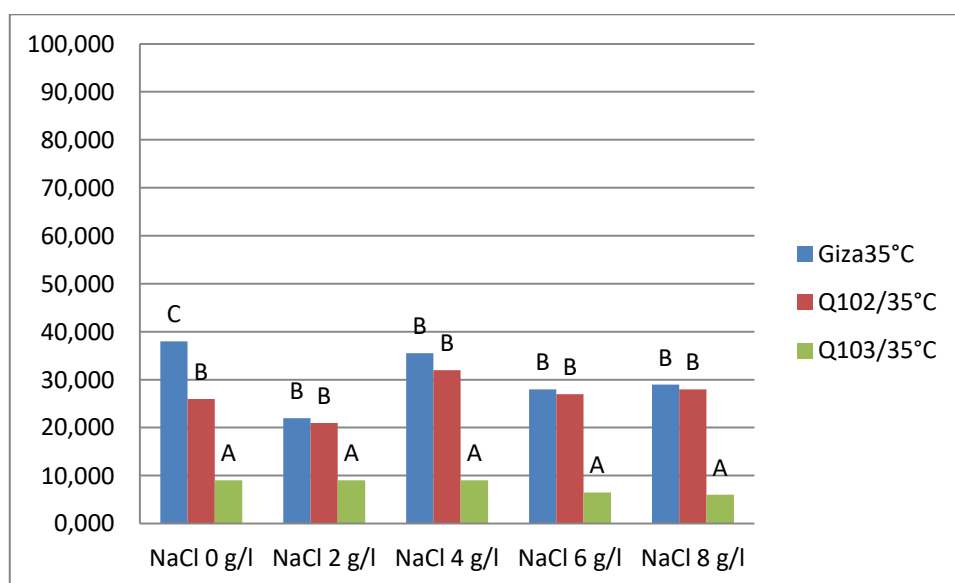


Figure 7. **Taux de germinations des trois variétés à 35°C sous différentes salinité**

Il apparaît que l'effet combiné de la température élevée et de la salinité ont un effet significatif sur la germination des graines des trois variétés comme indiqué sur la figure 07. Les résultats obtenus montrent que, tout d'abord, les taux de germination sont faibles comparés aux températures 5°C et 25°C. Les différentes variétés réagissent différemment à la température 35°C. Cette dernière a le plus d'impact sur la variété Q103(9%), qui semble totalement intolérante face au stress. Les variétés GIZA2 et Q102 (32%) ne présentent pas de différences de germination sauf à concentration 0g/l où GIZA a eu le meilleur résultat (38%).

Quant à la salinité, l'ANOVA a montré des résultats significatifs entre les variétés. Il convient de souligner que l'effet de l'augmentation de la concentration en sel n'a pas affectée significativement les taux de germination des variétés.

II.1.4 GERMINATION A 45°C :

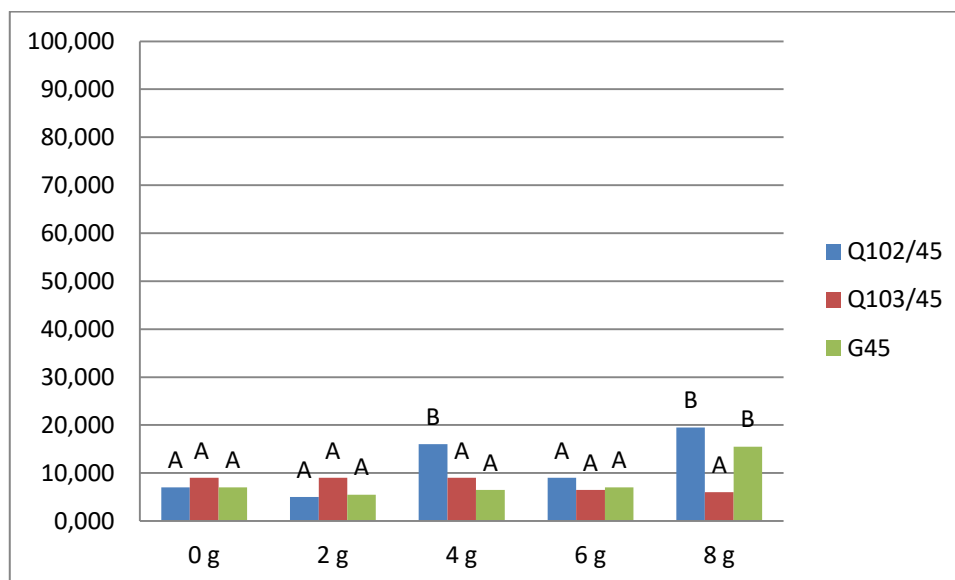


Figure 8. **Taux de germination des trois à 45°C variétés sous différentes salinités**

La combinaison des hautes température-salinité a un effet inhibiteur sur les germinations des trois variétés GIZA2, Q102 et Q103. Les résultats sont mentionnés dans la figure 08.

La variété Q102 montre une meilleure tolérance face à la température 45°C, comparativement aux autres variétés, avec un taux de germination de 19% sous la concentration en NaCl la plus élevée (8 g/l). Cependant, la variété GIZA2 nous donne un taux de germination faible (15%) comparativement aux autres températures où elle a enregistré les meilleurs résultats. D'autre part, Q103 montre les valeurs les plus faibles (6%) aux salinités les plus élevées.

II.2 Analyses biochimiques :

II.2.1 LA TENEUR EN PROLINE A 25 °C :

Le stress salin provoque l'augmentation de la teneur en proline chez les graines stressées en réponse à l'effet toxique de NaCl. L'impact de différentes concentrations de NaCl sur la teneur en proline est évalué et les résultats sont illustrés dans la figure 09.

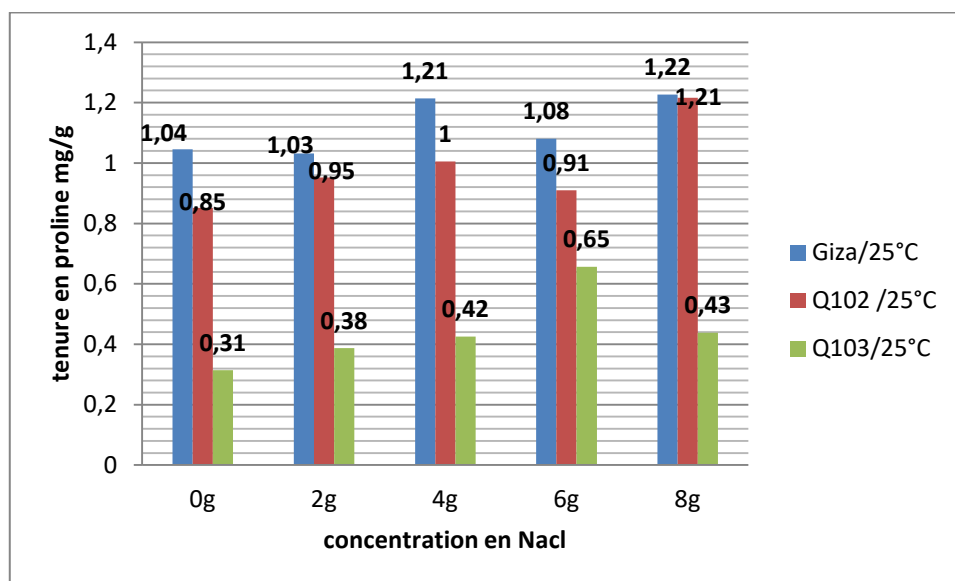


Figure 9. Teneur en proline des trois variétés à 25°C

Au vu des résultats de la figure, il est noté que la salinité affecte la teneur en proline des trois variétés et que GIZA2 est la variété la plus sensible. Les teneurs en prolines les plus élevées sont obtenues par la variété GIZA, avec des valeurs allant de 1.04 jusqu'à 1.22 $\mu\text{M/g}$, suivie par les variétés Q102 et Q103, respectivement, où les taux de prolines sont les moins importants.

II.2.2 TENEUR EN PROLINE A 5°C :

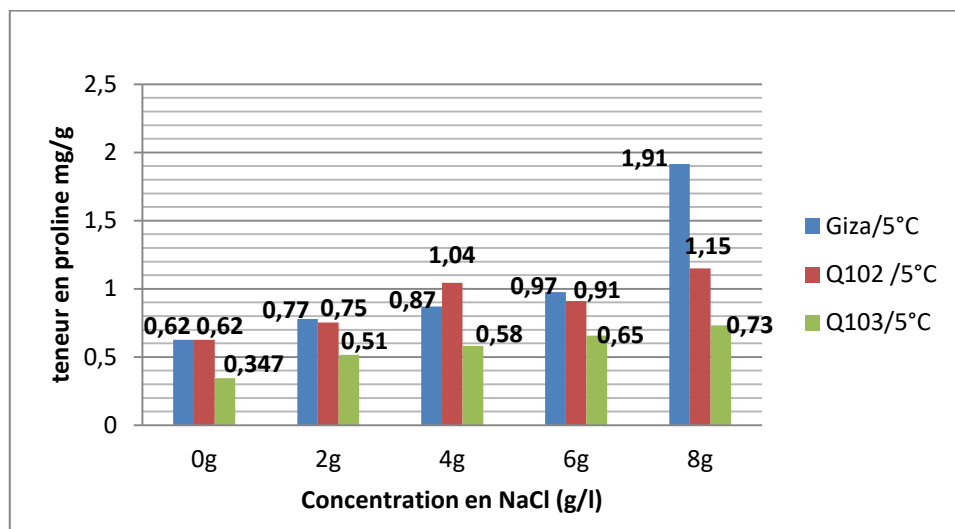


Figure 10. Teneur en proline des trois variétés à 5°C.

La teneur en proline dans l'interaction salinités et température 5°C, les résultats montrent que la teneur en proline augmente avec l'augmentation de la salinité. GIZA2 a enregistré les valeurs les plus élevées allant jusqu'à 1.914µM/g à 8 g/l d'NaCl, suivie par la variété Q102 (1.150 µM/g) et la variété Q103 qui paraît sensible à la salinité (0.7316 µM/g).

II.2.3 TENURE EN SUCRE TOTAUX :

Sous l'effet de stress salin, le teneur en sucres solubles des graines germées traitées sont déterminées par la méthode de Dubois et al. (1956). Les résultats obtenus sont regroupés dans les figures.

II.2.4 TENEUR EN SUCRES TOTAUX A 25°C :

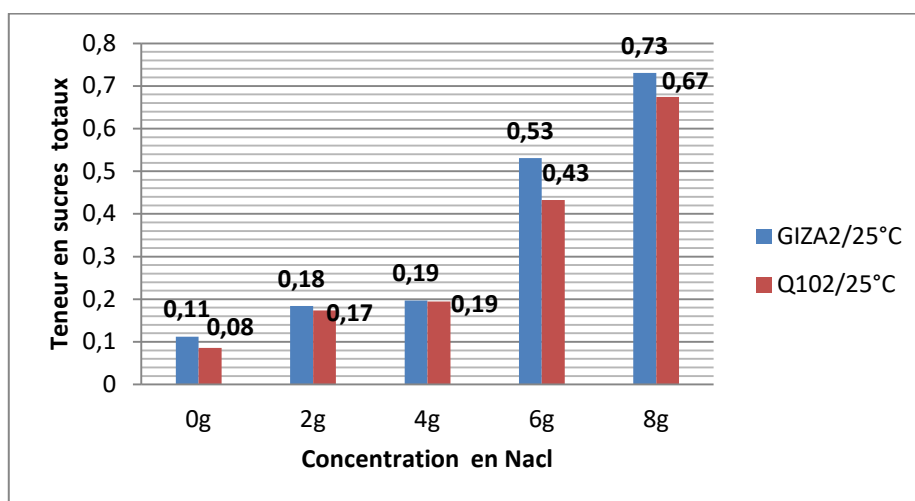


Figure 11. **Teneur en sucres totaux des deux variétés à 25°C**

Les résultats illustrés dans la figure 11 montrent que la teneur en sucres solubles dans grains germées à 25°C sous différentes salinités. La teneur en sucres solubles dans les graines traitées avec 0g de NaCl est très faible chez les deux variétés (GIZA2 et Q102), et augmente au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur en NaCl pour atteindre un maximum de sucres solubles de l'ordre de 0.73 $\mu\text{M/g}$ et 0.67 $\mu\text{M/g}$ à la concentration de 8g/l NaCl respectivement chez GIZA2 et Q102.

II.2.5 TENEUR EN SUCRES TOTAUX A 5°C :

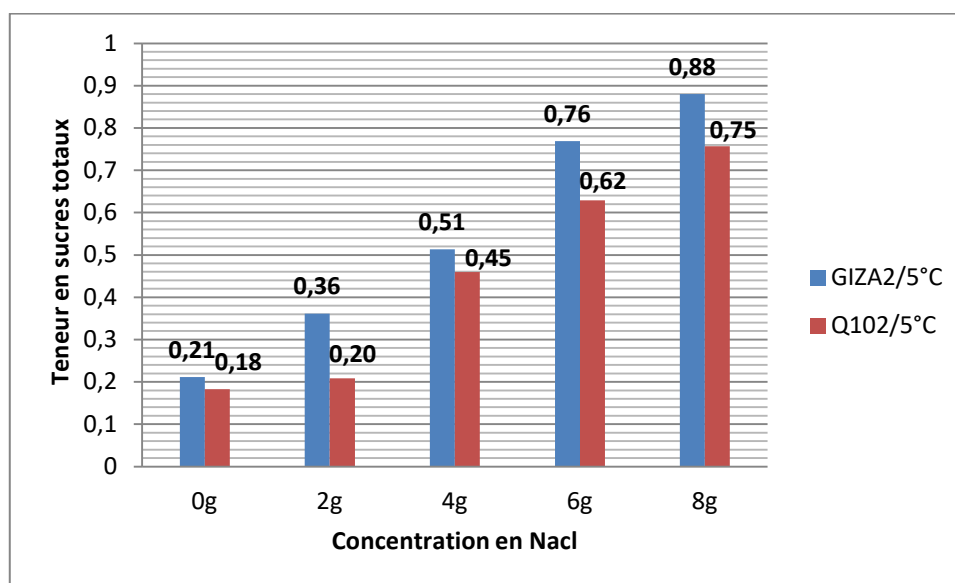


Figure 12. Teneur en sucres totaux des deux variétés à 5°C

Au vu des résultats de la figure 12, il est noter que l'interaction des différentes salinités - température basse affecte le teneur en sucres totaux. Ces derniers augmentent avec l'augmentation du stress salin chez les deux variétés avec une légère supériorité de la variété GIZA. La teneur maximale est atteinte avec GIZA2 (0.88µg/g) sous la concentration d'NaCl de 8g/l, et un minimum de 0.21 µg/g à 0g/l.

Vu l'insuffisance des graines germées de la variété Q103, les analyses des sucres totaux n'ont pas pu être réalisés pour les températures de 35°C et 45°C.

Les halophytes développent des caractéristiques leur permettant de s'adapter aux conditions stressantes de leurs habitats d'origine au moyen d'un certain nombre de réponses adaptatives aux différents stades phénologique (de la germination jusqu'au développement végétatif). Le stade de germination des graines est la première étape importante du cycle de vie des plantes et est l'étape la plus critique pour la formation des plantules au vu de leur sensibilité aux conditions de stress (Ibrahim, 2016).

Le stress environnemental est un sujet de préoccupation majeur pour les scientifiques car il limite la productivité des plantes et des cultures.

Dans la présente étude, la combinaison des températures élevées avec différents niveau salinité, a montré un effet inhibiteur sur les germinations des trois variétés GIZA2, Q102 et Q103, comparé à la température 25°C qui a eu les meilleurs résultats.

Nos résultats concordent avec ceux de González et Prado (1992) et Brakez El Brik et *al.* (2013) qui ont indiqué que le chlorure de sodium en combinaison avec basses et hautes températures affecte l'initiation de la germination particulièrement. Le quinoa peut germer dans des conditions de stress élevé. Cette capacité à germer en présence de sel a été expliquée par Koyro et Eisa (2008) par le faite que la présence de péricarpe qui recouvre la graine joue le rôle d'une barrière pour éviter le passage des ions toxiques à l'intérieur de graine.

Nos résultats sont en accord également, avec ceux de Sun et *al.* (2017) et Fischer et Wilckens (2017) ayant souligné que les concentrations de sel entre 100 et 250 mM de NaCl n'affectent pas les taux de germination de la plupart des génotypes de quinoa, et que les conditions optimales de salinité pour la croissance des plantes de quinoa se situent entre 100 et 200 mM de NaCl.

La diminution du taux de germination final peut être expliquée par, soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines, ou bien par une accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans l'embryon (Groome et *al.*, 1991). Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions (Hajlaoui et *al.*, 2007).

A fin d'identifier les mécanismes adoptés par le quinoa pour sa résistance face aux stress combinés (température-salinité), nous nous sommes dirigés vers les analyses biochimiques des osmoprotecteurs (osmoregulateurs) tels que la proline et les sucres totaux.

Dans ce contexte, les résultats montrent les changements survenus dans les teneurs en sucres solubles totaux et en proline lors de l'exposition des graines de quinoa au stress salin et thermique et qui pourraient être très utiles dans la compréhension des événements physiologiques associés à la germination des graines sous stress.

Pour cela, nos résultats étaient en accord avec ceux de Hamdoud (2012) qui a mentionné que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes contre tous les facteurs qui conduisent à une diminution de l'eau dans le cytoplasme et sa concentration ne modifie pas l'activité enzymatique.

Belkhouja (1996) confirme que la proline est synthétisée dans la plante au cours de sa croissance et que sa concentration varie avec le stade de végétation et la concentration en sel dans le milieu. La présence de ce soluté est souvent corrélée avec la capacité des plantes à survivre en condition de stress.

Concernant les sucres totaux, Gill et Singh (1985) indiquent que la germination, la croissance et les autres processus connexes peuvent être affectés dans les graines soumises à un stress salin. Les changements dans l'un de ces processus peuvent affecter d'autres activités métaboliques, en particulier le métabolisme des glucides qui joue un rôle important dans la germination. Pour cela, l'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Tahri et *al.*, 1997 ; Benderradji et *al.*, 2016), justifiant ainsi les résultats que nous avons. Cela permet de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Mefti et *al.*, 1998).

CONCLUSION

CONCLUSION

Le stress environnemental est un domaine majeur de préoccupation scientifique car il limite la productivité des plantes et des cultures. Cette situation a été encore aggravée par les activités anthropiques. Par conséquent, il y a beaucoup de travaux scientifiques sur lesquels les chercheurs tentent d'améliorer la productivité des cultures sous stress environnemental afin de faire face aux demandes alimentaires croissantes. Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une culture andine génétiquement diversifiée qui a attiré une attention particulière dans le monde entier en raison de ses avantages nutritionnels et sanitaires et de sa capacité à s'adapter aux des environnements contrastés, notamment des sols pauvres en éléments nutritifs et salins et des agroécosystèmes marginaux stressés par la sécheresse.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à la réponse de trois variétés de quinoa GIZA2, Q102 et Q103, face à deux facteurs abiotiques combinés qui sont la salinité et la température au stade de germination *in vitro*.

Nous avons constaté que le comportement germinatif des trois variétés GIZA2, Q102 et Q103 semble être affecté par la salinité à la forte concentration de 8g/l et les températures élevés (35°C et 45°C). Pour les autres traitements, les deux variétés GIZA2 et Q102 étaient tolérantes comparativement à la variété Q103.

La teneur en proline a été maximale à par la forte salinité 8g/l dans les températures 25°C et 5°C.

De même, la teneur en sucres totaux a été affectée sous les températures 25°C et 5°C, ces derniers montrent une relation de corrélation directe avec le stress salin, ce qui traduit les résultats obtenus.

Finalement, nos résultats amènent à montrer que le quinoa est une plante tolérante au sel. La phase de germination a illustré une résistance de deux génotypes (GIZA2 et Q102) à l'intervalle de salinité proposé, ce qui indique que le choix *in vitro* a démontré le même mécanisme d'adaptation aux conditions salines. L'aptitude de quinoa à s'adapter à des fortes salinités n'est pas limitée à la germination, bien que ce soit le stade le plus sensible.

En perspective, il est intéressant de poursuivre cette étude en élargissant la gamme de variétés à étudier sous d'autres facteurs de stress abiotiques telle que la température ; puis d'entreprendre un essai in situ pour confirmer ou infirmer les conclusion obtenues.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54.
- Awasthi, R., Bhandari, K., & Nayyar, H. (2015). Temperature stress and redox homeostasis in agricultural crops. *Frontiers in Environmental Science*, 3, 11.
- 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*, 143(1), 21-28
- Boyko, A., & Kovalchuk, I. (2011). Genome instability and epigenetic modification—heritable responses to environmental stress?. *Current opinion in plant biology*, 14(3), 260-266.
- Brakez, M., Brik, K. E., Daoud, S., & Harrouni, M. C. (2013). Performance of chenopodium quinoa under salt stress. In *Developments in soil salinity assessment and reclamation* (pp. 463-478). Springer, Dordrecht.
- Debez, A., Ben Hamed, K., Grignon, C., & Abdelly, C. (2004). Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant and soil*, 262(1), 179-189
- Dinneny, J. R. (2015). Traversing organizational scales in plant salt-stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 23, 70-75.
- Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(8), 1618-1630.
- Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., Aranda, M., Valdivia, W., Bustamante, L., ... & Obal, I. (2017). Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. *Industrial Crops and Products*, 107, 558-564.
- Fumoleau, P., Tubiana-Hulin, M., Soulie, P., Delecroix, V., Sistac, F., Mefti, F., ... & Riva, A. (1998, January). A dose finding and pharmacokinetic (PK) phase I study of a new formulation of docetaxel (D) in advanced solid tumors. In *ANNALS OF ONCOLOGY* (Vol. 9,

pp. 101-101). SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, 3300 AA DORDRECHT, NETHERLANDS: KLUWER ACADEMIC PUBL.

- González, J. A., Buedo, S. E., Bruno, M., & Prado, F. E. (2017). Quantifying cardinal temperatures in quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars. *Lilloa*, 179-194.
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Groome, N. (1991). Ultrasensitive two-site assays for inhibin-A and activin-A using monoclonal antibodies raised to synthetic peptides. *Journal of immunological methods*, 145(1-2), 65-69.
- Gill, D. S., Kumari, N., & Chauhan, M. S. (1985). Preferential solvation of ions in mixed solvents. Part 4.—Preferential solvation of Cu⁺ in acetone+ acetonitrile and N, N-dimethylacetamide+ acetonitrile mixtures using conductance measurements. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 81(3), 687-693.
- Hanson, A. D., Nelsen, C. E., & Everson, E. H. (1977). Evaluation of Free Proline Accumulation as an Index of Drought Resistance Using Two Contrasting Barley Cultivars 1. *Crop Science*, 17(5), 720-726..
- Hajlaoui, H., Denden, M., & Bouslama, M. (2007). Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, 25(3), 168-173.
- HAMDOUN, N. (2012). *Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la féverole (Vicia faba L.)* (Doctoral dissertation).
- Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A., & Hatamleh, A. A. (2021). Botany, nutritional value, phytochemical composition and biological activities of quinoa. *Plants*, 10(11), 2258.
- Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4), 106.
- Jacobsen, S. E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food reviews international*, 19(1-2), 167-177.
- Jacobsen, S. E., & Bach, A. P. (1998). The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. *Seed Science and Technology (Switzerland)*, 26(2), 515-523.
- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandar, A. (2009). Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71-79.

- Koyro, H. W., & Eisa, S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*, 302(1), 79-90.
- Levitt, M. J., Clark, M. C., Rotton, J., & Finley, G. E. (1987). Social support, perceived control, and well-being: A study of an environmentally stressed population. *The International Journal of Aging and Human Development*, 25(4), 247-258.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158
- Murphy, K. M., Bazile, D., Kellogg, J., & Rahmanian, M. (2016). Development of a worldwide consortium on evolutionary participatory breeding in quinoa. *Frontiers in Plant Science*, 7, 608.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*, 11(1), 15-19.
- Maughan, P. J., Bonifacio, A., Coleman, C. E., Jellen, E. N., Stevens, M. R., & Fairbanks, D. J. (2007). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In *Pulses, Sugar and Tuber Crops* (pp. 147-158). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mayer, R. R., Cherry, J. H., & Rhodes, D. (1990). Effects of heat shock on amino acid metabolism of cowpea cells. *Plant physiology*, 94(2), 796-810.
- National Research Council. (1989). *Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. National Academies Press..
- Raffailac, J. P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of agronomy*, 25(4), 299-308
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.
- Rosa, M., Hilal, M., González, J. A., & Prado, F. E. (2004). Changes in soluble carbohydrates and related enzymes induced by low temperature during early developmental stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings. *Journal of plant physiology*, 161(6), 683-689
- Ruffino, A. M. C., Rosa, M., Hilal, M., González, J. A., & Prado, F. E. (2010). The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil*, 326(1), 213-224.

- Sun, Y., Lindberg, S., Shabala, L., Morgan, S., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2017). A comparative analysis of cytosolic Na⁺ changes under salinity between halophyte quinoa (*Chenopodium quinoa*) and glycophyte pea (*Pisum sativum*). *Environmental and Experimental Botany*, *141*, 154-160.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2017). Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1776.
- Suzuki, N.; Rivero, R.M.; Shulaev, V.; Blumwald, E.; Mittler, R. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytol.* 2014, *203*, 32–43
- Tahri, K., Grill, J. P., & Schneider, F. (1997). Involvement of trihydroxyconjugated bile salts in cholesterol assimilation by bifidobacteria. *Current microbiology*, *34*(2), 79-84.
- 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,.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*(15), 2541-2547.
- Voetberg, G. S., & Sharp, R. E. (1991). Growth of the maize primary root at low water potentials: III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiology*, *96*(4), 1125-1130.
- Zhang, Y., Liu, Y., Ma, M., Ren, X., Liu, Z., Du, G., ... & Sun, X. (2017). A Mn-doped Ni₂P nanosheet array: an efficient and durable hydrogen evolution reaction electrocatalyst in alkaline media. *Chemical Communications*, *53*(80), 11048-11051.

Effets de la température et de la salinité sur la germination, in vitro, des grains de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

RESUME

Ce présent travail a étudié l'influence de la combinaison de deux stress abiotiques (salin et thermique) sur la germination in vitro de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Il est constaté que le comportement germinatif des trois variétés, GIZA2, Q102 et Q103, semble être affecté par la salinité à la forte concentration de 8g/l et les températures élevés de 35°C et 45°C. Pour les autres traitements, les deux variétés GIZA2 et Q102 étaient tolérantes comparativement à la variété Q103. L'accumulation de proline et de sucres solubles augmente en fonction de l'augmentation de la salinité et de la température. La variété GIZA2 semble être une bonne candidate à d'éventuelles campagnes de semis dans les sols des régions sahariennes marqués par les conditions édapho-climatiques contraignantes.

Mots clés: Quinoa, stress salin, stress thermique, germination, Sahara .

Effects of temperature and salinity on the germination, in vitro, of seeds of three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Summary

This present work studied the influence of the combination of two abiotic stresses (saline and thermal) on the in vitro germination of three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). It is found that the germination behavior of the three varieties, GIZA2, Q102 and Q103, seems to be affected by the salinity at the high concentration of 8g/l and high temperatures of 35°C and 45°C. For the others treatments, the two varieties GIZA2 and Q102 were tolerant compared to the variety Q103. Accumulation of proline and soluble sugars increases with increasing salinity and temperature. The GIZA2 variety seems to be a good candidate for possible campaigns of sowing in the soils of the Saharan regions marked by the edapho-climatic conditions countervailing. Keywords: Quinoa, salt stress, heat stress, germination, Sahara

تأثير درجة الحرارة والملوحة على انتشار حبوب ثلاثة اصناف (*Chenopodium quinoa Willd.*) في المختبر من الكينوا .

ملخص

درس هذا العمل تأثير مزيج من إجهادين غير حيويين (الملح والحرارة) على الإنبات في المختبر لثلاثة أنواع من الكينوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) يبدو أن سلوك الإنبات متأثر للأصناف الثلاثة Q102 و Q103 و GIZA2 وجد بالملوحة عند التركيز العالي 8 جم / لتر ودرجات الحرارة العالية 35 درجة مئوية و 45 درجة مئوية. بالنسبة (*Willd.*) للمعاملات الأخرى. يزداد تراكم البرولين والسكريات الذائبة مع زيادة الملوحة ودرجة الحرارة. يبدو مرشح جيد لحملات البذر المحتملة في تربة كان الصنفان أن صنف Q102 و GIZA2 متسامحين مقارنة Q103 بالصنف GIZA2 تتميز بظروف المناطق الصحراوية

الكلمات المفتاحية: كينوا ، إجهاد ملحي ، إجهاد حراري ، إنبات ، صحراء