

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 10 /DSA/VCDPGR/2024



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PRODUCTION VEGETELE

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

par: **GHAFSI Ahmed**

Intitulé

**Atténuation du stress salin par l'amorçage des
graines du quinoa : caractères morphologique et
composition biochimique**

Soutenu devant le jury composé de :

Mlle. MADANI Djamila	MCB	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
Mme LALLOUCHE Bahia	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Promotrice
M. HADJ KOUIDER Boubakr	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Co-Promoteur
M. ZEDAM Abdelghani	Prof.	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude et appréciation au promoteur de ce mémoire Mme. **LALLOUCHE B., MCA.**, et au Co-promoteur **M. HADJ KOUIDER B., MCA.**, au département d'agronomie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour avoir acceptés de diriger ce travail, pour leur patience, orientations et leurs conseils précieux et regard critique sur ce travail qui m'a permis d'avancer dans ma réflexion.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury : **Pr. ZEDAM A.**, Professeur au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **Mlle. MADANI D.**, enseignante chercheur au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, de nous consacrer du temps et de porter leur jugement expert sur ce modeste travail.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à l'ingénieur de la serre monsieur **AROUSI B.** pour son aide pratique et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail.

Je remercie également l'équipe de laboratoire de département des sciences agronomiques, Université de Med. Boudiaf pour leur disponibilité, leur patience, et surtout leurs conseils qui nous ont aidés à alimenter ma réflexion.

« A la mémoire de mon père »

Ce travail est dédié à **mon père**, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussée et motivé dans mes études.

Enfin, Je dédie ce travail à : **Ma mère** qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que Dieu la garde et protège.

DEDICACE

Louange à Dieu Tout-Puissant pour son soutien et pour m'avoir accordé l'honneur d'être étudiant en quête de savoir. Je remercie ALLAH pour son assistance tout au long de mon parcours académique.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes chers parents, feu GHAFSI SAAD , que Dieu ait son âme, et à ma chère mère, OUALI Saadia, pour leurs efforts inlassables et leur soutien indéfectible.

Je remercie également mes frères et sœurs ALI ABDERAHMANNE ZOUINA RAYANE WISSALE ABDESSALAME, mes amis, ainsi que tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu tout au long de mes études.

Une mention spéciale à ma superviseuse, Madame Bahia Lallouche, et à mon assistant superviseur, Monsieur Hadj Kouider Boubaker, pour leurs conseils précieux, leurs efforts, leur guidance et leur patience.

Merci à vous tous.

Ahmed

الملخص

تؤثر الملوحة على إنبات البذور، وهي مرحلة حاسمة في دورة نمو النباتات العليا. يتم استخدام العديد من الطرق لتحسين إنبات النباتات ونموها وزيادة قدرتها على تحمل الملوحة. إن معالجة البذور هو إحدى الطرق الفسيولوجية التي تعمل على تحسين الإنبات والنمو في ظروف الإجهاد الحيوي مثل الملوحة. تم تسجيل هذه الدراسة في هذا المجال بهدف دراسة تأثير الإجهاد الملحي (NaCl) على إنبات الكينوا ونموها، بالإضافة إلى محصلات المعالجة (الهرموني باستخدام AG3 و باستخدام $CaCl_2$) أثناء الإنبات والنمو وتراكم بعض مكونات هذا النوع. وأظهرت النتائج أن ملوحة 200 مليمولار من كلوريد الصوديوم تؤثر على إنبات الكينوا. الصنف "Q102 أكثر تحملاً للملوحة في هذا التركيز. يسمح المعالجة بالحصول على إنبات أفضل، ونمو أفضل، وتخليق أفضل وتراكم للكلوروفيل "الكامل"، أ و ب والبرولين في ظروف "التأثير الملحي هو أكثر وضوحاً في الصنف Q102، وهو أيضاً أكثر تحملاً للملوحة مقارنةً بالصنف جيزة". يعتبر $CaCl_2$ أكثر أداءً مقارنةً باستخدام AG3. يسمح هذا العمل بالتوصل إلى أن معالجة البذور قد يكون فعالاً للغاية لتحسين إنتاج الكينوا، وخاصة في ظل ظروف ملحية معينة. قد يُنصح باستخدام صنف Q102 في برامج الاختيار لتحمل الإجهاد الملحي.

الكلمات المفتاحية: كينوا، الإجهاد الملحي، AG3، $CaCl_2$ ، الإنبات، النمو، الكلوروفيل، البرولين

ABSTRACT

Salinity affects seed germination, which is a crucial step in the growth cycle of higher plants. Several approaches are used to improve the germination and growth of plants and increase their tolerance to salinity. Seed initiation is one of the physiological methods that improves germination, emergence, and growth under abiotic stress conditions such as salinity. This study is in line with this perspective and aims to study the influence of salt stress (NaCl) on the germination, emergence, and growth of quinoa, as well as the consequences of the start-up (hormopriming with AG3 and halopriming with CaCl₂) on germinating, growth, and accumulation of certain components of this species. The results show that the salinity of 200 mM NaCl affects the germination of quinoa. The Q102" variety is more tolerant to salinity at this stage. Initiation allows for better germination, better growth, and better synthesis and accumulation of chlorophylls "total", a and "b" and in proline in favorable conditions (0 mM NaCl) and under conditions of salt stress (200 mM NaCl). The enhancing effect of initiation is more pronounced in the Q102 variety, which is more tolerant to salinity than the Giza variety". Halo priming with CaCl₂ is more efficient compared to hormone starting with AG3. This study concludes that seed start-ups can be very effective in improving quinoa production, especially in unfavorable saline conditions. The Q102" variety can be recommended in salt stress tolerance selection programs.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, salt stress, hormone start, halo start, AG3, CaCl₂, germination, growth. Chlorophyll, proline

RESUME

La salinité affecte la germination des graines, qui est une étape cruciale dans le cycle de développement des végétaux supérieurs. Plusieurs approches sont utilisées pour améliorer la germination et la croissance des plantes et augmenter leur tolérance à la salinité. L'amorçage des graines est l'une des méthodes physiologiques qui améliore la germination, l'émergence, et la croissance en conditions de stress abiotiques tel que la salinité. Cette étude s'inscrit dans cette optique et a pour objectif d'étudier l'influence du stress salin (NaCl) sur la germination, l'émergence et la croissance du quinoa, ainsi que les conséquences de l'amorçage (hormoamorçage avec AG3 et l'haloamorçage avec CaCl₂) sur la germination, la croissance et l'accumulation de certaines composantes de cette espèce. Les résultats montrent que la salinité de 200 mM NaCl affecte la germination du quinoa. La variété Q102" est plus tolérante à la salinité à ce stade. L'amorçage permet d'avoir une meilleure germination, une meilleure croissance et une meilleure synthèse et accumulation des chlorophylles "totale", a et "b" et en proline en conditions favorables (0 mM NaCl) et en conditions de stress salin (200 mM NaCl). L'effet améliorateur de l'amorçage est plus prononcé chez la variété Q102, elle-même plus tolérante à la salinité par rapport à la variété Giza". L'haloamorçage par le CaCl₂ est plus performant par rapport à l'hormoamorçage avec AG3. Ce travail permet de conclure que l'amorçage des graines peut être très efficace pour l'amélioration de la production du quinoa, et en particulier dans des conditions salines défavorables. La variété Q102" peut être recommandée dans les programmes de sélection pour la tolérance au stress salin.

Mots-clés : *Chenopodium quinoa*, stress salin, hormoamorçage, haloamorçage, AG3, CaCl₂, germination, croissance. Chlorophylle, proline

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DE MATIERE

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION	10
CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'ESPECE	13
1.1. Origine et distribution géographique du quinoa	13
1.2 Classification Scientifique du quinoa	15
1.3. Importance du quinoa	16
1.4. La description morphologique du quinoa	17
1.5 Résistance aux parasites, maladies et ravageurs	17
1.6. Exigences et technique culturale	20
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE STRESS SALIN ET TRAITEMENTS PRE GERMINATIFS DES SEMENCES (AMORÇAGE)	24
2.1. Le stress salin	24
2.1.1. Origine de la salinisation des sols	24
2.1.2. Salinité en Algérie	25
2.1.3. Effet du stress salin sur les végétaux	25
2.1.4. Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité	26
2.1.5. Les Mécanismes d'adaptations des plantes	27
2.2. Traitements pré germinatifs des semences (amorçage) : Une stratégie d'amélioration de la réponse au sel	30
2.2.1. Historique et définition de l'amorçage	30
2.2.2 Processus d'amorçage	31
2.2.3. Techniques d'amorçage	31
2.2.4. Comportement de quelques espèces vis-à-vis l'amorçage	34
2.2.5. Effets de l'Amorçage	34
CHAPITRE III. MATÉRIEL ET MÉTHODES	36
3.1. Objectif	36
3.2 Présentation de la station expérimentale	36
3.3. Matériel végétale	39
3.4. Méthode d'étude	39
3.5 Les paramètres étudiés	42
3.5.1 Taux de germination	42
3.5.2 Paramètres morphologiques	42

3.5.3 Paramètres biochimiques	42
3.6 Dispositif expérimental	45
3.7 Analyse statistique	45
CHAPITRE IV. RESULTATS ET DISCUSSION	46
4.1 Effet des différents types d'amorçage sur le taux de germination en condition de stress salin	46
4.2 Effet des différents types d'amorçage sur les paramètres morphologiques en condition de stress salin	48
4.2.1 Nombre de feuilles	49
4.2.2 Longueur et largeur des feuilles	50
4.2.3 Poids et longueur des plantules	52
4.2.4 Poids et longueur de la tige	53
4.2.5 Longueur et poids des racines	54
4.2.6 Diamètre du collet	55
4.3 Effet des différents types d'amorçage sur la composition biochimique en condition de stress salin	55
4.3.1 Teneur en chlorophylle « totale », « a » et « b »	55
4.3.2 Teneur en proline	59
Discussion	60
CONCLUSION	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure.1.1 : Distribution mondiale de la production de quinoa. FAO 2011)	14
Figure 1.2 : Plant du quinoa	18
Figure 2.1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité HAGEMEYER (1996)	27
Figure 3.1 : Graines de deux variétés de quinoa étudiées (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.)	39
Figure 3.2 : Prétraitement des graines de deux variétés de quinoa par différents types de prétraitement.....	40
Figure 3.3 : Mise en germination de deux variétés du quinoa après avoir subi l'amorçage.....	41
Figure 3.4 : la mesure des différents caractères morphologiques des plantes du quinoa..	43
Figure 3.5 : préparation de courbe d'étalonnage de proline	44
Figure 3.6 : Dispositif expérimental	45
Figure 4.1 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le taux de germination de deux variétés du quinoa	47
Figure 4.2 : Dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighed Pair-Group Method with arithmétique Average).....	48
Figure 4.3 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le nombre des feuilles de deux variétés du quinoa.....	50
Figure 4.4 : Aspect morphologique du quinoa en fonction de différents types d'amorçage et stress salin	51
Figure 4.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le poids racinaire de deux variétés du quinoa.....	55
Figure 4.6 : Couleur des feuilles issues des plantules amorcées par rapport aux feuilles issues des plantules non amorcées	57
Figure 4.7 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total » « a » et « b » de deux variétés du quinoa	59
Figure 4.8 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en proline de deux variétés du quinoa	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Synthèse des principaux travaux sur l'hydroamorçage des semences de différentes espèces cultivées.....	32
Tableau 2.2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmoamorçage des semences de différentes espèces cultivées.....	33
Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C). O.N.M. M'sila 2018).....	37
Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm). (O.N.M. M'sila 2018)	38
Tableau 3.3 : Les valeurs du pH et la conductivité électrique (CE) du substrat utilisés	39
Tableau 4.1 : Effet des différents types d'amorçage sur le taux de germination de deux variétés du quinoa en condition de stress salin.....	46
Tableau 4.2 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le nombre, longueur et largeur des feuilles de deux variétés du quinoa	49
Tableau 4.3 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le poids frais total et longueur des plantules de deux variétés du quinoa	52
Tableau 4.4 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la croissance de la partie aérienne de deux variétés du quinoa	53
Tableau 4.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la croissance de la partie racinaire de deux variétés du quinoa	54
Tableau 4.6: Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total », « a » et « b » et la teneur en proline de deux variétés du quinoa ..	56

INTRODUCTION

Les recherches actuelles se focalisent sur la sécurité alimentaire pour répondre aux besoins d'une population croissante adoptant des régimes à faible consommation comme des régimes alimentaires plus économes en ressources et riches en viande. Cette orientation souligne l'impératif d'améliorer de manière urgente la durabilité et l'efficacité des ressources dans le secteur de la production alimentaire, dans le but de garantir à tous un accès à une alimentation adéquate et saine, en réponse aux défis environnementaux et aux évolutions démographiques.. Les principales causes de pertes de cultures à l'échelle mondiale sont actuellement la rareté des ressources en eau et l'augmentation de la salinité des sols et des eaux, phénomènes susceptibles de s'aggraver en raison de la désertification **(FAO, 2011)**. Le changement climatique mondial impacte les conditions de croissance des cultures, notamment en favorisant l'augmentation de la salinité et de la sécheresse. En effet, la salinité du sol et des eaux est largement répandue, affectant environ un milliard d'hectares à travers le globe **(HASEGAWA, 2013)**.

Par ailleurs, on observe une augmentation d'environ 10 % par an du taux de salinité. Les modèles de changement climatique prévoient également des schémas de précipitations futurs caractérisés par des précipitations moins abondantes mais plus intenses, ce qui prolongera la période de sol sec. La salinisation des sols constitue un défi majeur à l'échelle mondiale. La salinité des sols et des eaux représente un obstacle important pour la croissance des plantes dans les régions arides et semi-arides. La capacité des plantes à tolérer la salinité varie considérablement en fonction de divers facteurs tels que l'espèce, la variété, le stade de croissance, ainsi que des paramètres environnementaux comme la température, l'humidité, l'éclairement et la fertilité du sol **(DAOUD et HALITIM, 1994)**.

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont touchés par le phénomène de la salinisation **(BOUHLASSA et al., 2008 ; LALLOUCHE, 2018)**. Des projections suggèrent que d'ici 2050, la salinisation pourrait affecter jusqu'à 50 % des terres arables **(MANCHANDA et GARG, 2008)**.

Des études récentes indiquent que les graines peuvent subir un processus de "prétraitement" ou de "pré-germination" afin de renforcer leur capacité à résister à diverses contraintes abiotiques. Dans ce contexte, l'amorçage, également appelé endurcissement, représente une méthode pré-germinative visant à améliorer la production végétale en régulant les activités métaboliques de la germination avant l'apparition de la radicule (**BRADFORD, 1986**). Ainsi, pendant la phase réversible de la germination, la graine peut retrouver son état initial sans subir de dommages (**KHEDDACHE, 2005**). Les traitements de pré-germination permettent de lever la dormance, d'encourager une croissance plus vigoureuse avec une floraison précoce, de synchroniser les stades physiologiques des graines, et d'améliorer la croissance des plantules ainsi que leur résistance aux stress abiotiques (**BOUCELHA et DJEBBAR, 2019**).

Nous avons choisi de travailler sur le quinoa (*Chenopodium quinoa*) parce que ce légume feuille et pseudocéréale pour ses avantages nutritionnels dans le monde entier, pour sa teneur en protéines, en minéraux et en vitamines, et son importance a été renforcée non seulement dans les pays en développement, mais également dans les pays développés. Ces divers éléments ont un rôle important dans la coagulation sanguine et la prévention des maladies cardiovasculaires, ainsi que sur le transport d'oxygène dans le sang.

Malgré la disponibilité d'une littérature abondante sur le comportement des plantes vis-à-vis du stress salin, la réponse à la salinité des variétés cultivées et commercialisée en Algérie reste peu étudiée. Bien que les effets de l'amorçage des graines dans la tolérance à la salinité aient été testés sur plusieurs espèces, l'information sur le quinoa n'est pas disponible. La variabilité intraspécifique du quinoa est largement répandue en Algérie (**AZZIZI et al., 2020**) où il est possible de trouver des variétés susceptibles de développer une tolérance à cette contrainte. C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude qui a pour objectif d'évaluer les effets du stress salin sur la germination, l'émergence et la croissance du quinoa et aussi d'étudier les effets de l'amorçage des graines dans l'amélioration de la tolérance du quinoa au stress salin à ces stades. L'objectif est de sélectionner des variétales tolérantes à la salinité qui peuvent être introduit dans les programmes de sélection et d'amélioration de cette espèce, et la mise au point des techniques pouvant améliorer la tolérance du quinoa au stress salin.

Ce document est structuré en trois parties distinctes :

- Dans la première partie une synthèse bibliographique sur le sujet de travail est présentée. Elle est composée de deux chapitres :
 - Chapitre 1 : Présentation de l'espèce utilisée pour ce travail : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).
 - Chapitre 2 : Généralités sur le stress salin et les techniques d'amorçage
- Dans la seconde, nous aborderons la partie expérimentale intitulée « Matériel et méthodes » ou nous exposerons en détail toutes les méthodes et le matériel végétal utilisés.
- Une troisième partie intitulée « Résultats et discussion » permet de présenter les résultats obtenus et leurs interprétations
- Une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats obtenus et tracera des perspectives à explorer dans ce travail.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR L'ESPECE

1.1. Origine et distribution géographique du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) est une espèce originaire d'Amérique du Sud, décrite pour la première fois en 1778 par Willdenow (botaniste et pharmacien allemand), dont le centre d'origine se trouve dans les Andes (**Figure 1.1**) (**DHARM, 2019**).

Selon **GALWEY et al. (1992)**, le quinoa cultivé le plus ancien a été découvert sur les rives du lac Titicaca depuis plus de 5000 ans avant J.-C. Il était une source d'alimentation essentielle pour les populations précolombiennes et est parfois appelé « graine des Incas ».

Pendant des siècles, les populations paysannes indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili ont cultivé et consommé ce produit (**GANDARILLAS, 1979**).

Après que les Espagnols ont conquis la région en 1532 après JC, des cultures comme la pomme de terre, les haricots, Maïs et le quinoa, qui étaient échangés par l'orge, sont reléguées au second plan (**GALWEY 1995**).

Les Incas étaient conscients de ses qualités nutritives et agricoles remarquables, ce qui leur a valu le nom de « chisiyamama » dans leur langue maternelle, le quechua, qui signifie « mère de toutes les graines » (**RISI et GALWEY, 1984**).

Le nombre de pays qui la cultivent a connu une augmentation de 8 en 1980 à 95 en 2015. À chaque étape de cette expansion mondiale, le nombre de centres de recherche qui étudient la culture et mènent des expériences augmente, ce qui entraîne une coopération internationale qui engendre de nombreux projets (**RISI et GALWEY, 1984**).

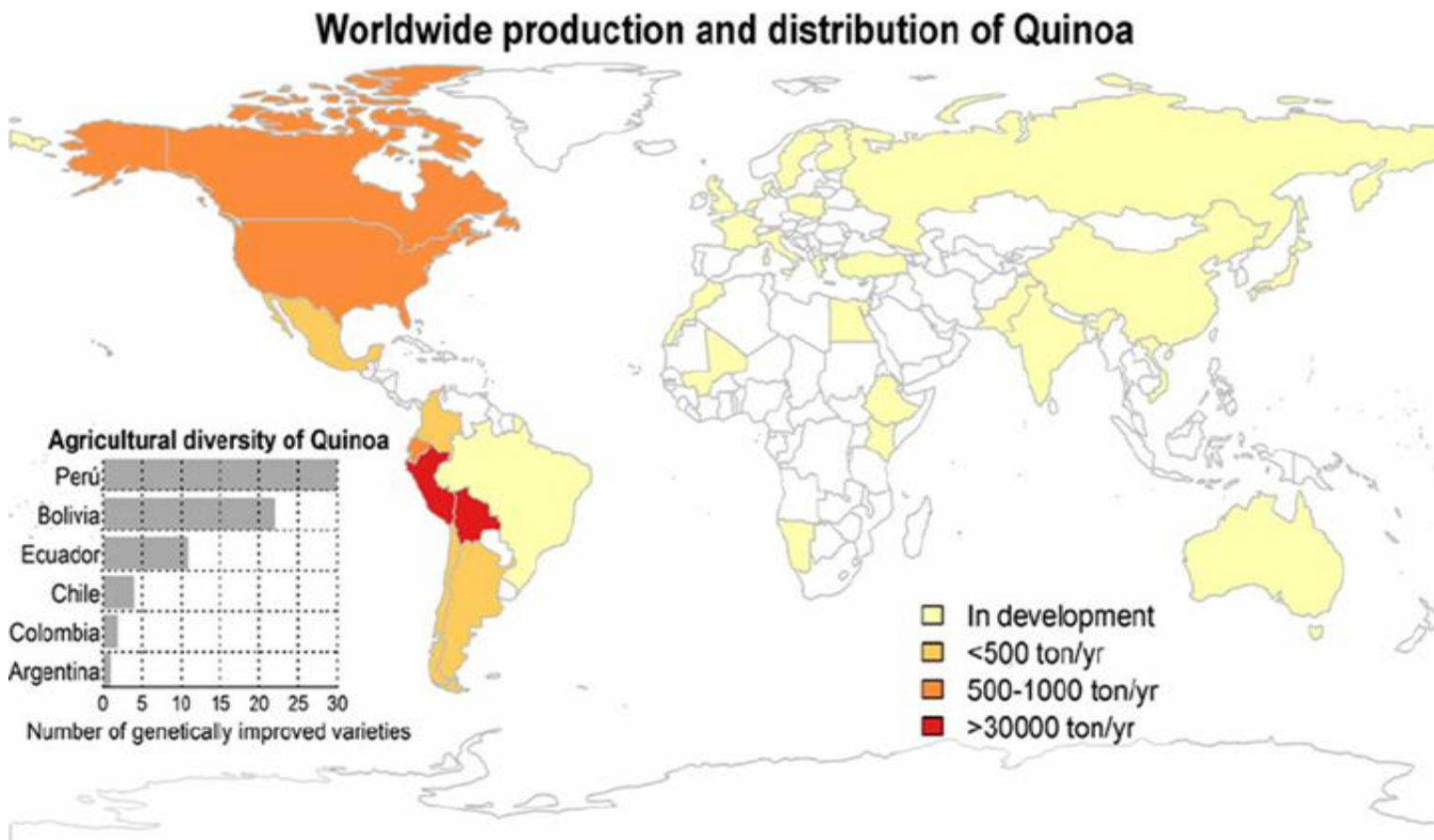


Figure.1.1 : Distribution mondiale de la production de quinoa. (FAO, 2011).

La Bolivie et le Pérou sont les principaux producteurs, suivis par l'Équateur, les États-Unis et le Canada. Le Chili, l'Argentine, la Colombie et le Mexique produisent principalement pour la consommation locale. Les autres pays développent actuellement des projets de Quinoa (field trials). Le parcours en barre à gauche montre les variétés productives développées par l'amélioration génétique dans les pays de la gamme de distribution originale (FAO, 2011).

Dans les années 1980, des études ont été menées à partir du matériel génétique chilien, dirigées par l'université d'État du Colorado, aux États-Unis. Au Canada, la culture commerciale du quinoa a commencé à la même époque. Le quinoa a été introduit dans d'autres pays tels que le Royaume-Uni (1983), le Danemark (1984), l'Inde (1985), les Pays-Bas (1986), la Chine (1988), le Brésil et Cuba (1989) (**BAZILE et al., 2015**).

En 2014, la culture du quinoa a été introduite en Algérie. Elle est développée de manière expérimentale dans huit sites appartenant à quatre institutions présentant des caractéristiques agro-écologiques variées. **ITDAS**, (Biskra et El-Oued), **INRAA**, (Adrar et Ghilizane), **ITGC**, (Sétif, Tiaret et Guelma) et **INRF** (Alger). La récolte a commencé fin décembre à **ITDAS** (Biskra et El-Oued) et a continué en janvier. En ce qui concerne les deux sites, le rendement en grain le plus élevé est d'environ 26 qx/ha, pour toutes les variétés. En ce qui concerne **L'INRAA**, les tests ont été réalisés sur deux sites. Le meilleur rendement a été enregistré à Adrar (Récolte mars 2015) avec une productivité de 19,4 qx/ha, avec une irrigation supplémentaire en car de nécessité .

1.2 Classification Scientifique du quinoa

Le quinoa est une espèce angiosperme dicotylédone de la famille des Chenopodiaceae. Le quinoa est classé dans la famille des Amaranthaceae par une nouvelle classification phylogénétique (**APG III**) depuis 2009, mais nous resterons à la classification de Cronquist.

Classification de Cronquist (1981).

Règne : Plantae
Division : Magnoliophyta
Classe : Magnoliopsidae
Sous-classe : Caryophyllidae
Ordre : Caryophyllales
Famille : Chenopodiaceae
Genre : *Chenopodium*

Classification APG III (2009)

Clade : Caryophyllales
Famille : Amaranthaceae
Espèce : *Chenopodium quinoa* Willd., 1798

Les Chenopodiaceae forment une vaste famille d'environ 1500 espèces réparties dans une centaine de genres, qui se développent dans les régions tempérées et subtropicales

du globe. Ce sont surtout des plantes herbacées vivaces ou annuelles, plus rarement des arbres et des arbustes, qui sont habituellement halophytes, c'est-à-dire qu'elles ont la particularité de s'ajuster aux milieux salés par différents mécanismes. Les Chenopodiaceae comprennent des espèces utilisées dans l'industrie, les jardins, les fourrages et les produits alimentaires, ainsi que des espèces nuisibles aux cultures (mauvaises herbes) **(HERBILLON, 2015)**.

1.3. Importance du quinoa

Le quinoa est valorisé pour sa richesse en protéines, fibres et minéraux, ce qui en fait une culture idéale pour les régions confrontées à des défis agricoles tels que les sols pauvres et les conditions climatiques extrêmes. Sa capacité à s'adapter à divers environnements en fait un aliment de base crucial pour lutter contre la faim dans le monde, surtout dans le contexte du changement climatique qui menace la production alimentaire traditionnelle **(BAZILE et al., 2016)**.

L'introduction du quinoa en Algérie vise à diversifier les cultures agricoles et à renforcer la résilience des systèmes agricoles face à la sécheresse et à la salinisation des sols, des problèmes de plus en plus courants dans les régions arides du pays. Le quinoa offre une option durable pour ces zones, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire nationale **(REPO-CARRASCO et al., 2003)**.

D'après des chercheurs, cette plante présente un intérêt en raison de sa capacité à résister à des conditions climatiques extrêmes telles que la sécheresse, la pauvreté des sols et la salinité, ce qui met en évidence son efficacité dans la lutte contre la désertification. De plus, le quinoa se développe dans des zones arides où elle pourrait même fournir des rendements économiques.

Le quinoa contient une quantité modérée de lipides, environ 4 à 7 % de son poids sec, ce qui est supérieur à la plupart des céréales. Les lipides présents dans le quinoa sont principalement composés d'acides gras insaturés bénéfiques, notamment l'acide linoléique (oméga-6) **(RUALES et NAIR, 1993)**.

Le quinoa est particulièrement riche en protéines, avec une teneur qui varie de 13 % à 16 % de son poids sec, ce qui est considérablement plus élevé que celle des céréales

traditionnelles. Les protéines de quinoa incluent tous les acides aminés essentiels, ce qui en fait une source complète de protéines (ABUGOCH JAMES, 2009).

Les glucides représentent environ 64% du poids sec du quinoa, majoritairement sous forme d'amidon. Le quinoa contient aussi une petite quantité de sucres simples, qui contribuent à son léger goût sucré (VEGA-GALVEZ et al., 2010).

Le quinoa est consommé comme céréale pour le petit déjeuner, ajouté aux salades, utilisé comme substitut du riz ou intégré dans les plats végétariens et végétaliens pour son profil complet d'acides aminés. Il est également transformé en farine pour la préparation de pains, de pâtes et d'autres produits de boulangerie (ABUGOCH JAMES, 2009).

En raison de ses propriétés hydratantes et anti-inflammatoires, le quinoa trouve sa place dans les produits cosmétiques tels que les crèmes, lotions et shampooings (VEGA-GALVEZ et al., 2010).

1.4. La description morphologique du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) est une plante annuelle appartenant à la famille des Amaranthacées, qui était historiquement cultivée dans les régions andines d'Amérique du Sud. Son descriptif botanique met en évidence plusieurs caractéristiques adaptatives cruciales.

1.4.1. Morphologie

Le quinoa peut atteindre 1 à 3 mètres de hauteur. La plante présente un système racinaire pivotant profond, ce qui lui permet de résister à la sécheresse et d'accéder à des eaux souterraines dans les sols arides. Ses feuilles sont généralement larges et disposées en spirale ; elles peuvent être entières ou lobées selon les variétés (**Figure 1.2**).



Figure 1.2 : Plants du quinoa (personnel)

1.4.2 Racine

La profondeur de la racine est liée à la hauteur de la plante. Des plantes de 1,70 m avec une racine de 1,50 m et d'autres de 90 cm de hauteur avec une racine de 80 cm ont été référencées (**PACHECO et MORLON, 1978**).

Le système racinaire du quinoa est très robuste, pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux (**BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI et al., 2021**).

1.4.3 La tige

La tige est cylindrique au niveau du collet puis devient plus anguleuse à partir des ramifications. sa hauteur varie entre 50 cm et 2 m, son diamètre varie entre 1 et 8 cm selon les variétés et les conditions de culture (**Figure 1.2**) (**MUJICA et al., 2001**). Sa couleur peut être uniformément verte, verte avec des stries violettes ou rouges, verte avec des aisselles colorées (surtout rouges), ou bien uniformément rouge (**GANDARILLAS, 1979**).

1.4.5 Les feuille

Les feuilles sont alternes se composent d'un pétiole et d'un limbe. Les feuilles supérieures sont petites, d'environ 10 mm, lancéolées ou triangulaires, tandis que les

feuilles inférieures sont grandes, jusqu'à 15 x 12 cm, rhomboïdales (en forme de losange) ou triangulaires (MUJICA *et al.*, 2001) (Figure 1.2).

1.4.6 Les ramifications

Il existe des variétés très ramifiées, parfois même à partir de la base (quinoa du niveau de la mer), tandis que d'autres présentent une tige unique. Il existe également des variétés intermédiaires (Figure 1.2) (BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI *et al.*, 2021).

1.4.7 L'inflorescence

L'inflorescence sous forme d'une panicule typique, c'est-à-dire une inflorescence composée d'un axe principal d'où émergent des axes secondaires et tertiaires (Figure 1.2). (BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI *et al.*, 2021).

1.4.8 Les fleurs

Une caractéristique importante chez le quinoa est la présence de fleurs hermaphrodites localisées à l'extrémité proximale et de fleurs femelles localisées à l'extrémité distale d'un groupe (BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI *et al.*, 2021).

1.4.9 Le fruit

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 dont la couleur, la forme et la taille sont variables (BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI *et al.*, 2021).

1.4.10 Graine

Il existe trois formes de graines : cylindrique, conique et ellipsoïdale ; qui pourraient être réparties dans trois catégories de taille : petite taille (< 1,8 mm), taille

moyenne (1,8 à 2,1 mm) et grande taille (2,2 à 2,6 mm) (BOUKHALAT et CHELLALI, 2021 ; AZIZI et al., 2021).

1.5 Résistance aux parasites, maladies et ravageurs

Mildiou : une maladie causée par un champignon appelé *Peronospora farinosa*. Elle est caractérisée par la présence de lésions chlorotiques sur les surfaces supérieures des feuilles, avec un mycélium blanc ou pourpre sur les surfaces inférieures (VALENCIA-CHAMORRO, 2003). Le mildiou est constitué une contrainte importante à la production du quinoa puisqu'il entraîne une baisse de rendement significative.

La fonte des semis (*Rhizoctonia*),

La fusariose (*Fusarium*) ;

La pourriture des semences et la fonte des semis (*Sclerotium rolfsii*, *Pythium zingiberum*) ;

Les tâches foliaires (*Ascochyta hyalospora*) ;

La pourriture brune de la tige (*Phoma exigua* var. *Foveata*) ;

Kona kona (*Scrobipalpula* sp.) : petit insecte de l'ordre des lépidoptères (papillons), est probablement le ravageur le plus grave du quinoa. Les larves détruisent d'abord les feuilles et l'inflorescence. Plus tard, lorsque les plantes sont matures, les larves détruisent la panicule et les graines (VALENCIA-CHAMORRO, 2003) ;

Les oiseaux et les parasites : les graines de quinoa contiennent une forte teneur en saponine, un composant qui les rend moins sensibles à ces attaques grâce à son goût amer et à sa toxicité pour les animaux de petite taille (TAPIA, 1997).

1.6. Exigences et technique culturale

1.6.1. Exigence cultural

Sol : Le quinoa tolère une large gamme de pH du sol, depuis les sols alcalins de la région des salars boliviens (pH 9) jusqu'aux sols acides (pH 4,5) de la région de Cajamarca (Pérou). Il existe des génotypes adéquats pour chacune des conditions extrêmes de pH (JACOBSEN, 2007).

Climat : désertique, chaud et sec, froid et sec, tempéré et pluvieux, chaud avec une forte humidité relative, et les régions de la puna et des zones de la Cordillère de haute altitude ; à chaque climat correspondent diverses variétés et écotypes

Eau : La culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation se situe entre 250 - 400 mm sur des sols limono-sableux ou sablolimoneux (VALENCIA-CHAMORRO, 2003),

Température : Le quinoa est très sensible aux fortes températures au stade floraison ; celles supérieures à 35°C peuvent conduire à la dormance et la stérilité du pollen (LEBONVALLET, 2008).

Rayonnements solaires : supporte des rayonnements extrêmes, ce qui lui permet d'emmagasiner les heures de chaleur nécessaires pour mener à bien sa phase végétative et productive.

Photopériode : Il existe des variétés ou écotypes à jours courts, à jours longs ou indifférents à la photopériode.

Altitude : Cultivée depuis le niveau de la mer jusqu'à près de 4000 m d'altitude (RISI et GALWEY, 1989).

1.6.2. Technique culturale

Choix des variétés : Deux critères sont à prendre en compte : - la sensibilité à la longueur du jour - la teneur en saponine.

Le semis : Les semis ont habituellement lieu durant les mois d'août et de septembre mais peuvent être retardés jusqu'à début décembre avec certaines variétés de cycle très court (90 jours) (DEL CASTILLO et al., 2008).

Cycle de culture : Le cycle de culture dure entre 150 et 200 jours selon les régions et les variétés (MUJICA et al., 2001).

Densité de semis : La densité de semis varie de 5 à 10 kg.ha⁻¹ (100 à 250 plantes par m²) avec une profondeur alentours de 3 cm (MUJICA et al., 2001)

Récolte : La récolte se fait de mars à mai lorsque les plantes ont atteint la maturité physiologique et que le grain est très sec (MUJICA et al., 2001).

Indice de récolte : L'indice de récolte peut être compris entre 0,20 et 0,45, et le poids de 1 000 grains moyen est de 2,30 g (FELIX, 2004).

1.6.3 Système de culture manuel traditionnel

La défriche : en juin et juillet de la première année à lieu la défriche des parcelles qui seront semées l'année suivante. Après la défriche, le terrain repose pendant 6 mois au cours desquels la matière organique va s'incorporer lentement au complexe argilo-humique.

Le labour : le travail du sol est réalisé entre fin janvier et début mars, pendant la saison des pluies, pour éliminer les gros débris végétaux et les adventices ainsi que pour économiser au maximum l'eau du sol.

Le semis : à la fin août de la deuxième année, commence le semis sur les parcelles de pente, mais les dates de semis varient en fonction du climat car le terrain doit être suffisamment humide pour permettre la germination de la graine.

Le contrôle des adventices et des ravageurs : Les jeunes plantules peuvent être recouvertes d'herbes sèches pour limiter l'érosion éolienne et pour empêcher les rongeurs de les manger.

La récolte : une fois que le grain est mûr, en avril-mai, les pieds de quinoa sont coupés ou arrachés selon que le sol est meuble ou non. Ils sont laissés à sécher dans le champ une à deux semaines. Les grains sont ensuite séparés des pieds par battage, puis tamisés sur place.

Le rendement : Les rendements sont de 0,4 à 2 t.ha⁻¹ selon les conditions climatiques.

1.6.4 Système de culture mécanisé

L'itinéraire technique (rotation jachère - quinoa) s'effectue le plus souvent sur deux années (FELIX, 2004).

Le labour : Le labour au tracteur, jusqu'à 40 cm, se fait à la même époque que le travail du sol manuel (mi-janvier à début février), c'est-à-dire pendant la saison des pluies.

Le semis : Le semis au tracteur est réalisé avec un semoir muni d'un soc qui creuse un sillon où sont déposées automatiquement les graines (30 à 50 à la fois) après quoi un versoir situé en arrière vient reboucher le sillon.

Le contrôle des adventices et des ravageurs : les populations de coléoptères et de lépidoptères situés dans les plaines ont augmenté considérablement depuis l'extension des cultures. Les plaines sont tout aussi sujettes aux attaques des rongeurs que les montagnes car même si leur habitat est plutôt dans les zones pierreuses, les très grands blocs de parcelle et la même culture une année sur deux favorisent l'accroissement des ravageurs.

. Récolte : La période de récolte varie en fonction de la variété de quinoa, mais elle se situe généralement entre 90 et 120 jours après le semis. Les graines de quinoa sont prêtes à être récoltées lorsque les têtes sont sèches et que les graines se frottent facilement des tiges. Coupez les têtes et laissez-les sécher pendant quelques jours avant de retirer les graines.

Stockage : Une fois récoltées, les graines de quinoa peuvent être stockées dans un endroit frais et sec. Assurez-vous qu'elles sont bien séchées pour éviter la moisissure

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LE STRESS SALIN ET TRAITEMENTS PRE GERMINATIFS DES SEMENCES (AMORÇAGE)

2.2. Le stress salin

Selon **HOPKINS (2003)**, le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- . Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes (**TREMBLIN, 2000**).

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. L'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophile des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plantes (**CHINNUSAMY et al., 2004**) et perturbe l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (**HASEGAWA et al, 2000**).

Aussi, Il y a lieu de noter que la forte salinité provoque un déséquilibre nutritionnel. Par exemples, l'utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le (K^+) et le (Ca^{2+}) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tels que la réduction du rapport (K^+) / (Na^+) et la déficience des plantules en (Ca^{2+}), peuvent donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (**GREENWAY et al, 2000**).

2.2.1. Origine de la salinisation des sols

Selon le processus de salinisation des sols on peut distinguer deux différents types de salinité :

2.2.1.1. La salinité primaire

La présence des roches salifères primaires in situ, favorisée par l'altération qui affecte les minéraux sodiques, potassiques et magnésiques, ce qui donne souvent des sels solubles en particulier les carbonatés et les bicarbonatés (**GAUCHER et BURDIN, 1974**).

2.2.1.2. La salinité secondaire

La salinité secondaire désigne l'élévation de la teneur en sels dans le sol ou l'eau, souvent induite par l'intervention de l'homme.

Selon **CONDON (1996)**, trois processus sont responsables de la salinisation

- ✓ **La salinisation** : Elle se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).
- ✓ **La sodisation** : Ce processus se produit lorsque le complexe organo- minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ .
- ✓ **L'alcalisation** : C'est la libération de l'ion Na^+ dans la solution du sol, ce qui élève le pH et disperse les feuillets d'argile.

2.2.2. Salinité en Algérie

Plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (**DOUAOUI et HARTANI, 2008**). Les sols salins se rencontrent dans les basses plaines et vallées d'Oranie, dans la vallée de la Mina, près de Relizane, sur les hautes plaines du Sud de Sétif et de Constantine, et aux bords de certains chotts comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (**KESSIRAN, 2003**). Les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (précipitations : +200 mm/an), sont largement affectés par la salinisation secondaire (**DJILI et al., 2003**).

2.2.3. Effet du stress salin sur les végétaux

2.2.3.1. Effet sur la germination

On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal (**DEBEZ et al, 2001**). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces

où des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (GRATTAN *et al*, 1999).

2.2.3.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige (LALLOUCHE *et al.*, 2017 ; LALLOUCHE, 2018).

2.2.3.3. Effet sur les échanges gazeux et la photosynthèse

D'après ALEM *et al*, (2002), la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale.

2.2.3.4. Effet sur la transpiration

La diminution de la transpiration est due à l'augmentation de la résistance stomatique en présence de fortes concentrations de sels qui provoquent la dépendance de l'ABA (acide abscissique), cela implique l'accumulation des solutés organiques tel que la proline, les acides organiques, la glycine...etc. ; ou l'accumulation des ions minéraux (PARIDA *et DAS*, 2005).

2.2.4. Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité

Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées :

- **Les halophytes vraies** : Dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Sueda maritima* (Figure 2.1).

- Les **halophytes facultatives** : Montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium* (**figure 2.1**).
- Les **non-halophytes résistante** : Supportant de faible concentration de sel : *Hordeum sp* (**figure 2.1**).
- Les **Glycophytes ou Halophobes** : Sensibles à la présence de sel : *Phaseolus vulgaris*, *glycine max* (**Figure 2.1**).

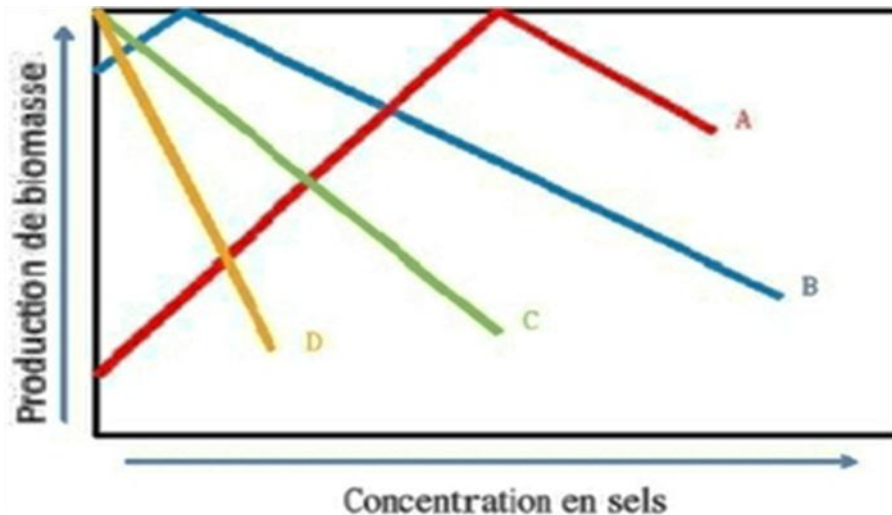


Figure 2.1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité
HAGEMEYER (1996)

La figure en haut qui montre production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité. Où : **A** : Halophytes vraies ; **B** : Halophytes facultatives ; **C** : Non halophytes résistantes ; **D** : Glycophytes.

2.2.5. Les Mécanismes d'adaptations des plantes

2.2.5.1. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique consiste à l'une des stratégies les plus importantes d'adaptation au stress salin et hydrique (YEO, 1983). Il se retrouve chez la grande majorité des organismes vivants pour le maintien de l'alimentation hydrique et la pression de turgescence (NIU et al, 1995). Ce processus se fait en modifiant les concentrations des solutés compatibles dans les tissus de façon à maintenir une concentration ionique plus

élevée (hypertonique) dans le protoplasme que dans le milieu extérieur (HASEGAWA et al, 2000).

2.2.5.2. L'accumulation de proline

De nombreuses études, sur les halophytes ont mis en évidence une accumulation d'acides aminés libres notamment la proline (HUBAC et al, 1969). Cette accumulation a été observée chez la pomme de terre, le tabac et le blé. La proline joue un rôle dans la résistance au stress salin, dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ionique et osmotique de l'accumulation de sel dans la vacuole, Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (YOSHIBA et al., 1999).

Il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi-aldéhyde et conduisant à la proline, mais aussi aux polyamines, via l'ornithine et l'arginine (BARTELS and SUNKAR, 2005).

2.2.5.3. Régulation de la croissance

D'après ZHU (2001), 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 limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

2.2.5.4. Exclusion des ions

Selon Berthomieu et al., (2003), la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de

l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus.

2.2.5.5. Inclusion des ions

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (BERTHOMIEU *et al.*, 2003), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (ALEM *et* AMRI, 2005).

2.2.5.6. Les Antioxydants

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (HERNANDEZ *et al.*, 2001), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (AZEVEDO *et al.*, 2006), qui endommagent les structures cellulaires (PARENT *et al.*, 2008). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (RAHNAMA *et* EBRAHIMZADEH, 2005). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super-oxyde (AZEVEDO *et al.*, 2006).

2.2.5.7. Induction des hormones végétales

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokines. L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilés (PARIDA *et* DAS, 2005).

2.3. Traitements pré germinatifs des semences (amorçage) : Une stratégie d'amélioration de la réponse au sel

2.3.1. Historique et définition de l'amorçage

Plusieurs méthodes ont été utilisées depuis de nombreuses années pour résoudre les problèmes liés par l'hétérogénéité de la germination et pour améliorer à la fois la croissance et le rendement des cultures (**BASRA et al., 2003**).

La méthode la plus couramment utilisée consiste en le traitement pré germinatif des graines également connu sous les termes « d'amorçage » ou « durcissement ». L'amorçage des graines est bénéfique car il améliore la germination des graines, facilite la levée de la dormance synchronisé le processus de germination, améliore l'émergence des plantules et favorise leur croissance, notamment en cas de stress salin, tout en renforçant la tolérance des plantes au sel (**SIVRITEPE et al., 2003**).

Il s'agit d'une approche physiologique visant à améliorer la production végétale en régulant les processus métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (**ROSENTAL et al., 2014**), c'est-à-dire durant la phase réversible de la germination. Pendant cette phase, la graine peut revenir à son état initial tout en préservant sa faculté de germination (**RATIKANTA, 2011**).

Durant la phase d'amorçage, les graines sont partiellement hydratées à un taux d'humidité suffisant pour favoriser les processus métaboliques pré germinatifs, sans toutefois induire la percée de la radicule (**ROSENTAL et al., 2014**). Ce processus induit une germination partielle des graines en les immergeant dans de l'eau ou une solution saline pendant une durée déterminée, suivi d'une déshydratation avant l'apparition de la radicule (**ASHRAF et FOOLAD, 2005**).

Le succès du phénomène d'amorçage est conditionné par divers facteurs, tels que la durée de l'amorçage, la température à laquelle est conduit le traitement, la méthode de prétraitement, la qualité des graines, l'espèce végétal concernée et la concentration de la

solution d'amorçage (MAITI et PRAMANIK, 2013). Il est essentiel d'optimiser la technique d'amorçage afin d'obtenir les meilleurs résultats (MAITI et PRAMANIK, 2013).

2.2.2 Processus d'amorçage

L'amorçage des graines consiste en un traitement pré germinatif au cours duquel les graines sont exposées à une solution spécifique pendant une durée déterminée, favorisant une hydratation partielle. Ce processus permet d'interrompre la germination juste avant l'émergence de la radicule à travers les téguments (HUSSAIN *et al.*, 2015)

Lorsque les graines sont immergées dans l'eau, le processus de germination des graines non dormantes (figure 2) se divise en trois étapes distinctes : 1) L'imbibition, 2) Phase de latence et 3) percée de la radicule à travers les téguments (BEWLEY *et al.*, 2013).

L'hydratation des graines pendant l'amorçage est soigneusement contrôlée de manière à atteindre un niveau d'hydratation suffisant pour initier les processus physiologiques liés à la phase précoce de germination (métabolisme de pré germination), c'est-à-dire le métabolisme de pré germination, tout en évitant une germination complète des graines (PAPARELLA *et al.*, 2015). Ce processus empêche les graines d'entrer dans la troisième phase de germination et les maintient dans la phase initiale de germination, également appelée phase d'activation (HEYDECKER et COOLBEAR, 1977). Par la suite, les graines sont retirées de la solution d'amorçage et séchées jusqu'à ce qu'elles retrouvent leur niveau initial d'humidité, afin de préserver les effets bénéfiques de l'amorçage (RATIKANTA, 2011). Le processus de séchage est essentiel pour permettre le stockage des semences après l'amorçage (DI GIROLAMO et BARBANTI, 2012).

2.2.4 Techniques d'amorçage

2.2.4.1 Hydroamorçage

Ce type d'amorçage consiste à tremper les graines dans l'eau avant de les semer et peuvent être suivies d'un séchage à l'air des graines (PILL et NECKER, 2001). Les semis à germination rapide peuvent émerger et produire des racines profondes avant que les couches supérieures du sol soient desséchées et en croute. Ce qui permet une bonne implantation et un rendement plus élevé (Tableau 2.1) (SUZUKI et KHAN, 2000).

Tableau 2.1 : Synthèse des principaux travaux sur l'hydroamorçage des semences de différentes espèces cultivées.

Durée	Espèce	Effets	Référence
12h	Pois chiche <i>Cicer arietinum</i>	- Amélioration de la germination des graines ayant subi un vieillissement. - Augmentation de la teneur en eau des feuilles. - Augmentation du Rendement.	Hosseinzadeh Mahootchi et al., (2003)
24h	Riz <i>Oryza sativa</i>	- Amélioration de la production du riz en conditions de stress hydrique.	Worku et al., (2013)
6h, 12h, 18h et 24h	Soja <i>Glycine max</i>	- Amélioration des performances germinatives. - Augmentation de la biomasse et le rendement.	Mehri (2015)

2.2.3.2 Hormoamorçage

C'est un type de traitement, récemment appliqué, qui repose sur l'utilisation des traitements des graines par les phytohormones telles que l'acide gibbéréllique, l'acide salicylique et l'acide indole 3-acétique à des concentrations et durées précises. L'acide abscissique (ABA) est une phytohormone largement impliquée dans les réponses aux stress abiotiques tels que la sécheresse, le froid, l'humidité et la sécheresse, largement impliquée dans les réponses aux stress abiotiques comme la sécheresse, les basses températures et le stress osmotique (FUJITA et al., 2006).

Les effets bénéfiques de l'acide gibbéréllique (GA3) sur la germination sont bien connus (ANGRISH et al., 2001). L'application de GA3 (100 mg l⁻¹) avant le semis a permis d'obtenir les teneurs les plus élevées en K et en Ca² dans les pousses des cultures (HARB, 1992).

2.2.4.4 Osmoamorçage (osmoconditionnement)

C'est le type d'amorçage le plus utilisé. Il consiste à faire sur les graines un traitement pré- germinatif osmotique seul ou suivi d'une redéshydratation. D'après **YARI et al, (2011)**, cette hydratation est réalisée par des agents osmotiques comme (**Tableau 2.2**):

- Polyéthylène glycol (PEG).
- Les sels (KNO₃, NaCl, KCl).
- Les polyols (mannitol).

Tableau 2.2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmoamorçage des semences de différentes espèces cultivées.

Espèce	Agent osmotique	Durée	Effets	Référence
Blé <i>Triticum aestivum</i>	PEF 600 KCL KH ₂ PO ₄	12h 24h 36h	-PEG 20% et KH ₂ PO ₄ (12h) : meilleure germination. -PEG 10% (24h) : meilleure croissance de la tige. -KCL : affecte la germination et la croissance	Yari et al (2011)
Mais <i>Zea mays</i>	CaCl ₂	24h	Amélioration du développement du système racinaire et du rendement en condition de sécheresse.	khan et al (2015)
Riz <i>Oryza sativa</i>	KNO ₃ NaCl	24h	KNO ₃ à 1,5% permet d'avoir une meilleure germination et croissance linéaire et pondérale des racines	Ruttanaruangboworn (2017)

2.2.4.5 Bioamorçage

Le bioamorçage est une nouvelle technique de traitement des semences en intégrant d'une part des aspects biologiques, tel que l'inoculation des semences avec un organisme bénéfique pour la protection, et des aspects physiologiques, telle que l'hydratation des semences de l'autre part (**REDDY, 2012**) :

Si les semences sont infectées ou contaminées par des agents pathogènes, la croissance fongique peut être renforcée lors de la préparation, entraînant des effets indésirables sur les plantes. Par conséquent, l'amorçage des semences seul ou en

combinaison avec une faible dose de fongicide ou d'agents de lutte biologique a été utilisée pour améliorer la vitesse et l'uniformité de l'émergence des semences et réduire les maladies provoquant la fonte des semis.

2.2.5 Comportement de quelques espèces vis-à-vis l'amorçage

L'hydroprimage de la culture de maïs a augmenté la vitesse de l'émergence des semis et amélioré le peuplement et la croissance des plantes (**BASRA et al., 2006**). L'hormoamorçage (AG3) (0, 3, 4.5 et 6 mM) de la culture de laitue ont révélé une meilleure performance de la germination et de la croissance des plantules (estimée par la longueur et le poids sec des racines et de l'hypocotyle) (**MAHMOUDI et al., 2012**). Aussi, selon **MOOSAVI et al. (2009)**, chez différentes espèces végétales telles que la tomate, le haricot, la lentille, la pastèque, le melon et la carotte, l'endurcissement permet :

- L'accélération et la synchronisation de la germination.
- Une meilleure croissance et une floraison plus précoce
- Une plus grande tolérance aux stress

2.2.6 Effets de l'amorçage

2.2.6.4 Sur la germination

L'amorçage est une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives, en donnant des cultures uniformes et homogènes (**GHASSEMI GOLEZANI et al., 2010**). Les travaux de **VARIER et al. (2010)** ont expliqué que cette germination rapide est synchronisée par une activation des processus pré-germinatifs en provoquant des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives à la semence.

2.2.6.5 Sur les protéines

L'amorçage favorise la synthèse des protéines par l'amélioration de la machinerie de leur synthèse (**VARIER et al., 2010**).

2.2.6.6 Les enzymes

Selon **FU et al, (1988)**, les semences endurecies font une forte synthèse et activation des enzymes dont les produits (éléments nutritifs) seront utilisés au cours de la germination. Ces enzymes sont impliquées dans la dégradation des réserves protéiques (protéase), des réserves glucidiques (α et β amylases) et des réserves lipidiques (isocitrate lyase).

2.2.6.7 Les protéines de stress

À un stress hydrique, l'endurcissement présente des effets bénéfiques qui sont expliqués par l'augmentation de l'expression des protéines de stress. En effet, une augmentation spécifique des protéines moléculaires de choc thermique (HSP) de 17,4 et 17,7 KDa a été observée chez des graines trempées dans le PEG ou le mannitol. Ces chaperons moléculaires agissent en maintenant le bon repliement d'autres protéines au cours de l'osmoamorçage, empêchant l'agrégation et la liaison aux protéines endommagées (**GALLARDO et al., 2001**).

Ceci explique l'abondance des protéines de choc thermique, qui sont connues pour s'accumuler en grandes quantités au cours de toutes sortes de stress). Ces HSPs synthétisées au cours de l'osmoamorçage en réponse au stress pourraient également protéger les protéines endommagées par le vieillissement naturel (**VARIER et al., 2010**).

2.2.6.8 Sur les osmolytes

Physiologiquement, les traitements pré-germinatifs font l'augmentation de la teneur en proline libre corrélée avec une forte expression de deux gènes et à des niveaux élevés de l'ARNm correspond à l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse de la proline (**GELORMINI, 1999**).

2.2.6.9 Sur la longévité des semences

Plusieurs auteurs ont montré un effet négatif de l'hydroamorçage, où la longévité des semences traitées est souvent réduite (**POWELL et al, 2000 ; VARIER et al, 2010**).

CHAPITRE III

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Objectif

Notre travail a comme objectifs :

L'étude de l'effet de l'amorçage des graines de deux variétés du quinoa (*chenopodium quinoa* Willd.) par l'haloamorçage avec CaCl_2 et l'hormoamorçage avec AG3 sur :

1. La germination précoce de deux variétés du quinoa soumis sous stress salin.
2. La croissance précoce de deux variétés du quinoa soumis sous stress salin.
3. L'accumulation de proline et les chlorophylles « total », « a » et « b » de deux variétés du quinoa soumis sous stress salin.

3.2 Présentation de la station expérimentale

L'essai est réalisé dans une parcelle située au département des sciences agronomiques à l'université de Mohammed Boudiaf, M'sila. Se localisent entre $35^\circ 74' \text{ N}$ et $04^\circ 55' \text{ E}$; avec 512 m d'altitude.

3.2.1 Etude pédoclimatique

3.2.1.1. Données climatiques

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère, l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers tels que les irrigations par exemple. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols (Greco, 1966).

A. Température

La température, est un facteur constitutif du climat, influe sur le développement de la végétation. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (**Greco, 1966**). Seules les valeurs ayant une signification biologique sont prises en considération : Températures moyennes mensuelles, moyennes des maxima du mois le plus chaud (M), moyennes des minima du mois le plus froid (m).

L'analyse des valeurs de la température de l'année 2017, montre que les températures maxima sont enregistrées durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une valeur de : 40.4 °C (**Tableau 3.1**).

Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C).

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou t	Sep	Oct	Nov	Dec
T°Max	12.3	17.8	22.4	25.8	32.9	37.1	40.4	39.9	32.6	26.5	19.0	14.1
T°Min	2.8	6.3	7.7	11.6	18.1	22.0	24.6	25.7	18.5	12.5	6.2	3.4
T°moy	7.55	12.05	15.05	18.7	25.5	29.55	32.5	32.8	25.55	19.5	12.6	8.75

O.N.M. M'sila (2018)

B. Précipitation

La pluviométrie constitue la principale forme des précipitations et la plus importante. C'est le premier facteur du climat influençant la croissance des végétaux. Ainsi la quantité d'eau reçue annuellement est un élément essentiel pour la vie végétale (**Djellouli, 1981**).

Le cumul annuel moyen de la précipitation de l'année 2017 est 142.2 mm (**Tableau 3.2**).

Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm).

Moi	Jan	Fev	Mar	Av r	Mai	Juin	Jui l	Aou t	Se p	Oct	No v	De c	Cumu l
P (mm)	71.4	1.0	2.5	5.6	13. 2	18. 0	4.3	0.5	1.5	12. 7	4.1	7.4	142.2

(O.N.M. M'sila 2018)

3.2.2.2 Analyse chimique du sol

Chaque type de solution d'irrigation (0 mMNaCl et 200 mMNaCl) et du substrat sont soumis à des analyses chimiques (pH, la conductivité électrique).

A. Mesure du pH

Selon **DINON et GERSTMANS (2008)**, le degré d'acidité ou de basicité du sol joue un rôle très important dans l'assimilation des éléments nutritifs du sol par la plante.

Le pH eau, Selon **BAIZE, 1988** :

PH inférieur à 3,5 →hyper-acide pH entre 3,5 et 5 →très acide

PH entre 5 et 6,5 →acide pH entre 6,5 et 7,5→neutre

PH entre 7,5 et 8,7→basique pH supérieur à 8,7 →très basique

Le pH eau du sol de notre sol d'étude est égal 8.23, c'est un sol basique

B. Mesure de la conductivité électrique du substrat (CE)

Elle mesure la teneur en sels solubles dans une solution, la mesure a été faite à l'aide d'une conductimètre (mS/cm). La valeur obtenue est : CE = 0.404 mS/cm (Tableau 3.3).

Les résultats des analyses chimiques d'un échantillon du substrat et des solutions salines (0mM et 200 mMNaCl) au niveau du laboratoire des sciences agronomiques, université Mohamed Boudiaf, M'sila sont récapitulés dans le tableau suivant 3.3.

Tableau .3.3. Les valeurs du pH et la conductivité électrique (CE) du substrat utilisés

Les échantillons du sol	Sol		Solution salin	
	PH	CE à 25° C	pH	CE
0 mM NaCl)	7.23	740µs/cm	7.58	1548 µs/cm
200 mM NaCl)	8.13	3.37 ms/cm	8.98	20.2 ms/cm

Interprétation :

En absence de NaCl (0 mM)

Le pH de 7,23 révèle un sol se rapprochant de la neutralité selon la classification de BAIZE. Ce niveau de pH est propice à la absorption de divers nutriments essentiels. Une conductivité électrique de 740 µs/cm indique une faible salinité, ce qui est favorable à la croissance des plantes en général.

La solution saline présente un pH de 7,58, se rapprochant ainsi de la neutralité, et affiche une légère augmentation par rapport au sol. Une conductivité électrique de 1548 µs/cm témoigne d'une salinité accrue, susceptible d'influencer la disponibilité de certains nutriments.

En présence de chlorure de sodium (200 mM)

Le pH du sol atteint 8,13, ce qui le classe comme basique. Cette modification peut impacter la disponibilité de divers ions, potentiellement en les réduisant pour les plantes. Un niveau de conductivité électrique (CE) élevé mesuré à 3.37 ms/cm témoigne d'une concentration importante en sels dissous, ce qui pourrait avoir des répercussions défavorables sur le développement des végétaux en raison d'effets osmotiques et toxiques. Solution de sel : Le pH a atteint 8,98, le classant ainsi parmi les sols fortement alcalins. Une telle situation peut fortement restreindre l'absorption de nutriments essentiels tels que le fer, le manganèse et le phosphore. La conductivité élevée de 20.2 ms/cm met en évidence une salinité très élevée, qui pourrait être préjudiciable pour la plupart des plantes.

3.3. Matériel végétale

L'étude a porté sur deux variétés du quinoa, fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (**ITDAS**) à Ain Ben Naoui Biskra. Il s'agit de Q102 et de Giza, comme illustré dans la figure. Origine : United States Département of Agriculture (**USDA**) Département de l'Agriculture américain. Cette espèce a été sélectionnée principalement en raison de sa réactivité aux variations du milieu et de sa rapidité de croissance.



Q102



Giza 02

Figure 3.1 : Graines de deux variétés de quinoa étudiées (*Chenopodium quinoa* Wild.)

3.4. Méthode d'étude

3.4.1 Conditions des cultures

Les conditions de culture appliquées lors de la réalisation de ce travail sont diverses en deux méthodes distinctes.

3.4.1.1 Culture au laboratoire « Traitements pré germinatifs des graines (amorçage) »

Des graines saines, de même taille, sont sélectionnées pour cette étude. Deux solutions sont préparées pour l'amorçage des graines : haloamorçage avec CaCl_2 et l'hormoamorçage avec AG3. Les graines de deux variétés (Q02 et Giza) sont trempées pendant 12 h à température ambiante dans les solutions d'amorçage (**Figure**). Les graines non amorcées sont stérilisées pour servir de témoin sans amorçage. Soit :

Le témoin non amorcé NA.

L'haloprimum : CaCl_2 : 2 g/l,

- Peser 2 g de CaCl_2 à l'aide d'une balance de précision
- Ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique
- Compléter à 1 litre avec l'eau distillée.

L'hormoamorçage : AG3 : 15 mg/L

- Peser 0.015g d'acide gibbérellique à l'aide d'une balance de précision
- Ajouter 1 ml d'éthanol à 99,6 %.
- Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique
- Ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique
- Compléter à 1 litre avec l'eau distillée.

Après l'amorçage, les graines sont lavées avec de l'eau distillée et étalées sur une serviette en papier pour sécher à l'ombre pendant 72 heures.



Témoin

Hormoamorçage avec AG3

Haloamorçage avec CaCl_2

Figure 3.2 : Prétraitement des graines de trois variétés de laitue par différents types de prétraitement.

3.4.1.2 Culture sous serre

3.4.1.2.1 Mise en germination après avoir subi l'amorçage

Des pots en plastique de 10 cm de largeur, 10 cm de hauteur et 15 cm de profondeur sont remplis d'un mélange de sol, de terreau et de sable, dans des proportions de : 1/3 :1/3 :1/3 respectivement. Dans le but de caractériser le sol utilisé dans notre expérimentation, les principales caractéristiques chimiques (pH et CE) qui déterminent le gradient de la fertilité du sol sont analysées (**Tableau 17**).

Le semis est effectué manuellement, à raison de 5 graines pour chaque répétition choisies au hasard. Les graines sont semées dans chaque pot, à une profondeur de 5 mm et à une distance égale entre elles. Afin de maintenir une humidité élevée et de réduire l'évaporation.



Figure 3.3. Mise en germination de deux variétés du quinoa après avoir subi l'amorçage.

Le stress salin (200 mM NaCl) est appliqué dès le semis avec des irrigations salines un jour sur deux, pendant 13 jours. Le témoin reçoit l'eau distillée. Une graine est considérée comme émergée lorsque l'hypocotyle est visible au-dessus de la surface du substrat (**MURILLO-AMADOR et al., 2002**).

L'évaluation des besoins hydriques de la plante repose sur la méthode directe développée par **AUSSENAC et al. (1982)**, qui consiste à utiliser des pots comme des cuves lysimétriques. Cette approche s'appuie sur le principe du bilan hydrique, exprimé par la formule suivante :

$$\text{Le bilan} = \text{Apport} - \text{Percolation.}$$

En résumé, le bilan hydrique se compose de l'eau consommée (en ml), de l'apport en eau par irrigation (en ml) et de la percolation, c'est-à-dire l'eau de drainage (en ml). La mesure de la percolation est effectuée 24 heures après l'irrigation ayant permis d'appliquer une dose d'irrigation de 200 ml d'eau par jour.

3.5 Les paramètres étudiés

3.5.1 Taux de germination

Le taux final de graines germées (TFG) ou capacité de germination exprimé en %. Nous calculons le pourcentage final ou maximum des graines germées (N_i) selon la relation :

$$\text{TFG} = N_i \times 100 / N_t$$

N_i = nombre de graines germées

N_t = nombre total de graines utilisées (N_t)

3.5.2 Paramètres morphologiques

Longueur des plants et des racines, poids des plants et des racines, teneur des plants et des racines en eau, nombre, longueur et largeur de feuilles, diamètre des racines (**Figure 3.4**).

3.5.3 Paramètres biochimiques

3.5.3.1 Teneur en proline

La proline est dosée par la méthode de **Troll et Lindsley (1954)**, simplifiée et mise au point par **Drier et Goring (1974)**. Cette méthode se base sur la coloration rose produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine dans un tampon acide (**Annexe I, Figure 3.5**).



Figure 3.4 : la mesure des différents caractères morphologiques des plantes du quinoa



Figure 3.5 : préparation de courbe d'étalonnage de proline

Extraction

100mg de matériel végétal (matières fraîche), est prélevé puis mis dans de tube à essai auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40%, le tout est ensuite porté au bain marie à 85 C° pendant une heure Les extraits peuvent être conservés dans les piluliers en plastique au congélateur.

3.5.3.2 Teneur en chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle **a** et **b** est réalisée selon la méthode **FRANCIS et al 1970** qui consiste à une macération des feuilles (0,1g) dans 10ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et (80% et 40%) de concentration.

Les feuilles sont Coupées en petits morceaux et mises dans des boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48H plus tard, on procède à la lecture ces densités optiques des solutions avec spectrophotomètres, à deux longueurs d'ondes (645nm et 663nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

$$\text{Chl A (ug/gMF)} = 12,7 \times \text{DO}(663) - 2,59 \times \text{DO}(645) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl B (ug/gMF)} = 22,9 \times \text{DO}(645) - 4,68 \times \text{DO}(663) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl totale (ug/gMF)} = \text{Chl A} + \text{Chl B}$$

3.6. Dispositif expérimental

Le dispositif est une randomisation totale, avec deux variétés, trois types d'amorçage et deux concentrations de NaCl, avec 5 répétitions, soit un total de 60 pots. Chaque répétition comprend trois facteurs (Figure 2.2):



Figure 3.6 : Dispositif expérimental

Facteur 1 : Représente les deux variétés (Q02 et Giza) ;

Facteur 2 : représente trois niveaux d'amorçage utilisés : Témoin (sans amorçage) ; HP : haloamorçage (CaCl₂) et hormoamorçage (AG3) ;

Facteur 3 : Représente les deux traitements de solutions salines appliqués : (T0) ; eau distillée ; (T1) 100 mM de NaCl.

3.6 Analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à l'analyse de la variance à trois facteurs (F1 variétés X F2 types d'amorçage X F3 dose de NaCl), et les moyennes sont comparées selon le test de Newman Keuls, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes. L'évaluation de la tolérance au stress salin a été faite par une analyse de la classification hiérarchique ascendante (CHA). Le logiciel XL 7.1 (2015) a servi à cette analyse.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Effet des différents types d'amorçage sur le taux de germination en condition de stress salin

Les données concernant le taux de germination final sont répertoriées dans le **tableau 4.1** et la **figure 4.1**. L'analyse statistique révèle des effets hautement significatifs de l'interaction : facteur variétés (Q102 et Giza) x facteur amorçage (témoin, AG3 et CaCl₂) et facteur stress salin (témoin, 200 mM NaCl) (**Tableau 1 ; Annexe II**).

Tableau 4.1. Effet des différents types d'amorçage sur le taux de germination de deux variétés du quinoa en condition de stress salin

Variété X NaCl	amorçage	Taux de germination (%)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	52.5±12.58 B
	AG3	85±19.15 A
	CaCl ₂	85±17.32 A
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	30±24.49 BC
	AG3	15±10 C
	CaCl ₂	37.5±22.17 BC
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	10±11.15 C
	AG3	20±14.14 C
	CaCl ₂	20±14.14 C
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	5±5.77 C
	AG3	5±5.77 C
	CaCl ₂	17.5±9.57 C
Probabilité		0.008 **
Test F		5.44

P>0.05 ne sont pas significatifs (ns); P≤ 0.05 significatif (*); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***)

Les résultats du **tableau 4.1** et **figure 4.1** révèle que le stress salin (200 mM NaCl) entraîne une diminution du taux final de germination du quinoa, en particulier pour la variété « Giza non traité » qui est la plus affectée. La réduction observée est d'environ - 75% (200 mM) par rapport au témoin non traité à 0 mMNaCl. Cependant, l'amorçage avec CaCl₂ permet d'atténuer l'effet négatif du stress salin, avec des augmentations significatives de l'ordre de 20 %, 71.42 % chez la variété Giza et Q102 respectivement.

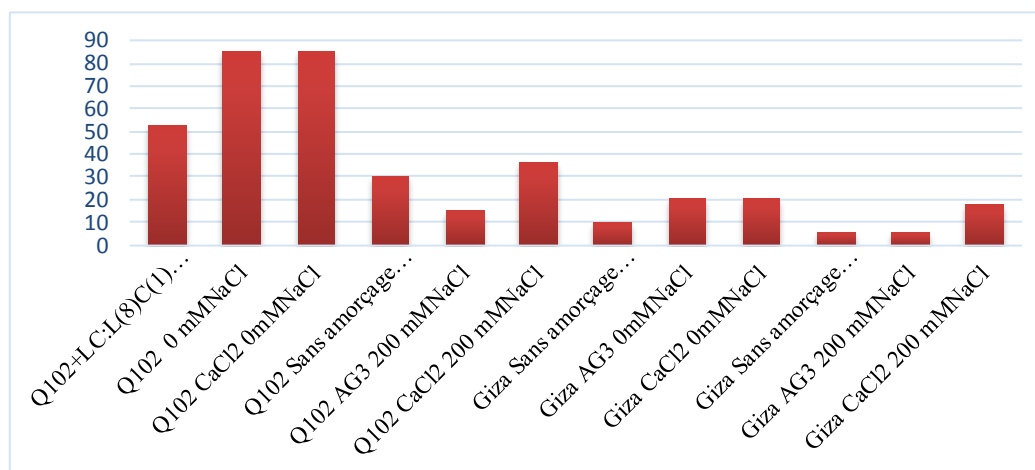


Figure 4.1 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le taux de germination de deux variétés du quinoa

Dans des conditions favorables en absence de stress salin (0 Mm NaCl), l'hormoamorçage avec AG3 et l'haloamorçage avec CaCl₂, améliorent également le taux final de germination des deux variétés du quinoa étudiée avec des augmentations hautement significative de l'ordre de 63.46% par rapport au témoin non traité (**Tableau 4.1** ; **figure 4.1**).

Nous observons que les graines de « Q102 » non traité ou traité par l'AG3 ou CaCl₂ ont un taux de germination plus élevé avec des différences hautement significatives par rapport à la variété Giza. Ainsi, le taux de germinative le plus élevée caractérise les graines traitées par l'haloamorçage avec le CaCl₂.

Les résultats du test F permettent de dégager trois groupes homogènes pour les types d'amorçage : CaCl₂>AG3> sans amorçage ; stress salin 0mM>200 Mm, et les variétés Q102>Giza (**Tableau 4.1**).

Le dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighed Pair-Group Method with arithmétique Average) montre une nette séparation des variétés et structure la diversité de la tolérance au stress salin en deux classes (**Figure 4.2**).

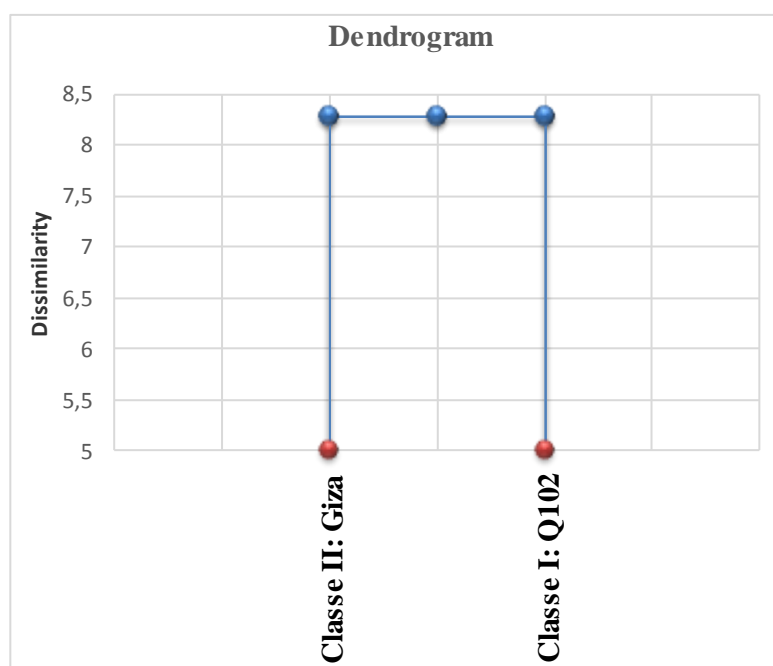


Figure 4.2 : Dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighed Pair-Group Method with arithmétique Average)

La première classe comprend la variété « Q102 », caractérisée par une tolérance plus vigoureuse au stress salin (**Figure 4.2**).

La seconde classe comprend la variété « Giza ». Cette variété est caractérisée par une sensibilité au stress salin (**Figure 4.2**).

L'analyse du dendrogramme révèle que durant la phase de germination, la variété "Q102" se distingue nettement en raison de sa tolérance accrue au stress salin par rapport à l'autre variété, ce qui en fait la plus performante.

4.2 Effet des différents types d'amorçage sur les paramètres morphologiques en condition de stress salin

4.2.1 Nombre de feuilles

Les résultats de l'analyse de la variance révèlent des effets significatifs de l'interaction : facteur variétés (Q102 et Giza) x facteur amorçage (témoin, AG3 et CaCl₂) et facteur

stress salin (témoin, 200 mM NaCl) (**Tableau 4.2, Figure 4.3 ; Annexe II ; Tableau 2 ;**).

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction variété, type d'amorçage et intensité du stress salin indique quatre groupes homogènes (**Tableau 4.2 ; figure 4.3**).

Tableau 4.2 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le nombre, longueur et largeur des feuilles de deux variétés du quinoa

Variété X NaCl	amorçage	Nombre de feuilles	Longueur des feuilles (cm)	Largeur des feuilles (cm)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	17±3.56 C	3.58±0.42	3.05±0.47
	AG3	30.75±11.98BC	3.35±0.99	2.73±1.16
	CaCl2	22.75±9.6 C	3.78±0.82	2.7±0.57
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	19.75±8.18C	3.08±0.32	2.68±0.54
	AG3	21.5±8.19C	3.28±0.82	2.75±0.8
	CaCl2	24±8.12 C	3.18±0.48	2.63±0.25
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	29.5±15.59 BC	4.3±0	3.55±0.06
	AG3	71.5±14.43 A	3.48±0.94	2.83±1.16
	CaCl2	51.25±23.41B	4.28±1.21	3.3±1.15
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	42.25±14.86BC	5.1±1.43	4.38±1.25
	AG3	36.25±15.02 BC	3.25±0.5	2.95±0.71
	CaCl2	18.75±8.02C	3±0.71	2.25±0.57
Probabilité		0.01319 *	0.22029 ns	0.18069 ns
Test F		4.88	1.57	1.78

P>0.05 ne sont pas significatifs (ns); P≤ 0.05 significatif (); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***)*

Le groupe A correspond à l'interaction Giza traité par AG3 et sans stress (0mMNaCl), suivi par le groupe B qui correspond à l'interaction : Giza traité par CaCl2 sans stress (0mMNaCl), avec une moyennes générales de 71.5cm et 51.25 cm respectivement. Le dernier groupe C correspondent aux interactions : Q102 non traité et traité par CaCl2 non stressé (0 mMNaCl) ; Q102 non traité, traité par CaCl2, AG3 dans des

conditions favorable (0mMNaCl) ; et Giza traité par CaCl₂ en condition de stress salin (200mMNaCl).

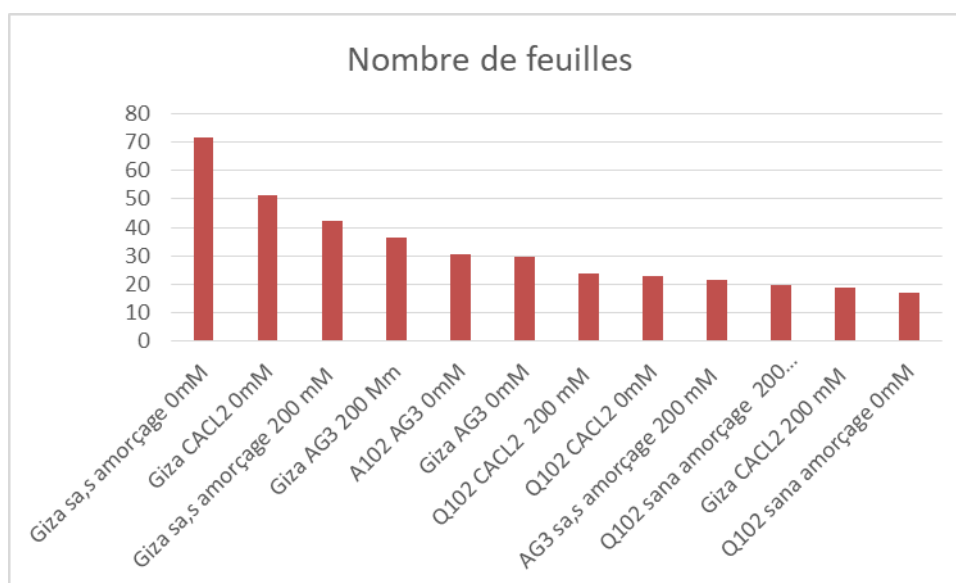


Figure 4.3 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le nombre des feuilles de deux variétés du quinoa

4.2.2 Longueur et largeur des feuilles

Le test NEWMAN-KEULS au seuil de 5 % n'indiquent aucun effet d'interaction : variété, type d'amorçage et stress salin sur la longueur et la largeur des feuilles chez les deux variétés du quinoa étudiée (**Tableau 4.2**).

4.2.3 Poids et longueur des plantules

Les résultats de l'analyse de la variance révèlent des effets non significatifs de l'interaction : facteur variétés (Q102 et Giza) x facteur amorçage (témoin, AG3 et CaCl₂) et facteur stress salin (témoin, 200 mM NaCl) sur les paramètres de croissance (poids et hauteur des plantules) (**Tableau 4.3, Annexe, tableau 5 et 6**).

Les résultats du tableau 4.3 et figure indiquent que le stress salin (200mMNaCl) induit une réduction de tous les paramètres de croissance en hauteur et en poids, chez les deux variétés de plantules issues de graines amorcées ou non. Mais grâce à l'amorçage des graines on obtient une amélioration de la croissance en hauteur et en poids plus ou moins importante en fonction de type d'amorçage (AG3 ou CaCl₂).



Sans amorçage Amorçage avec AG3 Amorçage avec CaCl₂



Amorçage avec AG3 Amorçage avec CaCl₂ Sans amorçage
à 200 mMNaCl a 200 mMNaCl à 200mMNaCl

Figure 4.4 : Aspect morphologique du quinoa en fonction de différents types d'amorçage et stress salin

Tableau 4.3 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le poids frais total et longueur des plantules de deux variétés du quinoa

Variété X NaCl	amorçage	Poids total des plants (g)	hauteur total (cm)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	3.25±1.23	33.35±10.11
	AG3	3.68±2.34	39.6±6.67
	CaCl2	3.75±1.79	33.95±6.19
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	1.96±1.21	19.73±8.04
	AG3	3.12±1.7	23.68±4.26
	CaCl2	2.6±1.62	20.3±4.1
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	5.56±3.93	37.55±6.66
	AG3	17.66±7.44	60.6±2.42
	CaCl2	11.74±6.84	37.6±9.48
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	8±4.21	33.5±12.77
	AG3	11.23±5.99	35.78±11.64
	CaCl2	2.81±1.18	21.5±3
Probabilité		0.10612 ns	0.33383ns
Test F		2.37	1.13

$P \geq 0.05$ ne sont pas significatifs (ns); $P < 0.05$ significatif (*); $P \leq 0.01$ hautement significatif (**); $P \leq 0.001$ très hautement significatif (***)

4.2.3 Poids et longueur des plantules

Les résultats de l'analyse de la variance révèlent des effets non significatifs de l'interaction : facteur variétés (Q102 et Giza) x facteur amorçage (témoin, AG3 et CaCl2) et facteur stress salin (témoin, 200 mM NaCl) sur les paramètres de croissance (poids et hauteur des plantules) (**Tableau 4.3, Annexe, tableau 5 et 6**).

Les résultats du tableau 4.3 et figure indiquent que le stress salin (200mMNaCl) induit une réduction de tous les paramètres de croissance en hauteur et en poids, chez les deux variétés de plantules issues de graines amorcées ou non. Mais grâce à l'amorçage des graines on obtient une amélioration de la croissance en hauteur et en poids plus ou moins importante en fonction de type d'amorçage (AG3 ou CaCl2).

En effet, les graines qui ont subi l'hormoamorçage avec AG3 donnent de meilleures valeurs par rapport à celles qui ont été traitées par CaCl2 et par rapport aussi au témoin sans amorçage.

En conditions non stressantes, les deux paramètres (poids et hauteur totale des plantules) sont améliorés sous l'effet de l'hormoamorçage avec AG3, suivi par les plantules issues de graines amorcées par CaCl₂ (**tableau 4.3**).

Tableau 4.4 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la croissance de la partie aérienne de deux variétés du quinoa

Variété X NaCl	amorçage	poids de partie aérienne (g)	longueur de la tige (cm)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	2.98±1.12	26.75±5.17
	AG3	3.39±2.15	22.92±8.45
	CaCl ₂	3.66±1.74	26.45±3.64
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	1.86±1.16	13.35±4.59
	AG3	2.49±1.53	13.67±2.74
	CaCl ₂	3.02±1.63	17.15±3.7
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	16.97±7.21	47.4±0.69
	AG3	5.13±3.54	24.4±5.48
	CaCl ₂	10.93±6.26	24.48±5.98
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	10.63±5.63	25.95±9.12
	AG3	7.41±3.84	22.85±10.05
	CaCl ₂	2.68±1.11	13.73±1.52
Probabilité		0.1 ns	0.1 ns
Test F		2.31	1.85

P > 0.05 ne sont pas significatifs (ns); *P* ≤ 0.05 significatif (*); *P* ≤ 0.01 hautement significatif (**); *P* ≤ 0.001 très hautement significatif (***)

4.2.4 Poids et longueur de la tige

Le test NEWMAN-KEULS au seuil de 5 % n'indiquent aucun effet d'interaction (*P*=0.1) : variété, type d'amorçage et stress salin sur la longueur et le poids de la tige chez les deux variétés du quinoa étudiée (**Tableau 4.4, Annexe II ; tableau 7et 8**).

Tableau 4.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la croissance de la partie racinaire de deux variétés du quinoa

Variété X NaCl	amorçage	Longueur des racines (cm)	Poids des racines (g)	Diamètre du collet (cm)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	12.85±1.76	0.27±0.11 AB	2.35±0.55ns
	AG3	10.43±3.72	0.29±0.26 AB	2.36±0.47 ns
	CaCl2	7.5±3	0.08±0.05 B	2.21±0.45 ns
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	6.38±3.59	0.1±0.05 B	1.82±0.27 ns
	AG3	6.63±1.37	0.11±0.09 B	2.11±0.53 ns
	CaCl2	6.53±0.8	0.09±0.07B	1.86±0.38 ns
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	13.2±3.57	0.69±0.23 AB	2.23±0.71 ns
	AG3	13.15±3.98	0.8±0.63 A	3.62±0.26 ns
	CaCl2	13.13±3.5	0.43±0.38 AB	3.39±1.08 ns
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	9.83± 3.57	0.6±0.38 AB	2.04±0.48 ns
	AG3	10.65±3.41	0.6±0.37 AB	3.26±1.24 ns
	CaCl2	7.78	0.12±0.07B	2.91±0.92 ns
Probabilité		0.1 ns	0.03 *	0.05 ns
Test F		1.84	3.54	3.18

$P \geq 0.05$ ne sont pas significatifs (ns); $P < 0.05$ significatif (*); $P \leq 0.01$ hautement significatif (**); $P \leq 0.001$ très hautement significatif (***)

4.2.5 Longueur et poids des racines

Le test NEWMAN-KEULS au seuil de 5 % n'indiquent aucun effet d'interaction ($P=0.1$) : variété, type d'amorçage et stress salin sur la longueur des racines chez les deux variétés du quinoa étudiée (**Tableau 4.5, Annexe ; tableau 9 et 10**).

À la lecture du tableau 4.5, le stress salin (200mMNaCl) salinité induit une réduction du poids frais des racines. Cependant, l'amorçage des graines permet une amélioration des valeurs du poids frais que ce soit en conditions stressantes ou non stressantes. Une augmentation significative est enregistrée (**Tableau 4.5, Figure 4. 5 ; Annexe II, Tableau 11**), surtout pour le poids frais des racines issues de graines traitées par l'hormoamorçage avec AG3, suivi par le poids frais des racines issues de graines traitées par l'haloamorçage avec CaCl2.

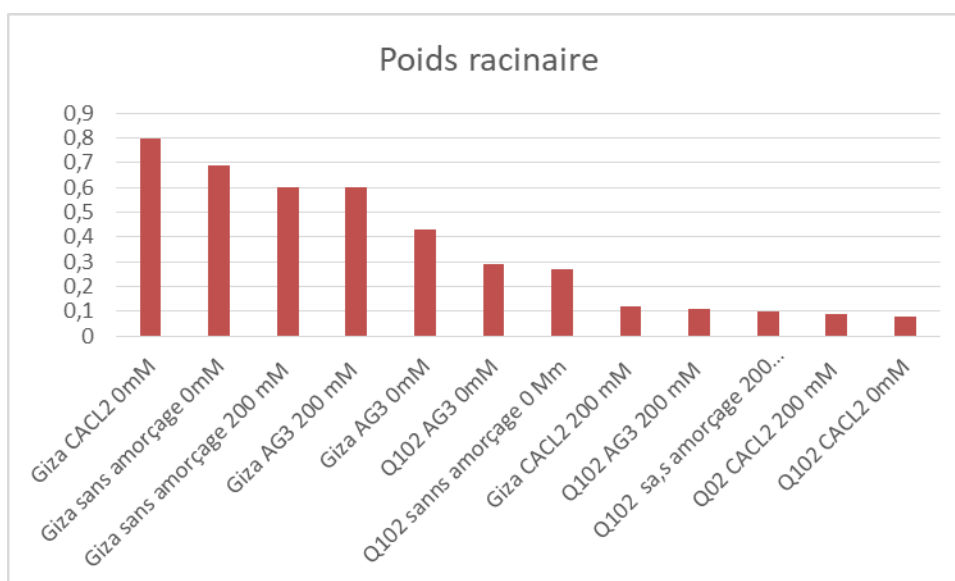


Figure 4.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur le poids racinaire de deux variétés du quinoa

4.2.6 Diamètre du collet

Concernant le diamètre du collet des plantules, l'analyse de la variance ne montre pas des effets significatifs de l'interaction variété/salinité/amorçage (**Tableau 4.5 ; Annexe II; Tableau 12**).

4.3 Effet des différents types d'amorçage sur la composition biochimique en condition de stress salin

4.3.1 Teneur en chlorophylle « totale », « a » et « b »

Les variations de la teneur en chlorophylle totale, « a » et « b » des feuilles sont présentées dans les figures 4.6 ; tableau 4.6.

Tableau 4.6: Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total », « a » et « b » et la teneur en proline de deux variétés du quinoa

Variété X NaCl	amorçage	Ch a ($\mu\text{g}/100\text{mg}$ MF)	Ch b ($\mu\text{g}/100\text{mg}$ MF)	Ch T ($\mu\text{g}/100\text{mg}$ MF)	teneur en proline ($\mu\text{g}/100\text{mg}$ MF)
Q102 0 mM NaCl	Sans amorçage	1.53 \pm 0.02 F	0.77 \pm 0.02B	2.3 \pm 0.03 D	4.83 \pm 0.01A
	AG3	1.91 \pm 0 C	0.82 \pm 0.02A	2.72 \pm 0.01C	0.88 \pm 0.04 L
	CaCl2	0.24 \pm 0.03 L	0.09 \pm 0.01H	2.2 \pm 0.02 E	2.79 \pm 0.01 G
Q102 200 mM NaCl	Sans amorçage	1.16 \pm 0.01G	0.51 \pm 0 D	1.67 \pm 0.01F	3.96 \pm 0.01 B
	AG3	2.06 \pm 0.01B	0.81 \pm 0.01A	2.88 \pm 0.02B	2.5 \pm 0.01H
	CaCl2	1.57 \pm 0 E	0.7 \pm 0.02 C	0.33 \pm 0.02K	3.42 \pm 0.01D
Giza 0 mM NaCl	Sans amorçage	1.67 \pm 0.01D	0.52 \pm 0.01D	2.27 \pm 0.02D	1.71 \pm 0.01 J
	AG3	0.42 \pm 0.01J	0.2 \pm 0.02 F	0.62 \pm 0.02I	2.08 \pm 0.01I
	CaCl2	0.27 \pm 0.02K	0.13 \pm 0.03G	0.41 \pm 0.02J	2.92 \pm 0.02 F
Giza 200 mM NaCl	Sans amorçage	0.89 \pm 0.01 I	0.43 \pm 0.04E	1.32 \pm 0.05H	1.21 \pm 0 K
	AG3	1.08 \pm 0.01H	0.42 \pm 0.03 E	1.5 \pm 0.03 G	2.96 \pm 0 E
	CaCl2	2.17 \pm 0.01A	0.75 \pm 0.01B	2.92 \pm 0.02A	3.62 \pm 0.01 C
Probabilité		0 ***	0 ***	0 ***	0 ***
Test F		719.28			1627.54

$P \geq 0.05$ ne sont pas significatifs (ns); $P < 0.05$ significatif (*); $P \leq 0.01$ hautement significatif (**); $P \leq 0.001$ très hautement significatif (***)

En absence de stress salin, l'analyse des résultats obtenus indique que les taux les plus élevés sont enregistrés chez les feuilles des plantules issues a partir des graines amorcées par l'hormoamorçage AG3 avec une valeur de 1.91, 0,82 et 2.72 respectivement pour la teneur en chlorophylle a, b et total chez la variété Q102 (**Figures 4.6**).

Par contre, chez les feuilles des plantules issues a partir des graines amorcées par l'haloamorçage CaCl2 et l'hormoamorçage AG3 et à 200 mM de NaCl on observe une augmentation de la teneur en chlorophylle total de 5.88 % chez la variété Q102 (amorcée par AG3) et de 85.95 % chez la variété Giza (amorcée par CaCl2).

Les résultats montrent que le stress salin (200 mMNaCl) provoque une forte dégradation des chlorophylles « a », « b » et « total » chez les plantules issues de graines

non amorcées. Contrairement aux plantules issues de graines ayant subi un traitement de prégermination (AG3 ou CaCl₂) pour lesquelles les teneurs sont plus élevées et les feuilles plus vertes (**Figure 4.7**).



Figure 4.6 : Couleur des feuilles issues des plantules amorcées par rapport aux feuilles issues des plantules non amorcée

Ce qui indique que la teneur en chlorophylle diminue à la fois en fonction de l'intensité du stress mais aussi en fonction de la variété. Par contre l'amorçage des graines par l'haloprimer (CaCl₂) et l'hormoprimer (AG3) avant leur germination améliore les teneurs en chlorophylle « a », « b » et « total ».

Ces données confrontées au test statistique (ANOVA) à l'aide de l'analyse de la variance et la comparaison des moyennes, révèlent des différences très hautement significatives pour l'effet d'interaction variété, type d'amorçage et stress salin (**Annexe II ; Tableaux 13, 14 et 15**).

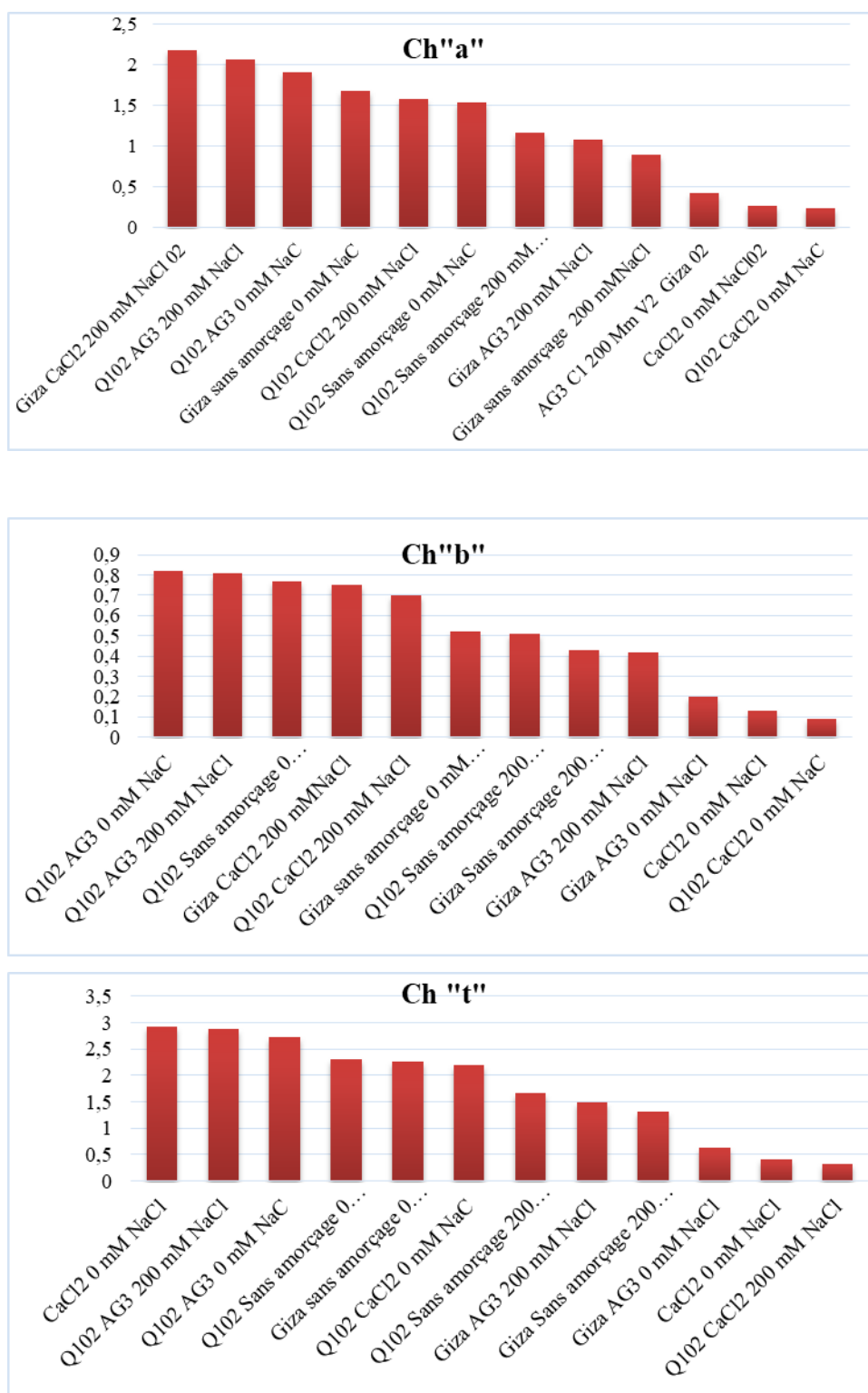


Figure 4.7 : Effet des différents types d’amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total » « a » et « b » de deux variétés du quinoa

4.3.2 Teneur en proline

Les résultats et les analyses statistiques indiquent que l'amorçage des graines stimule significativement ($p=0$) la biosynthèse et l'accumulation de la proline au niveau des feuilles. Toutefois, l'augmentation de la teneur en proline diffère selon le type d'amorçage, la variété et l'intensité du stress salin (**Tableau 4.6, Figure 4.8, Annexe II, tableau 16**).

En effet, nous remarquons qu'en condition de stress salin, chez les deux variétés du quinoa « Giza » et « Q102 », c'est l'haloamorçage avec CaCl_2 et l'hormoamorçage avec AG3 qui induit la plus forte augmentation de la teneur en proline libre par rapport au témoin (sans amorçage).

En absence d'amorçage, le stress salin (200 mM NaCl) provoque une augmentation très hautement significative de la teneur en proline au niveau des feuilles : 21.96% % chez la variété Q102 et 29.23 % chez la variété Giza, comparativement aux témoins.

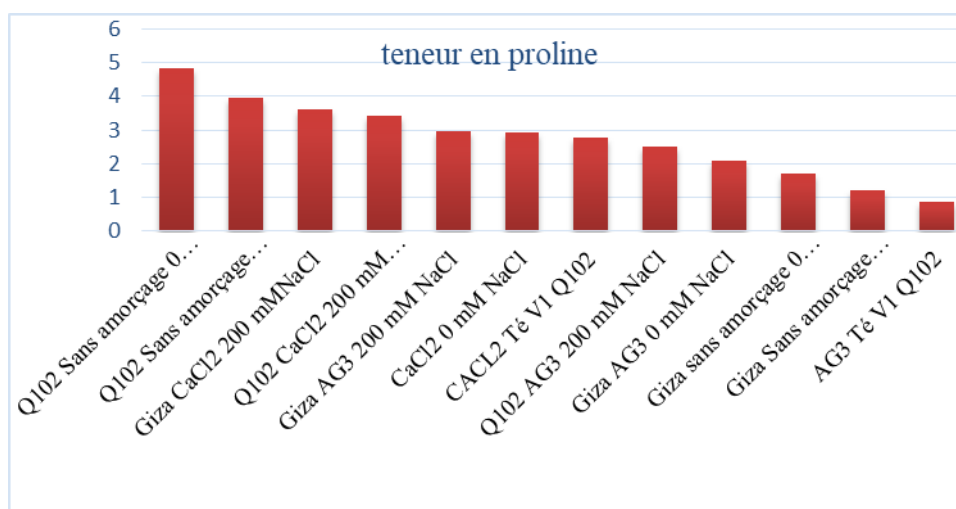


Figure 4.8 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en proline de deux variétés du quinoa

Nos résultats montrent que le traitement et plus particulièrement l'haloamorçage avec CaCl_2 suivi par l'hormoamorçage avec AG3 favorise la production de la proline libre chez les feuilles des deux variétés du quinoa.

DISCUSSION

Les observations de la germination montrent clairement que les graines des deux variétés germent mieux en l'absence du sel. Cela confirme la règle générale sur la germination des halophytes (**GROUZIS et al., 1976 ; BELKHODJA et BIDAI.,2004, LALLOUCHE et al, 2017**) et des glycophytes (**BELKHODJA et SOLTANI, 1992 ; BELKHODJA et BIDAI, 2004**), qui indiquent le caractère commun aux graines, lié à l'expression des conditions optimales de la germination en milieu non salé. Des résultats similaires sont évoqués par d'autres auteurs, qui signalent que les graines de la plupart des espèces atteignent leur maximum de germination en eau distillée (**KACHOUT et al., 2016 ; LAGHMOUCHI et al., 2017**). Les résultats de cette étude montrent que le stress modéré (200 mM de NaCl) provoque une réduction du pourcentage final de germination. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs (**MURILLO- AMADOR et al., 2006 ; THIAM et al., 2013**).

L'effet négatif de la salinité sur la germination trouvé dans cette étude peut être dû selon plusieurs auteurs, à la réduction de la facilité d'absorption de l'eau durant l'imbibition ((**CHARTZOULAKIS et KLAPAKI, 2000, MURILLO-AMADOR et TROYO-DIEGUEZ, 2000**), à cause de la diminution du potentiel hydrique du milieu. Par conséquent, l'hydrolyse des réserves alimentaires stockées dans les tissus et leurs translocations vers l'axe de l'embryon sont limitées (**MISRA et DWIVEDI, 2004**). De plus, **ABBAS et al. (2013)** soulignent que la salinité affecte négativement la germination, en facilitant l'absorption des ions toxiques, qui peuvent provoquer des modifications dans les activités hormonales des graines (**DASZKOWSKA-GOLEC, 2011**). Cet effet est également attribué au stress oxydatif induit par la salinité (**ZAVARIYAN et al., 2015**), car les systèmes de protection antioxydants présents dans les graines deviennent inefficaces.

D'après **MAMEDI ET AL, (2022)**, le prétraitement des graines du quinoa avec une solution de nitrate de potassium (KNO₃ ou CaCl₂) a provoqué une augmentation du taux de germination, de l'élongation de la racine et de la longueur des pousses en condition de stress salin.

Les résultats de la germination mettent en évidence que l'amorçage améliore les performances de germinatives du quinoa dans des conditions normales (0mMNaCl) et

stressantes (100 mM NaCl), confirment ainsi les études antérieures portant sur plusieurs espèces (**ABDOLLAHI et al., 2012**). Ces auteurs ont confirmé que l'amorçage constitue une méthode efficace pour améliorer les processus de germination en favorisant une germination rapide et synchronisée, ainsi qu'une tolérance plus efficace au stress salin.

Les résultats des paramètres de croissance montrent que sous stress salin (200 mM de NaCl), la croissance des différentes parties des plantules est limitée. Ils rejoignent les résultats obtenus chez plusieurs espèces, telles que le blé (*Triticum aestivum* L.) (**ABBASDOKHT et al., 2010**), et la fève (**NABI et al., 2014**). Cette étude montre clairement que l'hormoamorçage avec AG3 améliore tous les paramètres de croissance étudiés en conditions normales et stressantes. Des résultats similaires sont signalés par **KHAN et al. (2009)**, qui soulignent une amélioration de la croissance des plantules issues de graines amorcées par le NaCl. Ces auteurs suggèrent que cette amélioration est due à la germination précoce et rapide induites par l'amorçage. D'autre part, **VARIER et al., (2010)**, expliquent les effets bénéfiques de l'amorçage sur la croissance par l'élargissement des cellules, l'accélération de la réplication nucléaire, et de la division cellulaire au niveau des racines. L'amélioration du poids racinaire notée dans cette étude est également signalée par **KHAN et al. (2009)**. **Farooq et al. (2007b)** expliquent que cette amélioration du poids frais des plantules est due à une forte division cellulaire au niveau du méristème apicale des racines, qui induit une augmentation de la croissance des plantules. De même, **BASRA et al., (2005)** rapportent une amélioration de la longueur des tiges, et du poids des plantules de blé issues de graines traitées par l'haloprimer. L'effet positif de l'amorçage dans notre cas dépend étroitement du type d'amorçage. **KAYA et al., (2006)** concluent que l'effet positif d'amorçage sur la croissance des plantules est dû à l'émergence rapide des plantules induite par l'amorçage.

Les résultats des teneurs en chlorophylle « total », « a » et « b » montrent que l'amorçage des graines du quinoa avec AG3 et CaCl₂ provoque une augmentation marquée des teneurs en proline et en chlorophylle en conditions favorable et stressante par rapport aux graines non amorcées. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **ALLOUI et al., (2014)** sur le piment. L'acquisition de la tolérance à la salinité chez le concombre, induite par l'amorçage avec du CaCl₂, pourrait être due à l'activation du système antioxydant et à l'accumulation de la proline (**JOSHI et al., 2013**).

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'étudier la réponse au stress salin de deux variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) aux stades germination, de croissance et de tester l'effet de différents types d'amorçage sur la tolérance à la salinité de cette espèce.

Cette étude porte sur l'amorçage en utilisant l'haloamorçage avec CaCl₂ et, l'hormoamorçage avec AG3 dans des conditions favorables (0mMNaCl) et stressantes (200 NaCl). Les résultats ont montré que, chez les graines non amorcé, le stress salin (200 mM de NaCl) a des effets variables en fonction de l'interaction entre variété et type d'amorçage, La salinité, à 200 mM NaCl affecte de manière significative le taux de germination et de croissance (longueur des racines, nombre de feuilles, de la longueur totale des plantules, du poids frais des plantule...).

En revanche, l'amorçage des graines améliore significativement la tolérance en atténuant les effets néfastes du stress salin sur les performances de germination. Il favorise une germination rapide et synchronisée ainsi qu'une amélioration des paramètres de croissance que ce soit en conditions favorables ou sous stress salin. Cette amélioration varie selon le type d'amorçage, l'intensité du stress salin et la variété. L'haloamorçage et l'hormoamorçage révèlent plus efficace tant dans des conditions favorables que dans des conditions de stress. La variété "Q102" se distingue par une plus grande tolérance à la salinité au stade de germination et une meilleure réponse à cette contrainte lorsqu'elle est soumise à l'amorçage par CaCl₂. Contrairement au stade de croissance c'est la variété Giza qui se distingue par une grande tolérance lorsqu'elle est soumise à l'amorçage par AG3.

Les analyses biochimiques (teneur en proline, en chlorophylle « total », « a » et « b ») ont également révélé des modifications significatives, notamment des niveaux accrus de proline, de teneur en chlorophylle « totale », essentiels pour atténuer les effets dépressifs du stress salin (NaCl) et favoriser la croissance et le développement des plantules du quinoa en condition de salinité élevée.

Les différents types d'amorçage ont permis de distinguer des méthodes simples, moins chères et très efficaces pour améliorer les performances germinative et de croissance

du quinoa en conditions favorables et de stress salin défavorables . Les résultats de ce travail ont permis d'identifier une variété du quinoa tolérante à la salinité qui est « Q102 » qui peut être proposée dans les programmes d'amélioration et de sélection

Les perspectives ;

Afin de répondre à certaines questions qui restent posés, ces perspectives sont suggérées :

- Il convient d'approfondir les études sur d'autres variétés, ce afin de procéder à une évaluation plus précise de la tolérance de cette espèce à la salinité. Cette démarche permettra ensuite d'intégrer ces données dans les programmes d'amélioration et de sélection de l'espèce ;
- Effectuer une analyse génétique pour distinguer les différentes variétés examinées en recourant aux méthodes de biologie moléculaire, dans le but de caractériser les gènes impliqués dans la tolérance aux stress salin ;
- Il convient d'explorer différentes méthodes d'amorçage des graines en utilisant différents agents tel que le NaCl, KCl, l'hormone priming (AIB, AIA) et le double hydropriming, en variant les durées d'amorça ;
- Analyser les mécanismes biochimiques et physiologiques qui contrôlant la germination des graines et qui sont liés à la tolérance au stress salin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbas, T. E. (2013). The use of *Moringa oleifera* in poultry diets. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 37(5), 492-496.
- Abbasdokht, H., Edalatpishhe, M. R. et Gholami, A. (2010). L'effet de l'hydroamorçage et de l'haloamorçage sur la germination et le début de la croissance du blé (*Triticum aestivum* L.). *Revue internationale d'ingénierie agricole et des biosystèmes*, 4(8), 551-555.
- Abdollahi, M., Rezaei, M. et Farzi, G. (2012). Un nouveau film bionanocomposite actif incorporant de l'huile essentielle de romarin et de la nanoargile dans du chitosane. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 343-350.
- Abugoch James, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Food Chemistry*, 112(3), 441-448.
- Afzal, I., Basra, SMA, Hameed, A. et Farooq, M. (2006). Améliorations physiologiques pour atténuer le stress salin chez le blé. *Pak. J. Bot*, 38(5), 1649-1659.
- Alem, C., & Amri, A. (2005). Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 4(1), 20-31.
- Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., & Filali-Maltouf, A. (2002). Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *Comptes rendus biologiques*, 325(11), 1097-1109.
- Aloui, C. et Hkiri, B. (2014). Co-mouvements des marchés boursiers émergents du CCG : nouvelles preuves issues de l'analyse de cohérence des ondelettes. *Modélisation économique*, 36, 421-431.
- Angrish, R., Kumar, B. et Datta, K. S. (2001). Effet de l'acide gibbérellique et de la kinétine sur la teneur en azote et l'activité du nitrate réductase dans le blé dans des conditions salines.
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*, 88, 223-271.
- Azevedo Neto, A. D., Prisco, J. T., Enéas Filho, J., Abreu, C. D., & Gomes Filho, E. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes.
- AZIZI S., AZZOUZ K., BEN AHCENE M., (2021). Etude de contribution à l'introduction de la culture de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région du Hodna. Mémoire de Master II. Univ de M'sila.

- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences*, 24(1), 23-58.
- Basra, S.M.A., M. Farooq and A. Khaliq., 2003. Comparative study of pre-sowing seed enhancement treatments in indica rice (*Oryza sativa* L.). *Pak. J. Life Soc. Sci.*, 1: 5-9.
- Basra, SMA, Farooq, M., Tabassam, R. et Ahmad, N. (2005). Aspects physiologiques et biochimiques des traitements de semences avant semis du riz fin (*Oryza sativa* L.). *Science et technologie des semences*, 33(3), 623-628.
- Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (2015). State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013.
- Bazile, D., Jacobsen, S.-E., & Verniau, A. (2016). The Global Expansion of Quinoa: Trends and Limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Belkhodja, M., & Bidai, Y. (2004). La réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4), 331-335.
- Belkhodja, M., & Soltani, N. (1992). Réponses de la fève (*Vicia faba* L.) à la salinité: étude de la germination de quelques lignées à croissance déterminée. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 139(4-5), 357-368.
- Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublait, A., Brackenbury, W. J., Lambert, C., Savio, C., ... & Casse, F. (2003). Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal*.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., Nonogaki, H., Bewley, J. D., Bradford, K. J., ... & Nonogaki, H. (2013). Germination. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy, 3rd Edition*, 133-181.
- BOUKHALAT M., CHELLALI O., (2021). L'effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés du quinoa cultivée dans la région de M'sila. Mémoire de Master II. Univ de M'sila.
- Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia horticultrae*, 86(3), 247-260.
- Chinnusamy, V., Schumaker, K., & Zhu, J. K. (2004). Molecular genetic perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *Journal of experimental botany*, 55(395), 225-236.
- Condom, N. (1996). *Salinisation, alcalinisation et sodisation sur un périmètre irrigué du Pakistan: caractérisation des processus géochimiques et physiques (dégradation des sols) et étude de l'influence de l'eau d'irrigation sur ces processus à l'aide d'un modèle hydro-géochimique* (Doctoral dissertation, ENGREF).

- Daszkowska-Golec, A. (2011). Arabidopsis seed germination under abiotic stress as a concert of action of phytohormones. *OMICS: a journal of integrative biology*, 15(11), 763-774.
- Del Castillo, C., Mahy, G., & Winkel, T. (2008). La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable". *BASE*.
- Dharm, S. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential crop for future food, health security, livelihood generation and poverty eradication, India. p. 285.
- Di Girolamo, G., & Barbanti, L. (2012). Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy*, 7(2), e25-e25.
- DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A., BELJOUDI Z., 2003. La salinisation secondaire des sols au Sahara : Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*, vol. 14, n° 4, pp 241-246. DEBEZ et al, 2001).
- Douaoui, A., Hartani, T., & Lakehal, M. (2006). La salinisation dans la plaine du Bas-Cheliff: acquis et perspectives. In *Economies d'eau en Systèmes IRrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet SIRMA*.
- Dreier, W., Ehwald, R., & Goring, H. (1977). Transport von Zuckern in der wachsenden Maiswurzelspitze. *Wiss Z Humboldt Univ Berl*.
- Farooq, M.S.M.A., Basra, S.M.A. et Ahmad, N. (2007). Améliorer les performances du riz repiqué par amorçage des semences. *Règlement sur la croissance des plantes*, 51, 129-137.
- Felix, D. (2004). Diagnostic agraire de la Province Daniel campos, Bolivie. Le développement de la filière quinoa et ses conséquences sur l'équilibre du système agraire des Aymaras de la marca Llica-Tahua. *Agronomie tropicale. Montpellier, CNEARC-ENSAM. Ingénieur agronome*, 113.
- Fu, J. R., Lu, X. H., Chen, R. Z., Zhang, B. Z., Liu, Z. S., Li, Z. S. et Cai, D. Y. (1988). Osmoconditionnement des graines d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) avec du PEG pour améliorer la vigueur et certaines activités biochimiques.
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. et Shinozaki, K. (2006). Diaphonie entre les réponses au stress abiotique et biotique : une vision actuelle des points de convergence dans les réseaux de signalisation du stress. *Opinion actuelle en biologie végétale*, 9(4), 436-442.
- Gallardo, K., Job, C., Groot, S. P., Puype, M., Demol, H., Vandekerckhove, J., & Job, D. (2001). Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. *Plant physiology*, 126(2), 835-848.
- Galwey, N. (1995). Quinoa and relatives. In *Evolution of Crop Plants* (pp. 41-46). Longman, Harlow, UK.
- Galwey, N.W. (1992). Le potentiel du quinoa en tant que culture polyvalente pour la diversification agricole : une revue. *Cultures et produits industriels*, 1(2-4), 101-106.

- Gandarillas, H. (1979). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Genética y origen. In M. E. Tapia, H. Gandarillas, S. Alandia, A. Cardozo (Eds.), *La Quinoa y la Kaniwa: Cultivos Andinos*.
- Gaucher, G., & Burdin, S. (1974). Geology, geomorphology and hydrology of the salted lands: Contribution to salted lands enhancement.
- Gelormini, C. (1995). *Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initialisation: aspects méthodologiques et fondamentaux* (Doctoral dissertation, Rennes 1).
- Ghassemi-Golezani, K., Bakhshy, J., Yaeghoob, R.A.E.Y. et Hossainzadeh-Mahootchy, A. (2010). Vigueur des semences et performance au champ des cultivars de colza d'hiver (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(3), 146-1
- Grattan, S.R., and J.D. Rhoades. 1990. Irrigation with saline ground water and drainage water. p. 432–449. In K.K. Tanji (ed.) *Agricultural salinity assessment and management*. Manuals Rep. on Eng. Practice no. 71. ASCE, New York.
- Greenway, R. S. (Ed.). (2000). *Discipling the city: A comprehensive approach to urban mission*. Wipf and Stock Publishers.
- Grouzis, M., Berger, A., & Heim, G. (1976). Polymorphisme et germination des graines chez trois espèces annuelles du genre *Salicornia*. *Oecol. Plant*, 11(1), 41-52.
- Hagemeyer, J., & Weinand, T. (1996). Radial distributions of Pb in stems of young Norway spruce trees grown in Pb-contaminated soil. *Tree physiology*, 16(6), 591-594.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Herbillon, L. (2015). Influence d'un matériel émotionnel sur les processus d'attribution de source dans le paradigme d'induction de plagiat inconscient.
- Hernández, J. A., Ferrer, M. A., Jiménez, A., Barceló, A. R., & Sevilla, F. (2001). Antioxidant systems and O₂·⁻/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant physiology*, 127(3), 817-831.
- Heydecker, W., & Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improved performance-survey and attempted prognosis.
- Hosseinzadeh-Mahootchi, A. et Ghassemi-Golezani, K. (2014). L'impact de l'amorçage et du vieillissement des graines sur les performances physiologiques du pois chiche sous différents traitements d'irrigation. *Sélection végétale et science des semences*, 67(1), 13.
- Hubac, J. M. (1969). Premier essai d'étude de croisements expérimentaux à l'aide des méthodes numériques de la taxonomie chez *Campanula rotundifolia* L., si CR Seances Soc. Biol, 163, 336-44.
- Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, S., Peng, S., ... & Nie, L. (2015). Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Scientific reports*, 5(1), 8101

Jacobsen, S. E., Monteros, C., Corcuera, L. J., Bravo, L. A., Christiansen, J. L., & Mujica, A. (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 26(4), 471-475.

Joshi, S. et Schultz, TP (2013). Planification familiale et santé des femmes et des enfants : conséquences à long terme d'un programme de sensibilisation à Matlab, Bangladesh. *Démographie*, 50(1), 149-180.

Kachout, S. S., Ennajah, A., Mechergui, R., Ben Mansoura, A., Ouerghi, Z., & Bouraoui, N. K. (2016). Effect of seed weight and salinity on the germination of garden orache (*Atriplex hortensis* L.).

Kaya, MD, Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y. et Kolsarıcı, Ö. (2006). Traitements des semences pour surmonter le stress salin et la sécheresse pendant la germination du tournesol (*Helianthus annuus* L.). *Revue européenne d'agronomie*, 24(4), 291-295.

Kessiran, M, M. (2003). Gestion de l'irrigation dans le milieu salin. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Volume III, El-Oued les 19 et 20 mai 2003

Khan, HA, Pervez, MA, Ayub, CM, Ziaf, K., Balal, RM, Shahid, MA et Akhtar, N. (2009). L'amorçage hormonal atténue le stress salin dans le piment (*Capsicum annum* L.). *Sol et environnement*, 28(2), 130-135.

Khan, M. B., Hussain, M., Raza, A., Farooq, S., & Jabran, K. (2015). Seed priming with CaCl₂ and ridge planting for improved drought resistance in maize. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(2), 193-203.

Laghmouchi, Y., Belmehdi, O., Bouyahya, A., Senhaji, N. S., & Abrini, J. (2017). Effect of temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum compactum*. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 10, 156-160.

Lallouche, B. (2018). Etudes des marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires des génotypes d'opuntia, en relation avec le développement dans des conditions de stress salin.

Lallouche, B., Boutekrabet, A., Hadjkouider, B., Riahi, L., Lamine, S. et Zoghalmi, N. (2017). Utilisation de caractères physio-biochimiques pour évaluer la tolérance au sel de cinq espèces d'Opuntia dans les steppes algériennes. *Journal pakistanais de botanique*, 49(3), 837-845.

Lebonvallet, S. (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. *Agro Paris Tech, Paris & INRA, Avignon, France*, 69.

Maiti R, Pramanik K, 2013. Vegetable Seed Priming: A Low Cost, Simple and Powerful Techniques for Farmers' Livelihood. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4 (4): 475-481.

Mamedi, A., Salehi, P. et Divargar, F. (2022). Réponse de la germination des graines de *F. arundinacea* aux températures, aux potentiels hydriques et aux traitements d'amorçage à l'aide de modèles hydro-temporels et thermiques. *Physiologie et biologie moléculaire des plantes*, 28(8), 1545-1558.

Martinez, J. L., Sánchez, M. B., Martínez-Solano, L., Hernandez, A., Garmendia, L., Fajardo, A., & Alvarez-Ortega, C. (2009). Functional role of bacterial multidrug efflux pumps in microbial natural ecosystems. *FEMS microbiology reviews*, 33(2), 430-449.

Mehri, S. (2015). Effet de la préparation des semences sur le rendement et les composantes du rendement du soja. *Journal américano-eurasien des sciences de l'agriculture et de l'environnement*, 15(3), 399-403. Misra, N., & Dwivedi, U. N. (2004). Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Science*, 166(5), 1135-1142.

Monto, A. S., Davenport, F. M., Napier, J. A., & Francis Jr, T. (1970). Modification of an outbreak of influenza in Tecumseh, Michigan by vaccination of schoolchildren. *Journal of Infectious Diseases*, 122(1-2), 16-25.

Moosavi, M., Goharshadi, EK et Youssefi, A. (2010). Fabrication, caractérisation et mesure de certaines propriétés physicochimiques des nanofluides de ZnO. *Journal international sur les flux de chaleur et de fluides*, 31(4), 599-605.

Mujica A., Jacobsen S.E., Izquierdo J. & Marathée J.P., eds, 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. In: Izquierdo Fernández J.I. et al., eds. *Cultivos Andinos*. [CD-ROM]. Santiago: FAO.

Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J. L., López-Aguilar, R., Avila-Serrano, N. Y., Zamora-Salgado, S., ... & Kaya, C. (2006). Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Horticulturae*, 108(4), 423-431.

MURILLO-AMADOR, B., TROYO-DIEGUEZ, E., LOPEZ-CORTES, A., TINOCO-OJANGUREN, C. L., JONES, H. G., & AYALA-CHAIREZ, F. (2000). Path analysis of cowpea early seedling growth under saline conditions. *Phyton*, 67, 85-92.

Nabi, F., Chaker-Haddadj, A., Chebaani, M., Ghalem, A., Mebdoua, S. et Ounane, SM (2020). Influence de la préparation des semences sur les premiers stades de croissance du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivé dans des conditions de stress salin. *Recherche sur les légumineuses - Un journal international*, 43(5), 665-671.

Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M. (1995). Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*, 109(3), 735.

Pacheco, A. et Morlon, P. (1978). *Les systèmes racinaires des plantes d'intérêt économique dans l'Altiplano du Pérou*. Miméo. Puno, Pérou.

Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M. A. L. A. K. A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34, 1281-1293.

Parent, C., M. Beaudry, M-C. Saint-Jacques, D. Turcotte, C. Robitaille, M. Boutin, et C. Turbide. 2008. « Les représentations sociales de l'engagement parental du beau-père en famille recomposée ». *Enfances, Familles, Générations*, no 8.

Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.

- Pill, W. G., & Necker, A. D. (2001). The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.).
- Powell, A. A., Yule, L. J., Jing, H. C., Groot, S. P., Bino, R. J., & Pritchard, H. W. (2000). The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany*, 51(353), 2031-2043.
- RAHNAMA H., EBRAHIMZADEH H. 2005. *The effect of NaCl on antioxidant enzyme in potato seedlings*. Biol. Plant., 49(1): 93-97.
- Ratikanta KM (2011) Seed priming: an efficient farmers' technology to improve seedling vigour, seedling establishment and crop productivity. *International Journal of Bio-resource Stress Management* 2(3): 1-4.
- Reddy, LH, Arias, JL, Nicolas, J. et Couvreur, P. (2012). Nanoparticules magnétiques : conception et caractérisation, toxicité et biocompatibilité, applications pharmaceutiques et biomédicales. *Revue chimique*, 112(11), 5818-5878.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. et Jacobsen, S. E. (2003). Valeur nutritionnelle et utilisation des cultures andines quinoa (*Chenopodium quinoa*) et kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Revue alimentaire internationale*, 19(1-2), 179-189.
- Risi C, J. et Galwey, N.W. (1984). Les grains de *Chenopodium* des Andes : cultures incas pour une agriculture moderne.
- Risi, J. C., & Galwey, N. W. (1989). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). I. Associations between characteristics. *Euphytica*, 41, 147-162.
- Rosental, L., Nonogaki, H., & Fait, A. (2014). Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed science research*, 24(1), 1-15.
- Ruales, J. et Nair, BM (1993). Teneur en matières grasses, vitamines et minéraux dans les graines de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd). *Chimie alimentaire*, 48(2), 131-136.
- Ruttanaruangboworn, A., Chanprasert, W., Tobunluepop, P. et Onwimol, D. (2017). Effet de l'amorçage des semences avec différentes concentrations de nitrate de potassium sur le modèle d'imbibation des graines et de germination du riz (*Oryza sativa* L.). *Journal de l'agriculture intégrative*, 16(3), 605-613.
- Sivritepe, N., Sivritepe, H. O., & Eris, A. (2003). The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia horticultrae*, 97(3-4), 229-237.
- Suzuki, H., & Khan, A. A. (2000). Effective temperatures and duration for seed humidification in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Tapia, M. E. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.
- Thiam, A. R., Farese Jr, R. V., & Walther, T. C. (2013). The biophysics and cell biology of lipid droplets. *Nature reviews Molecular cell biology*, 14(12), 775-786.

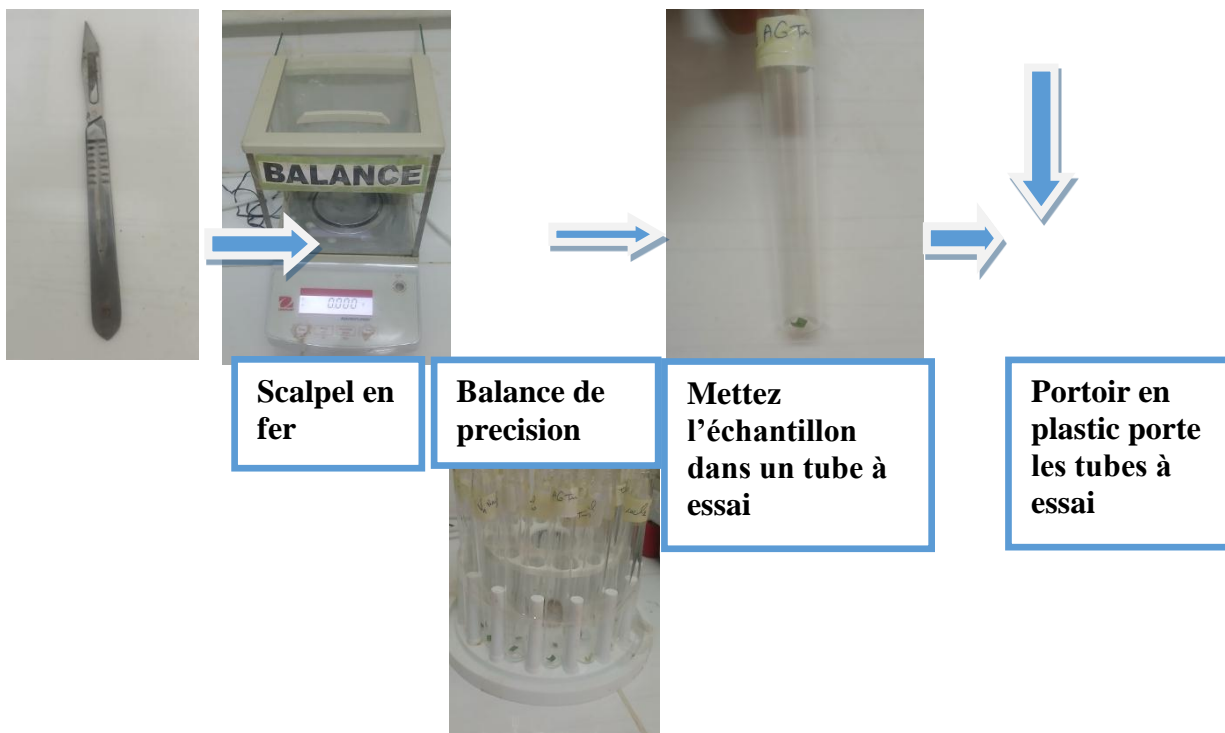
- Tremblin, G. (2000). Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des Sebkhass de l'Ouest algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(2), 109-116.
- Valencia-Chamorro, S.A. (2003) Quinoa. Dans : Caballero, B., Ed., Encyclopédie des sciences de l'alimentation et de la nutrition, Academic Press, Amsterdam, 4895-4902.
- Varier, A., Vari, A. K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 450-456.
- 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.
- Worku, A., Ayalew, D. et Tadesse, T. (2016). Germination et croissance précoce des semis de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous l'effet de l'amorçage et de l'enrobage des semences. *Journal de biologie Agriculture et soins de santé*, 6(5), 27-33.
- Yari, L. et Sheidaie, S. (2011). Effet de l'amorçage des graines sur le comportement de germination des graines du riz (*Oryza sativa* L.).
- Yoshida, S., Sagai, M., Oshio, S., Umeda, T., Ihara, T., Sugamata, M., Sugawara, I & Takeda, K. (1999) Exposure to diesel exhaust particles affects the male reproductive systems of mice. *International Journal of Andrology* 22, 307–315.
- Zavariyan, A. M., Rad, M. Y. et Asghari, M. (2015). Effet de l'amorçage des graines par le nitrate de potassium sur la germination et les indices biochimiques chez *Silybum marianum* L. sous stress salin. *Revue internationale des sciences de la vie*, 9(1), 23-28.
- Zhu, Y. (2001). *Multivariable system identification for process control*. Elsevier.

ANNEXE

ANNEXE I

Protocole de dosage

Dosage de proline



— Le tout est ensuite porté au bain marie à 85° C pendant une heure



À l'aide d'une pipette de 5 ml on ajoute 2 ml de l'éthanol 40% à chaque tube à essai.

— Les extraits peuvent être conservés dans les piluliers en plastique au congélateur

Figure 3.5 : les étapes de préparation des échantillons pour quantifier la teneur en proline.

Préparation du courbe d'étalonnage de proline

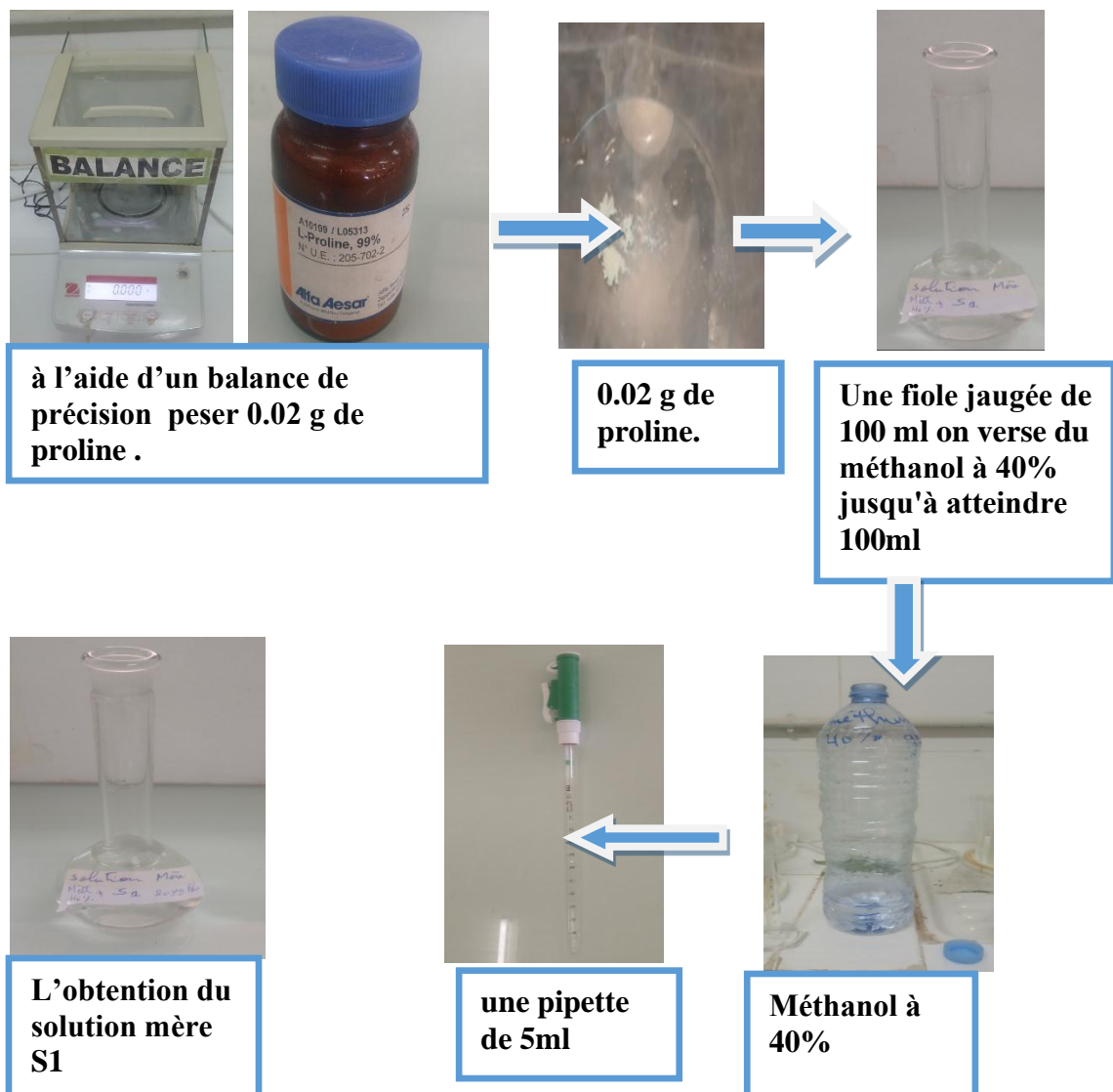


Figure 3.6 : les étapes de préparation du solution mère S1.

Préparation du solution S2

Prélevé 10ml du solution S1 et verser vers vers une deuxième fiole jaugée de 100ml est ajusté à 100 ml avec du méthanol 40%

on obtient une solution de 20 u μ g/ml de proline .



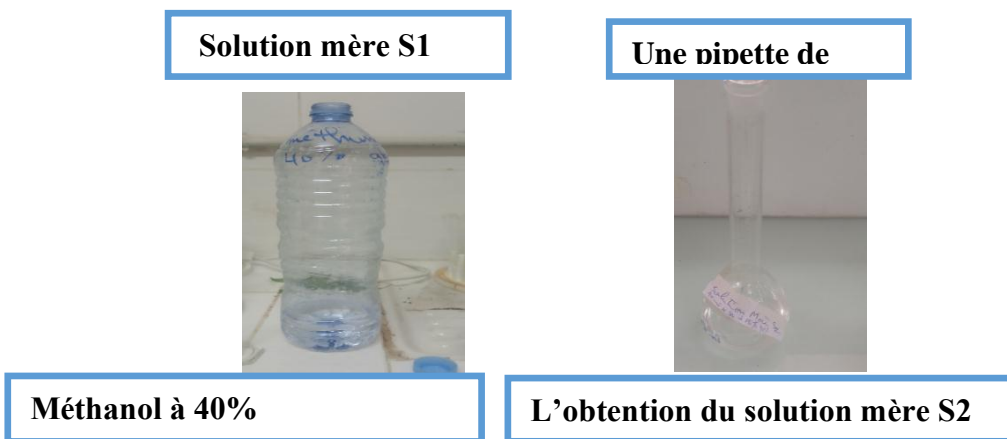


Figure 3.7 : le matériel et méthode de préparation du solution S2

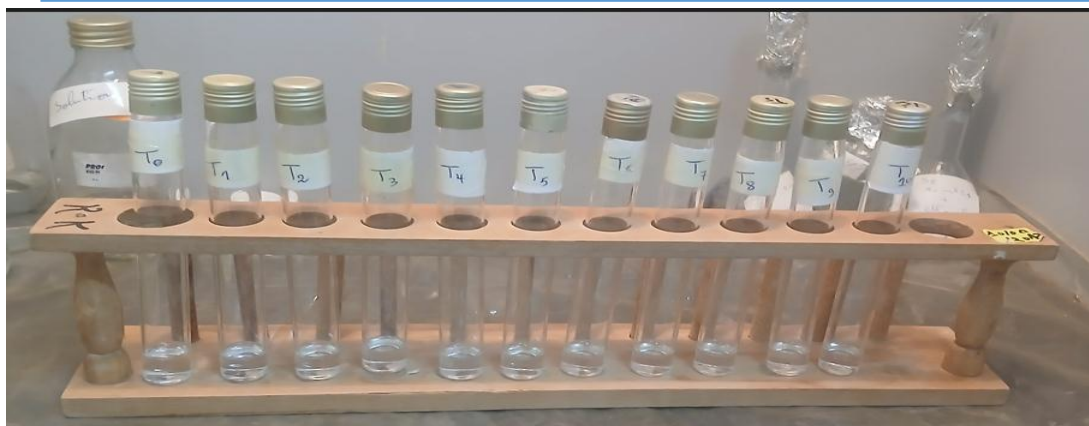
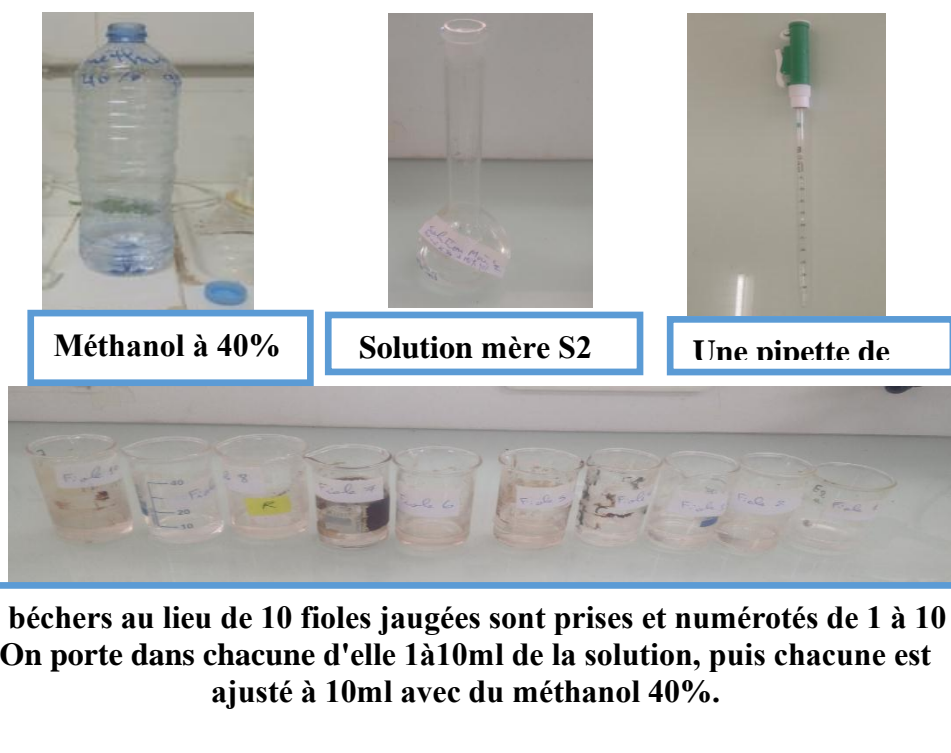


Figure 3.8 : les étapes de préparation des courbes d'étalonnages pour le dosage de la proline.

Préparation du réactif de proline

On mélange dans une bouteille en verre

300ml d'acide acétique
80 ml d'acide ortho phosphorique
D=1.7

Solution A

120ml d'eau distillée

Soit n le nombre de tube à dosé (extraits et étalons)

On met dans un bécher

(n+4) 25mg de ninhydrine

(n+4) ml de la solution A

(n+4) ml de la solution A → solution B → Agiter

(n+4) ml d'acide acétique

Dosage

_ porté le bain de marie 100°C

_ Prendre 1 ml de l'extrait

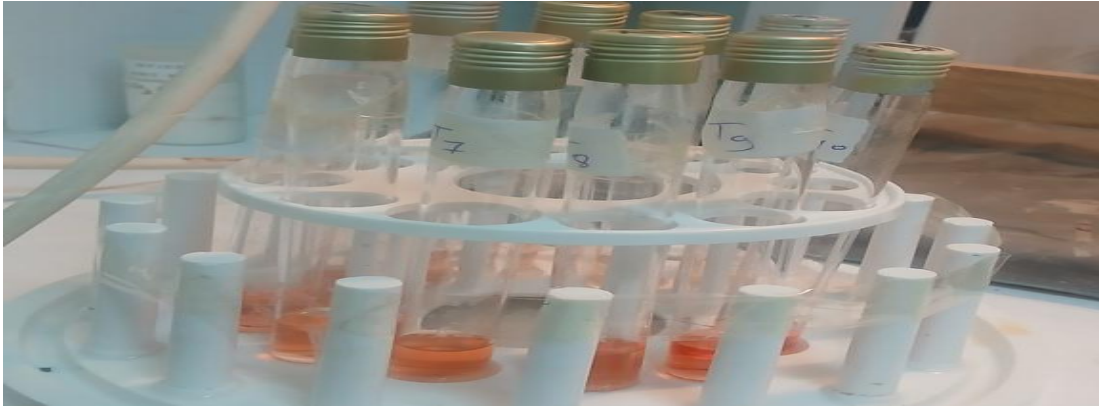
_ Mettre 2 ml de la solution B

_ Ces tubes sont mis au bain marie pour une demi –heure

_ On obtient une coloration rose



On obtient une coloration rose dans les tubes à essai qui contiennent les extraits des plantes



On obtient une coloration rose dans les courbes détalonnages

Figure 3.9 : l'apparition du couleur rose dans les tubes a essai et dans les courbes détalonnages

Laisser refroidir

Puis additionner 5 ml de benzène à chaque tube

Deux phases se distinguent : une supérieure et une inférieure, on agite les tubes

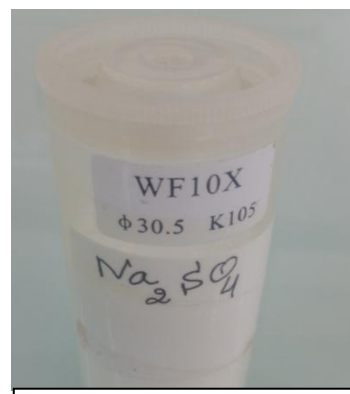
Finalement on pipete la phase organique qu'on dépose dans des tubes propres contenant chacun une spatule de Na_2SO_4 (une pincée).

La lecture de la densité optique se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à 528nm.

Ensuite les échantillons et les courbes des étalonnages prêtent à la lecture par le spectrophotomètre.

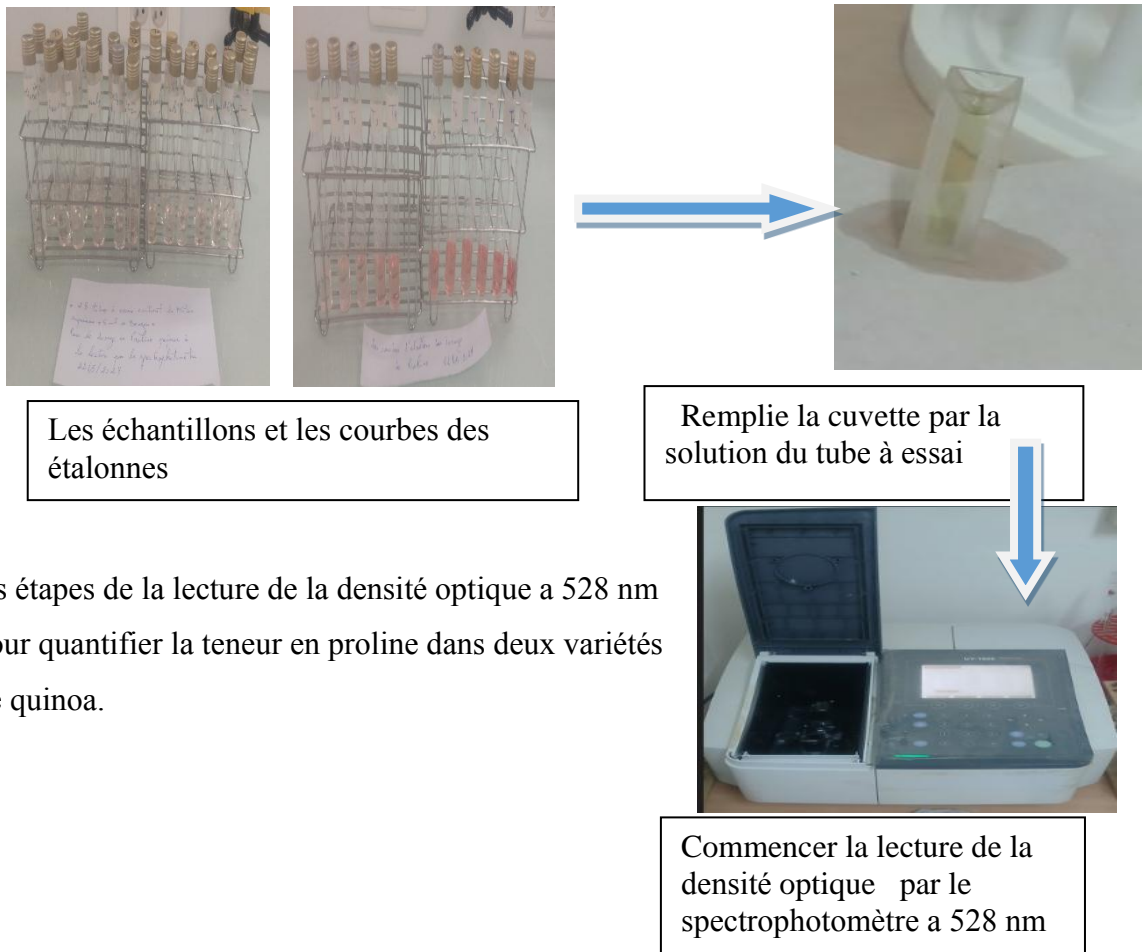


Tube à essai avec deux parties la partie supérieure et la partie inférieure.



La poudre de Na_2SO_4

Figure 3.10 : l'apparition de deux partie dans les tubes a essai et le poudre de Na_2SO_4



les étapes de la lecture de la densité optique a 528 nm pour quantifier la teneur en proline dans deux variétés de quinoa.

Figure 3.11 : les étapes de la lecture de la densité optique a 528 nm pour quantifier la teneur en proline dans deux variétés de quinoa.

La teneur en proline est donnée par l'équation :

$$Y=2*1000*X/MF*115.13$$

Y= teneur en proline

115.13=masse molaire de la proline

MF= masse de matière fraiche

ANNEXE II

Tableau 2.1 : Analyse de la variance 'taux de germination

VAR.TOTALE	43331,25	47	921,94				
VAR.FACTEUR 1	262,5	2	131,25	0,58	0,56935		
VAR.FACTEUR 2	8802,08	1	8802,08	39	0		
VAR.FACTEUR 3	17252,08	1	17252,08	76,44	0		
VAR.INTER F1*2	954,17	2	477,09	2,11	0,13349		
VAR.INTER F1*3	879,17	2	439,59	1,95	0,15536		
VAR.INTER F2*3	4602,09	1	4602,09	20,39	0,00009		
VAR.INTER F1*2*3	2454,16	2	1227,08	5,44	0,00866		
VAR.RESIDUELLE 1	8125	36	225,69			15,02	47,13%

Tableau : 02 : Analyse de la variance de nombre de feuille :

VAR.TOTALE	17364.48	47	369.46				
VAR.FACTEUR 1	732.29	2	366.15	2.24	0.11875		
VAR.FACTEUR 2	1210.02	1	1210.02	7.41	0.00963		
VAR.FACTEUR 3	4313.02	1	4313.02	26.42	0.00002		
VAR.INTER F1*2	475.04	2	237.52	1.46	0.24579		
VAR.INTER F1*3	2338.79	2	1169.4	7.16	0.00252		
VAR.INTER F2*3	825.02	1	825.02	5.05	0.02923		
VAR.INTER F1*2*3	1594.04	2	797.02	4.88	0.01319		
VAR.RESIDUELLE 1	5876.25	36	163.23			12.78	39.80%

Tableau :03: Analyse de la variance de longueur de feuille en cm :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	41.31	47	0.88				
VAR.FACTEUR 1	3.8	2	1.9	2.85	0.06944		
VAR.FACTEUR 2	1.17	1	1.17	1.76	0.19002		
VAR.FACTEUR 3	3.36	1	3.36	5.05	0.02935		
VAR.INTER F1*2	2.52	2	1.26	1.89	0.16307		
VAR.INTER F1*3	4.32	2	2.16	3.24	0.04961		
VAR.INTER F2*3	0.08	1	0.08	0.11	0.73785		
VAR.INTER F1*2*3	2.09	2	1.05	1.57	0.22029		
VAR.RESIDUELLE 1	23.97	36	0.67			0.82	22.45%

Tableau :04 : Analyse de la variance de largeur de feuille en cm

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	37.27	47	0.79				
VAR.FACTEUR 1	4.53	2	2.27	3.42	0.04274		
VAR.FACTEUR 2	0.09	1	0.09	0.14	0.71267		
VAR.FACTEUR 3	2.48	1	2.48	3.73	0.05832		
VAR.INTER F1*2	1.4	2	0.7	1.05	0.36008		
VAR.INTER F1*3	2.51	2	1.25	1.89	0.1639		
VAR.INTER F2*3	0.04	1	0.04	0.05	0.81393		
VAR.INTER F1*2*3	2.37	2	1.18	1.78	0.18069		
VAR.RESIDUELLE 1	23.87	36	0.66			0.81	27.31%

Tableau :05 : Analyse de la variance de poids totale en gramme

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1624.46	47	34.56				
VAR.FACTEUR 1	122.28	2	61.14	3.87	0.02945		
VAR.FACTEUR 2	84.46	1	84.46	5.35	0.02529		
VAR.FACTEUR 3	497.88	1	497.88	31.51	0		
VAR.INTER F1*2	68.44	2	34.22	2.17	0.12734		
VAR.INTER F1*3	175.04	2	87.52	5.54	0.00803		
VAR.INTER F2*3	32.75	1	32.75	2.07	0.15493		
VAR.INTER F1*2*3	74.84	2	37.42	2.37	0.10612		
VAR.RESIDUELLE 1	568.79	36	15.8			3.97	63.31%

Tableau :06 : Analyse de la variance de longueur totale en cm

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7848.33	47	166.99				
VAR.FACTEUR 1	847.88	2	423.94	6.95	0.00292		
VAR.FACTEUR 2	2591.61	1	2591.61	42.46	0		
VAR.FACTEUR 3	1042.54	1	1042.54	17.08	0.00026		
VAR.INTER F1*2	394.53	2	197.27	3.23	0.05004		
VAR.INTER F1*3	635.1	2	317.55	5.2	0.01033		
VAR.INTER F2*3	1.05	1	1.05	0.02	0.89185		
VAR.INTER F1*2*3	138.38	2	69.19	1.13	0.33383		
VAR.RESIDUELLE 1	2197.23	36	61.03			7.81	23.61%

Tableau :07 : Analyse de la variance de poids partie aérienne en gramme

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1457.84	47	31.02				
VAR.FACTEUR 1	115.74	2	57.87	4.17	0.02313		
VAR.FACTEUR 2	74.83	1	74.83	5.39	0.02475		
VAR.FACTEUR 3	440.54	1	440.54	31.73	0		
VAR.INTER F1*2	61.81	2	30.9	2.23	0.12062		
VAR.INTER F1*3	169.9	2	84.95	6.12	0.00525		
VAR.INTER F2*3	31.1	1	31.1	2.24	0.1394		
VAR.INTER F1*2*3	64.13	2	32.07	2.31	0.11186		
VAR.RESIDUELLE 1	499.81	36	13.88			3.73	62.84%

Tableau :08 : Analyse de la variance de longueur tige en cm

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4953.22	47	105.39				
VAR.FACTEUR 1	627.36	2	313.68	9.27	0.00063		
VAR.FACTEUR 2	1438.83	1	1438.83	42.51	0		
VAR.FACTEUR 3	494.08	1	494.08	14.6	0.00059		
VAR.INTER F1*2	294.33	2	147.17	4.35	0.02003		
VAR.INTER F1*3	754.06	2	377.03	11.14	0.00021		
VAR.INTER F2*3	1.08	1	1.08	0.03	0.85359		
VAR.INTER F1*2*3	125.12	2	62.56	1.85	0.17022		
VAR.RESIDUELLE 1	1218.35	36	33.84			5.82	25.01%

Tableau :09 : Analyse de la variance de longueur racine en cm

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	641.73	47	13.65				
VAR.FACTEUR 1	30.24	2	15.12	1.83	0.17277		
VAR.FACTEUR 2	168.38	1	168.38	20.4	0.00009		
VAR.FACTEUR 3	101.21	1	101.21	12.27	0.00136		
VAR.INTER F1*2	8.34	2	4.17	0.51	0.61279		
VAR.INTER F1*3	6.06	2	3.03	0.37	0.70017		
VAR.INTER F2*3	0	1	0	0	0.99		
VAR.INTER F1*2*3	30.44	2	15.22	1.84	0.17084		
VAR.RESIDUELLE 1	297.06	36	8.25			2.87	29.21%

Tableau :10 : Analyse de la variance de poids racine en gramme

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6	47	0.13				
VAR.FACTEUR 1	0.16	2	0.08	0.98	0.38821		
VAR.FACTEUR 2	0.29	1	0.29	3.59	0.06326		
VAR.FACTEUR 3	1.75	1	1.75	21.59	0.00006		
VAR.INTER F1*2	0.22	2	0.11	1.38	0.26276		
VAR.INTER F1*3	0.05	2	0.02	0.29	0.75564		
VAR.INTER F2*3	0.02	1	0.02	0.26	0.61619		
VAR.INTER F1*2*3	0.58	2	0.29	3.54	0.03852		
VAR.RESIDUELLE 1	2.92	36	0.08			0.29	81.67%

Tableau :11: Analyse de la variance de diamètre a collet en mm

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	33.57	47	0.71				
VAR.FACTEUR 1	1.6	2	0.8	1.72	0.19137		
VAR.FACTEUR 2	1.55	1	1.55	3.33	0.07281		
VAR.FACTEUR 3	7.46	1	7.46	16.06	0.00036		
VAR.INTER F1*2	1.4	2	0.7	1.51	0.23395		
VAR.INTER F1*3	1.89	2	0.95	2.04	0.14281		
VAR.INTER F2*3	0	1	0	0.01	0.91993		
VAR.INTER F1*2*3	2.95	2	1.47	3.18	0.05251		
VAR.RESIDUELLE 1	16.71	36	0.46			0.68	27.12%

Tableau : 12 : Analyse de la variance de la Teneur en chlorophylle cha de deux variétés du quinoa

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	20.54	47	0.44				
VAR.FACTEUR 1	0.84	2	0.42	2334.28	0		
VAR.FACTEUR 2	6.61	1	6.61	36875.66	0		
VAR.FACTEUR 3	1.29	1	1.29	7170.76	0		
VAR.INTER F1*2	4.66	2	2.33	12999.31	0		
VAR.INTER F1*3	5.22	2	2.61	14571.79	0		
VAR.INTER F2*3	1.66	1	1.66	9268.8	0		
VAR.INTER F1*2*3	0.26	2	0.13	719.28	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0.01	36	0			0.01	1.07%

Tableau : 13 : Analyse de la variance de la Teneur en chlorophylle chb de deux variétés du quinoa

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3.09	47	0.07				
VAR.FACTEUR 1	0.2	2	0.1	218.54	0		
VAR.FACTEUR 2	0.56	1	0.56	1194.77	0		
VAR.FACTEUR 3	0.52	1	0.52	1106.83	0		
VAR.INTER F1*2	1	2	0.5	1072.35	0		
VAR.INTER F1*3	0.63	2	0.31	668.73	0		
VAR.INTER F2*3	0.11	1	0.11	233.59	0		
VAR.INTER F1*2*3	0.06	2	0.03	59.5	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0.02	36	0			0.02	4.23%

Tableau : 14 : Analyse de la variance de la Teneur en chlorophylle cht de deux variétés du quinoa

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38.8	47	0.83				
VAR.FACTEUR 1	1.86	2	0.93	1591.96	0		
VAR.FACTEUR 2	11.01	1	11.01	18867.86	0		
VAR.FACTEUR 3	3.43	1	3.43	5884.57	0		
VAR.INTER F1*2	9.94	2	4.97	8517.69	0		
VAR.INTER F1*3	9.42	2	4.71	8069.11	0		
VAR.INTER F2*3	2.62	1	2.62	4494	0		
VAR.INTER F1*2*3	0.5	2	0.25	426.55	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0.02	36	0			0.02	1.37%

Tableau : 15: Analyse de la variance de la Teneur en proline de deux variétés du quinoa

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	58.13	47	1.24				
VAR.FACTEUR 1	10.21	2	5.11	19028.77	0		
VAR.FACTEUR 2	0.37	1	0.37	1362.07	0		
VAR.FACTEUR 3	5.01	1	5.01	18650.29	0		
VAR.INTER F1*2	0.33	2	0.17	619.76	0		
VAR.INTER F1*3	32.31	2	16.15	60187.27	0		
VAR.INTER F2*3	9.02	1	9.02	33615.8	0		
VAR.INTER F1*2*3	0.87	2	0.44	1627.54	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0.01	36	0			0.02	0.60%