

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : SCIENCES  
DEPARTEMENT : SNV  
N° :.....



DOMAINE : SNV  
FILIERE : BIOTECHNOLOGIE  
OPTION : BIOTECHNOLOGIE  
VEGETALE

Mémoire Présenté pour l'Obtention  
du Diplôme de Master Académique

Par:

CHABIRA Salima & CHAREF Abdellatif

Intitulé

**TEST DE GERMINATION *IN VITRO* ET REGENERATION DES  
PLANTULES SOUS STRESS SALIN CHEZ LE QUINOA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.)**

Soutenu le...../Juin/ 2024

Devant le jury composé de :

<b>GHADBANE Mouloud</b>	<b>Pr.</b>	<b>UMB-M'sila</b>	<b>Président</b>
<b>BENDERRADJI Laid</b>	<b>Pr.</b>	<b>UMB-M'sila</b>	<b>Encadreur</b>
<b>ADOUI Nabila</b>	<b>MCA</b>	<b>UMB-M'sila</b>	<b>Examinatrice</b>

**Année Universitaire : 2023/2024**

## Remerciements

*En préambule de ce mémoire et Avant toute chose, nous remercions **Dieu** le tout Puissant, pour nous avoir donné la santé, la patience, la volonté et le courage donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.*

*Au terme de ce travail, nous tenons en premier lieu, à remercier et nous ne sommes même pas sûre que le plus gros merci du monde suffit pour ton implication, ta patience, tes encouragements et le temps que tu nous 'a accordé : Notre enseignant et notre encadreur, **Professeur Benderradji Laid** .*

*Vous avez dirigé avec toute la rigueur scientifique la réalisation de ce travail, votre amour pour le travail bien fait, vos qualités intellectuelles, votre sens de la responsabilité associés à vos immenses qualités humaines font de vous un modèle à suivre. Soyez assuré professeur de notre profonde gratitude, de nos sincères remerciements et de notre estime pour toujours.*

*Hommage respectueux au président du jury, **Professeur GHADBANE Mouloud**, nous vous remercions pour votre amabilité d'avoir accepté, malgré vos nombreuses occupations, de présider le jury d'évaluation de notre mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont également au Docteur **ADOUI Nabila** pour avoir accepté d'examiner et de nous faire l'honneur d'être membre du jury de notre mémoire.*

*Chaleureux remerciements vont également au responsable des laboratoires SNV, **Mr . Seghiri Kamel**, sans oublier les ingénieurs : **Samiha et Halima**.*

*nous tenons également à témoigner notre profonde gratitude à **Mr. Lalaoui Mounir et Guelil. Abd el hamid pour** leurs chaleureux accueils, leurs gentillesse, leurs intérêts ininterrompus à notre sujet de fin d'études, leurs précieuses et claires orientations.*

*Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et à tous les amis, collègues, techniciens de laboratoire et personnels administratifs et techniques.*

**Salima & Abdellatif**

## *Dédicaces : Abd ellatif*

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère*

*A l'homme précieux à qui je dois tout, mon cher père : **Rabeh Nour El Din***

*À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui ne me l'a jamais demandé et n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureux, ma chère mère : **Boudilmi Dalila***

*À mon cher et solidaire frère, **Saif Al-Din***

*À mes chères sœurs **Haïba et Marwa***

*Pour toute l'ambiance qui m'a entouré dans ma vie, pour toute leur spontanéité et leur enthousiasme. Que Dieu les protège et les guide vers le bon chemin.*

*Je réserve une mention très spéciale :*

*À mon cher professeur qui supervise ces travaux, **Dr. Benderradji Laid**, je vous remercie pour vos efforts et votre soutien à notre égard tout au long du parcours académique.*

*Je voudrais citer les propos du responsable des laboratoires du Collège des sciences, **Mr. Kamal Seghiri**. Vous avez été pour nous le meilleur soutien. Vous resterez peut-être toujours une fierté pour l'Université de M'sila et un symbole de la Faculté des Sciences.*

*Ainsi qu'à **Mr. Mounir lalaoui et Abd el Hamid Guelil**.*

*À mon oncle **Boudilmi Ahmed** récemment décédé*

*À mon grand-père, **Boudilmi Mohammad**, que Dieu ait pitié de lui, que tu sois toujours le meilleur soutien dans ma mémoire.*

*À mes amis **Amin, Ziad, Bilal, Rami, Nasro, Sami...** Puissiez-vous toujours être les meilleurs hommes que j'ai jamais rencontrés dans cette vie.*

*Et à ma collègue dans ce travail, **Salima**, merci beaucoup.*

*À toute ma famille Et à tous ceux qui ont contribué à ce travail.*

## *Dédicaces : Salima*

### *Je dédie ce mémoire*

*A ma très chère mère **aggoune zohra** : Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.*

*A mon très cher père **zouaoui** : Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour leur amour, leur encouragements.*

*Que ce travail soit, pour vous, un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse. Que Dieu le tout puissant vous bénisse de santé, de bonheur, de tranquillité d'esprit et vous protège de tout mal*

*A mon frères salah pour l'amour qu'il me réserve*

*A mes soeurs mes sources de Joie (Afaf & son époux Hamza) et (mounira et son mari bilal)*

*Pour toute l'ambiance dont ils m'ont entouré dans ma vie, pour toute leur spontanéité et leur élan. Que Dieu leur garde et leur montre le droit chemin.*

### *Je réserve une mention très spéciale :*

*A mon promoteur **Dr. Benderradji laïd** qui a encadré ce travail Avec beaucoup d'intérêt et d'optimisme. Un grand merci pour tes précieux conseils Et toujours soutenu La durée de nos études.*

*Je remercie également tous mes professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigué au cours de ces cinq années passées à l'université.*

*A mes amis, que je considère partie de ma famille : johaina, omnia, hadil et randa pour les moments inoubliables qu'ils m'ont permis de partager avec eux.*

*A toute ma promotion de la spécialité Biotechnologie Végétale, Pour notre amitié, notre spontanéité et notre collaboration pendant les projets en particulier Abdellatif, Saossen ,houda , Aya & hiba*

***Aux** enfants de la famille (inas, Joumana, Alia, Siradj, Celia & Zaki)*

*Et A tous ceux qui ont Contribué de près ou de loin pour Que ce travail soit réalisé.*

## Liste des abréviations

**FAO** : Food Alimentary Organization

**TGF** : Taux de germination final

**TG** : Taux de germination

**Ni** : Nombre des graines germées.

**Grs** : Gramme

**ml**: Millilitre.

**NaCl** : Chlorure de Sodium.

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

**INRAA** : l'institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

**ITGC** : Institut technique de grande culture

**INRF** : institut National de Recherche Forestière

**l'ONU**: L'Organisation des Nations unies (ONU)

**OMS** : organisation mondiale de la sante

**APG III**: Angiosperm Phylogeny group III.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**Na<sup>+</sup>**: Ion sodium.

**Ca<sup>2+</sup>**: Ion calcium.

**K<sup>+</sup>**: Potassium.

**Fig**: Figure

**Ch.**: *Chenopodium*

**MS** : Murashigue et Skoog

**V**: Variété

**NR** : Nombre de racine

**LR** : Longueur des racines

**LE** : Longueur d'épicotyle

**NF** : Nombre de feuille

**SF** : Surface foliaire

## Liste des Figures

Intitulé de la Figure	P
<b>Figure 1</b> : Répartition mondiale de production de quinoa( FAO, 2011)	<b>06</b>
<b>Figure 2</b> : Phases de développement de quinoa	<b>09</b>
<b>Figure 3</b> : Graines des variétés de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> )	<b>19</b>
<b>Figure 4</b> : Selection des grain de quinoa sous microscope	<b>19</b>
<b>Figure 5</b> : Solutions mères préparées	<b>21</b>
<b>Figure 6</b> : Sucre et Agar	<b>22</b>
<b>Figure 7</b> : Ajustement du pH	<b>22</b>
<b>Figure 8</b> : Milieu de culture MS	<b>22</b>
<b>Figure 9</b> : Milieu de culture MS avec differentes concentrations en NaCl	<b>23</b>
<b>Figure 10</b> : Stérilisation de la zone de travail	<b>24</b>
<b>Figure11</b> : Traitement des graines de quinoa dans l'eau de javel et preparation de l'ensemencement dans les boites de petri	<b>24</b>
<b>Figure 4</b> : Semis de 3 varities de quinoa	<b>25</b>
<b>Figure 5</b> : Germination des grain dans la chambre de culture	<b>25</b>
<b>Figure 6</b> : Apparition de contamination	<b>26</b>
<b>Figure 15</b> : Germination des grain dans bocaux	<b>26</b>
<b>Figure 16</b> :Longueur de la racine et de l'epicotyle	<b>27</b>
<b>Figure 7</b> : Longueur de l'epicotyle	<b>28</b>
<b>Figure 18</b> : surface foliare	<b>28</b>
<b>Figure 19</b> : Taux de germination	<b>29</b>
<b>Figure 20</b> : Interaction (génotype x NaCl) sur la germination	<b>30</b>
<b>Figure 21</b> : Cénitique de la germination de la variété Q102	<b>32</b>
<b>Figure 22</b> : Cénitique de germination de la variété Q 104	<b>33</b>
<b>Figure 23</b> : Cénitique de germination de la variété Q 105	<b>33</b>
<b>Figure 24</b> : Taux de contamination	<b>34</b>
<b>Figure 25</b> : Paramètres mesurés chez la variété Q102	<b>35</b>
<b>Figure 26</b> : Paramètres mesurés chez la variété Q104	<b>36</b>
<b>Figure 27</b> : Paramètres mesurés chez la variété Q105	<b>36</b>

## Liste des Tableaux

Intitulé du Tableau	P
<b>Tableau 1:</b> Classification de quinoa	<b>4</b>
<b>Tableau 2 :</b> Composition comparative des constituants de quinoa avec d'autres aliments (kg)	<b>13</b>
<b>Tableau 3:</b> Composition comparative des constituants de quinoa avec d'autres produits (kg)	<b>13</b>
<b>Tableau 4 :</b> Composition du milieu de culture « Murashigue et Skoog, 1962 ».	<b>20</b>
<b>Tableau 5 :</b> Concentrations des solutions salines	<b>23</b>

## **Résumé**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une espèce pseudo-céréale de la famille des Amaranthaceae. C'est une plante herbacée originaire d'Amérique du Sud, elle est caractérisée par une excellente adaptation vis-à-vis les difficiles conditions écologiques. La domestication du quinoa, s'est fait il y a plusieurs milliers d'années. Le quinoa est apprécié pour sa résistance à des mauvaises conditions environnementales, y compris la salinité. Cette étude se concentre sur l'impact du stress salin matérialisé par différentes concentrations de NaCl (0, 5, 10 et 15g/l) sur la germination et la régénération des plantules. L'étude se propose d'évaluer l'effet de différents niveaux de stress salin sur le taux de germination des graines ensemencées *in vitro* dans des conditions contrôlées. De ce fait, le taux de germination et les critères morphologiques ont été mesurés, analysés et interprétés. Les graines de quinoa montrent une diminution du taux de germination au fur et à mesure qu'il y'a une augmentation de la concentration en sel dans le milieu de culture. Les plantules affectées par le stress salin, se manifestent par des adaptations morphologiques, entre autres, des variations racinaires en termes de longueurs et de nombre ; des variations foliaires en termes de réduction de la surface foliaire, en plus du retard de croissance. Les résultats obtenus ont montré que la variété (Q102), est la plus tolérable, par rapport aux deux autres variétés (Q104) et (Q105) respectivement envers le stress appliqué. Notre étude met en lumière l'importance de la tolérance au stress salin chez le quinoa, qui est une espèce souvent cultivée dans des environnements arides à concentrations salines. Les mécanismes de la réponse au stress salin identifiés dans la présente étude, offrent des pistes pour le développement des variétés de quinoa plus résistantes à la salinité. Des études supplémentaires seront nécessaires pour comprendre pleinement les voies moléculaires impliquées dans la réponse au stress salin chez le quinoa. Cette étude souligne l'impact négatif de ce type de stress sur la germination et la croissance des plantules de quinoa, ainsi leurs modalités de réponse en termes de morphologie. Des futures approches visant à améliorer la tolérance au stress salin chez le quinoa pourraient jouer un rôle crucial dans le développement de cette espèce.

**Mots clés:** Quinoa, culture *in vitro*, stress salin, germination, caractères morohologiques

## **ملخص**

الكيڤوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) هو نوع من الحبوب الزائفة لعائلة Amaranthaceae. وهو نبات عشبي موطنه أمريكا الجنوبية، ويتميز بالتكيف الممتاز مع الظروف البيئية الصعبة. تم تدجين الكيڤوا منذ عدة آلاف من السنين. وتقدر قيمة الكيڤوا بمقاومتها للظروف البيئية السيئة، بما في ذلك الملوحة. تركز هذه الدراسة على تأثير الإجهاد الملحي الناتج عن تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم (0، 5، 10، 15 جم/لتر) على إنبات وتجدد البادرات. تهدف الدراسة إلى تقييم تأثير مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي على معدل إنبات البذور المزروعة في المختبر تحت ظروف محكمة. ولذلك، تم قياس معدل الإنبات والمعايير المورفولوجية وتحليلها وتفسيرها. تظهر بذور الكيڤوا انخفاضاً في معدل الإنبات نظراً لوجود زيادة في تركيز الملح في وسط النمو. تظهر الشتلات المتأثرة بالإجهاد الملحي من خلال التكيفات المورفولوجية، من بين أمور أخرى، الاختلافات الجذرية من حيث الطول والعدد؛ تباين الأوراق من حيث انخفاض المساحة الورقية بالإضافة إلى تأخر النمو. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الصنف (Q102) هو الأكثر تحملاً، مقارنة بالصنفين الآخرين (Q104) و (Q105) على التوالي تجاه الإجهاد المطبق. تسلط دراستنا الضوء على أهمية تحمل الكيڤوا

للإجهاد الملحي، وهو نوع يزرع غالبًا في البيئات القاحلة التي تحتوي على تركيزات ملحية. توفر أليات الاستجابة لإجهاد الملوحة المحددة في هذه الدراسة سبلاً لتطوير أصناف الكينوا الأكثر مقاومة للملوحة. ستكون هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات لفهم المسارات الجزيئية المشاركة في الاستجابة للإجهاد الملحي في الكينوا بشكل كامل. تسلط هذه الدراسة الضوء على التأثير السلبي لهذا النوع من الإجهاد على إنبات ونمو شتلات الكينوا، وكذلك طرق استجابتها من حيث الشكل. يمكن أن تلعب الأساليب المستقبلية لتحسين تحمل الإجهاد الملحي في الكينوا دورًا حاسمًا في تطوير هذا النوع.

**الكلمات المفتاحية:** الكينوا، الزراعة في الزجاج، الإجهاد الملحي، الإنبات، الخصائص المورفولوجية

## **Abstract**

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a pseudo-cereal species of the Amaranthaceae family. It is an herbaceous plant native to South America; it is characterized by an excellent adaptation to difficult ecological conditions. The domestication of quinoa took place several thousand years ago. Quinoa is valued for its resistance to poor environmental conditions, including salinity. This study focuses on the impact of saline stress materialized by different concentrations of NaCl (0, 5, 10 and 15g/l) on the germination and regeneration of seedlings. The study aims to evaluate the effect of different levels of salt stress on the germination rate of seeds sown *in vitro* under controlled conditions. Therefore, the germination rate and morphological criteria were measured, analyzed and interpreted. Quinoa seeds show a decrease in germination rate as there is an increase in salt concentration in the growing medium. Seedlings affected by saline stress manifest themselves through morphological adaptations, among other things, root variations in terms of length and number; leaf variations in terms of reduction in leaf area, in addition to growth delay. The results obtained showed that the variety (Q102) is the most tolerable, compared to the two other varieties (Q104) and (Q105) respectively towards the applied stress. Our study highlights the importance of salt stress tolerance in quinoa, which is a species often grown in arid environments with salt concentrations. The mechanisms of response to salinity stress identified in the present study offer avenues for the development of quinoa varieties more resistant to salinity. Further studies will be required to fully understand the molecular pathways involved in the salt stress response in quinoa. This study highlights the negative impact of this type of stress on the germination and growth of quinoa seedlings, as well as their response modalities in terms of morphology. Future approaches to improve salt stress tolerance in quinoa could play a crucial role in the development of this species.

**Keywords:** Quinoa, *in vitro* culture, salt stress, germination, morphological traits.

## Sommaire

<b>Intitulé</b> Test de germination et régénération des plantules <i>in vitro</i> sous stress salin chez le quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd),	<b>P</b>
Remerciements	<b>I</b>
Dédicaces	<b>II</b>
Liste des abréviations	<b>IV</b>
Liste des figures	<b>V</b>
Liste des tableaux	<b>VI</b>
Résumés (Fr, Ar, An)	<b>VIII</b>
Sommaire	<b>IX</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Revue bibliographique</b>	
<b>I. 1. Origine et classification botanique du quinoa</b>	<b>03</b>
I. 2. Classification botanique (systématique) du quinoa	<b>03</b>
I. 2. 1. Biogéographique et variétés du quinoa (dans le monde et en Algérie)	<b>04</b>
I. 2. 2. Dans le monde	<b>04</b>
I. 3. 1. 1. Variétés de quinoa par zone d'adaptation écologique	<b>05</b>
I. 3. 1. 2. Quinoa des vallées arides (junín) et des vallées (cajamarca)	<b>05</b>
I. 3. 1. 3. Quinoa de l'altiplano (Blancs autour du lac titicaca et colorés dans la zone agro_écologique de suni)	<b>05</b>
I. 3. 1. 4. Quinoa des déserts de sel (Sud de la bolivie)	<b>05</b>
I. 3. 1. 5. Quinoa Du Niveau de la mer (Chili)	<b>06</b>
I. 3. 1. 6. Quinoa de l zone agro_écologique yunga et des subtropiques (Bolivie)	<b>06</b>
I. 3. 2 En Algérie	<b>06</b>
I. 4. Stades de développement du quinoa	<b>07</b>
I. 5. Intérêt culturel du quinoa	<b>09</b>
I. 5. 1. Intérêt socio-économique	<b>09</b>
I. 5. 2. Intérêt nutritionnel	<b>10</b>
I. 5. 2. 1. Transformations du quinoa (Produits et sous-produits de l'agro-industrie)	<b>10</b>
I. 5. 3. Caractéristiques nutritionnelles du quinoa	<b>12</b>
I. 5. 4. Intérêt médicinal et pharmacologique	<b>14</b>
I. 5. 4. 1. Propriétés pharmacologiques	<b>14</b>
I. 5. 4. 2. Propriétés médicinales de quinoa	<b>14</b>
I. 6. Généralités sur la salinité	<b>15</b>
I. 6. 1. Le stress hydrique	<b>15</b>
I. 6. 2. Le stress thermique	<b>16</b>
I. 6. 3. Le stress salin	<b>16</b>
I. 7. Effet du stress salin sur la germination et la croissance du quinoa	<b>17</b>
I. 7. 1. Effet de la salinité sur la germination	<b>17</b>
I. 7. 2. Effet de la salinité sur la croissance	<b>18</b>
<b>Chapitre II. Matériel et méthodes</b>	
II. 1. Objectif de l'étude	<b>19</b>
II. 2. Matériel végétal	<b>19</b>
II. 3. Préparation des graines	<b>19</b>
II. 4. Préparation de milieu de culture (solution minérale)	<b>20</b>
II. 4. 1. Préparation de la solution mère de macro-éléments : (MS) - 20 X	<b>20</b>
II. 4. 2. Préparation de la solution mère de micro-éléments : (MS) 100 X	<b>20</b>
II. 4. 3. Préparation de la solution mère de Fe-EDTA : (MS) 100X	<b>21</b>

II. 4. 4. Préparation de la solution mère des vitamines : (MS)10 X	21
II. 4. 5. Préparation du milieu de culture (solorion nutritive)	21
II. 4. 6. Préparation de la solution saline	23
II. 5. Protocole expérimental et mesures effectuées	23
II. 5. 1. Stérilisation	23
II. 5. 1. 1. Stérilisation du milieu de culture	23
II. 5. 1. 2. Stérilisation de la zone de travail et désinfection du matériel utilisé	23
II. 6. l'ensemencement	24
II. 6. 1. Ensemencement des graines de trois variétés du quinoa dans les boites petri	25
II. 6. 2. Germination des grain dans bocaux	26
II. 7. Mesures et notation	27
II. 7. 1. Taux et cinétique de la germination	27
II. 7. 2. Mesures biométriques	27
II. 7. 2. 1. Nombre et longueur des racines	27
II. 7. 2. 2. Longueur des épi-cotyles	28
II. 7. 2. 3. Surface foliaire	28
<b>Chapitre III. Résultats et discussion</b>	
III. 1. Résultats	29
III. 1. 1. Taux de germination	29
III. 1. 2. Interaction (Génotype x NaCl) sur la germination	30
III. 1. 3. Cénitique de germination	31
III. 1. 3. 1. Cénitique de germination de la variété Q 102	31
III. 1. 3. 2. Cénitique de germination de la variété Q 104	32
III. 1. 3. 3. Cénitique de germination de la variété Q 105	33
III. 1. 4. Taux de contamination	34
III. 1. 5. Paramètres morphologiques	34
III. 1. 5. 1. Variété Q 102	34
III. 1. 5. 2. Variété Q 104	35
III. 1. 5. 3. Variété Q 105	36
III. 2. Discussion	37
<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>41</b>
<b>References bibliogtaphiques</b>	<b>42</b>

### **Introduction**

La salinité est un problème en expansion dont le sel est présent dans plus de 6% de la superficie terrestre. Mondialement, le coût annuel global des terres touchées par le sel dépasse largement les 12 Milliards de Dollars Américains (**Flowers et al., 2010**).

La salinité constitue l'une des principales contraintes responsables de la perte de rendement des cultures et de la détérioration du couvert végétal, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**Bahri et Aggab, 2020**). Elle affecte gravement la croissance et le développement des plantes à travers des effets osmotiques et toxiques. Malgré cela, certaines espèces végétales comme le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) ont développé des mécanismes de tolérance à la salinité, ce qui accroît l'intérêt pour leur culture dans ces milieux défavorables (**Derradji, 2020**).

L'introduction des espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques est de haute valeur socio-économique constitue une approche prometteuse pour la réhabilitation des sols salins. Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante annuelle de la famille des Amaranthaceae, c'est une pseudo-céréale sans gluten, son origine reste controversée dont plusieurs hypothèses ont été formulées. Elle a été décrite botaniquement pour la première fois en 1778 par **Willdenow** comme une espèce originaire d'Amérique du Sud, dont le centre d'origine est situé dans les Andes (**Dharm, 2019**).

Les graines de quinoa sont très nutritives, riches en protéines, fibres, vitamines B et minéraux. Elles sont également sans gluten, ce qui en fait un aliment de choix pour les personnes intolérantes au gluten. Cette plante est une céréale ancestrale aux nombreux bienfaits nutritionnels et de santé, qui s'intègre facilement dans une alimentation variée et équilibrée. Le quinoa présente une tolérance considérable à la salinité, utilisant des mécanismes spécifiques pour y faire face. Il augmente sa demande de potassium en cas de stress salin pour ajuster son osmose. Des études ont montré que le quinoa peut accumuler des ions toxiques pour réguler son potentiel hydrique foliaire. De plus, ce grain peut compenser la perte de charge en accumulant des ions  $K^+$  ou  $Na^+$  dans sa sève brute. Un gène SOS (Salt overly sensitive) joue un rôle crucial dans la germination et la croissance du quinoa en conditions salines. La résistance à la salinité varie entre les variétés de quinoa, où on trouve la variété (Q102) se démarquant comme la plus performante pour la plupart des paramètres étudiés (**Narimene, 2018; Merzaka, 2020**).

La culture *in vitro* est un moyen adéquat pour l'étude des mécanismes adaptatifs des plantes vivants en milieu salin. La culture *in vitro* a pris une importance croissante dans les programmes d'amélioration des plantes pour la sélection de génotypes tolérants à la

salinité (**Fathi, 1989**). Cette technique constitue un test précoce et rapide pour évaluer et caractériser le comportement des espèces végétales face à la contrainte saline (**Pourrat, 1994**).

L'objectif du présent travail était l'étude de l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quinoa pour l'importance croissante de cette culture en raison de sa tolérance aux divers stress abiotiques, y compris le stress salin. Étant donné une culture en plein commencement, la compréhension de la germination des grains du quinoa et de sa viabilité est cruciale pour améliorer la fertilité et le rendement des graines. Les études sur la germination *in vitro* du grain du quinoa offrent un moyen efficace d'évaluer la viabilité du grain et d'étudier comment le stress affecte la fertilité de cette plante. En outre, la mise au point de méthodes semi-automatisées pour compter le grain germinant de quelques variétés du quinoa suivi par une étude comparative du comportement germinatif dans des conditions du stress salin pour classer et sélectionner les variétés les plus intéressantes qui serviront au programme de sélection et d'amélioration, et également prendre en compte les problèmes qui pouvant être rencontrés lors de la culture *in vitro* comme la contamination.

Ce mémoire vise à étudier la germination *in vitro*, le comportement des vitro-plants et la caractérisation morphologique des plantules régénérées sous stress salin chez le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Le mémoire est structuré en trois parties classiques distinctes :

- Le 1<sup>er</sup> chapitre est consacré à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, à savoir, l'identification du matériel végétal utilisé vis-à-vis le stress salin et la détermination de la réponse des plantes à ce stress abiotique
- Le 2<sup>ème</sup> chapitre comprend le matériel et les méthodes expérimentales.
- Le 3<sup>ème</sup> chapitre est réservé aux résultats et discussion.

Ce présent travail est précédé par cette dite introduction et achevé par une conclusion.

## **Chapitre I : Revue bibliographique**

### **I. 1. Origine et classification botanique du quinoa**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), est une espèce qui a été cultivé et utilisé par les anciennes civilisations, entre autre la civilisation préhispanique, mais à l'arrivée des espagnols dans le pourtour medetéraneen, il a été remplacé par des céréales (**Mujica et al., 2004**).

Historiquement, la culture du quinoa était répandue dans toute l'Amérique du Sud, de Nariño en Colombie à Tucumán en Argentine et aux îles de Chiloé. Dans les vallées du

Mexique, il était également cultivé par les précolombiennes, les aztèques et les mayas. Le quinoa est actuellement cultivé à travers le monde, de l'Amérique du Nord, au Canada jusqu'à Chiloé au Chili. Des résultats satisfaisants ont également été obtenus en ce qui concerne la production et l'adaptation en Europe, en Asie et en Afrique (**Mujica et al., 2004**)

Selon **Wilson et Heiser (1979)**, le quinoa aurait pu évoluer de manière indépendante en Amérique du Sud, sans être influencé par les espèces du Nord. Ils suggèrent que ses ancêtres pourraient être le quinoa des plaines ou des espèces sauvages disparues des Andes, qui auraient pu être déplacées ou assimilées par d'autres plantes.

L'origine du quinoa reste complexe en raison des nombreuses possibilités. Deux espèces diploïdes sont à l'origine de la plante de quinoa, ce qui signifie que le quinoa possède un héritage diploïde. Les parents sauvages les plus proches du quinoa sont *Chenopodium hircinum*, *Chenopodium nuttalliae* et *Chenopodium berlandieri* (**Mujica et al., 2004**). D'après les témoignages historiques, il aurait été domestiqué par les peuples Américains entre 3000 et 5000 ans avant J.-C. Des traces de quinoa ont été retrouvées dans des tombes de Tarapacá, Calama et Arica au Chili, ainsi que dans différentes régions du Pérou (**Herbillon, 2015**).

### **I. 2. Classification botanique (systématique) du quinoa**

Le quinoa appartient à la famille des Chenopodiaceae selon la classification botanique de **Cronquist (1981)**, tandis que la nouvelle classification phylogénétique APGIII (2009) (**Rojas et al., 2010**). le classe dans la famille des Amaranthaceae (**Herbillon, 2015**) (Tableau 1).

**Tableau 1:** Classification de quinoa

Classification de Cronquist (1981)	
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsidae
Sous-Classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	Chenopodium
Classification APG III (2009)	
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae
Nom binomial	
Espèce	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

### I. 3. Biogéographique et variétés du quinoa (dans le monde et en Algérie)

#### I. 3. 1. Dans le monde

Le quinoa est une plante endémique de tous les pays de la région Andine, de la Colombie (Pasto) au Nord de l'Argentine (en Jujuy et en Salta) et au Sud du Chili.

D'après **FAOSTAT**, durant la période 1992–2010, les zones cultivées et la production totale de quinoa dans les principaux pays producteurs de Bolivie, Pérou et

Équateur ont respectivement quasiment doublé et triplé. Pour l'Argentine et le Chili, il n'existe pas de chiffres officiels précis. On sait toutefois que la production est concentrée dans la province de Jujuy en Argentine et sur les hauts plateaux du Nord du Chili, bien que ce soit dans la partie méridionale du centre du Chili que l'on trouve les variétés du niveau de la mer qui ont une grande importance pour l'expansion du quinoa vers d'autres régions

du monde à cause de leur sensibilité au photopériodisme. La culture du quinoa est en pleine expansion et on la trouve désormais dans plus de 70 pays. En 2002, 80000 hectares

étaient semés en quinoa, essentiellement dans la région des Andes. Les principaux producteurs mondiaux sont la Bolivie, le Pérou et les États-Unis. Mais les principaux pays producteurs des Andes et du monde sont le Pérou et la Bolivie. En 2008, ces deux pays

assuraient 92% de la production de quinoa dans le monde, suivis des États-Unis, de l'Équateur, de l'Argentine et du Canada qui représentent environ 8% de la production mondiale. Ces dernières années (2009), la production dans la région Andine s'est élevée à

quelque 70000 tonnes. La culture du quinoa a franchi les frontières pour atteindre la France, le Royaume-Uni, la Suède, le Danemark, les Pays-Bas et l'Italie. Aux Etats-Unis, la plante est cultivée au Colorado et au Nevada, et au Canada, dans les prairies de l'Ontario. Des rendements élevés ont été constatés au Kenya (04 t/ha) et la culture a de bonnes perspectives de croissance avec de hauts rendements dans l'Himalaya et les plaines de l'Inde septentrionale (FAO, 2013).

### **I. 3. 1. 1. Variétés de quinoa par zone d'adaptation écologique**

Selon leur adaptation écologique, les quinoas peuvent être divisés en cinq principaux groupes (Figure 1).

### **I. 3. 1. .2 Quinoa des vallées arides (junín) et des vallées (cajamarca)**

Les quinoas des vallées se distinguent entre ceux des cultures irriguées dans les vallées inter-andines, comme à Urubamba (Pérou) et à Cochabamba (Bolivie), et ceux qui poussent dans des conditions pluviales, comme à Huaraz, dans la vallée de Mantaro, Ayacucho et Abancay (Pérou). Les premiers peuvent atteindre une hauteur de trois mètres.

Il existe en outre l'impact de plus fortes précipitations au Nord du Pérou, qui s'étend à l'Equateur et au Sud de la Colombie. Dans la zone de Nariño (Colombie) et au Nord de l'Équateur. On trouve un écotype de grande taille avec de nombreux rameaux, des feuilles vertes clair et des grains sucrés très blancs, qui ont donné naissance à la variété Nariño qui est actuellement cultivée au Pérou (FAO, 2013).

### **I. 3. 1. 3. Quinoa de l'altiplano (Blancs autour du lac titicaca et colorés dans la zone agro\_écologique de suni)**

Les quinoas de l'Altiplano sont également cultivés dans des conditions variables, à savoir, de faibles précipitations et des conditions de température favorables, comme aux abords du Lac Titicaca, et dans les zones lacustres et les gorges à proximité des rivières où poussent les variétés Kcancolla, Blanca de Juli et Tahuaco. Ceux qui s'adaptent aux hauts plateaux à 3900m d'altitude sont le Cheweca, le Ccoitu, le Wariponcho, le Chullpi et le Witulla, qui ont des panicules colorées et qui sont en mesure de résister aux faibles températures.

### **I. 3. 1. 4. Quinoa des déserts de sel (Sud de la bolivie)**

Le groupe des quinoas des déserts de sel en Bolivie méridionale résistent à des conditions xérophytiques extrêmes. Ils réussissent à se développer en exploitant l'humidité des trous pratiqués pour les semis. La culture du quinoa dans cette région s'effectue selon un système très particulier de production où la terre est laissée au repos de 4 à 8 ans après

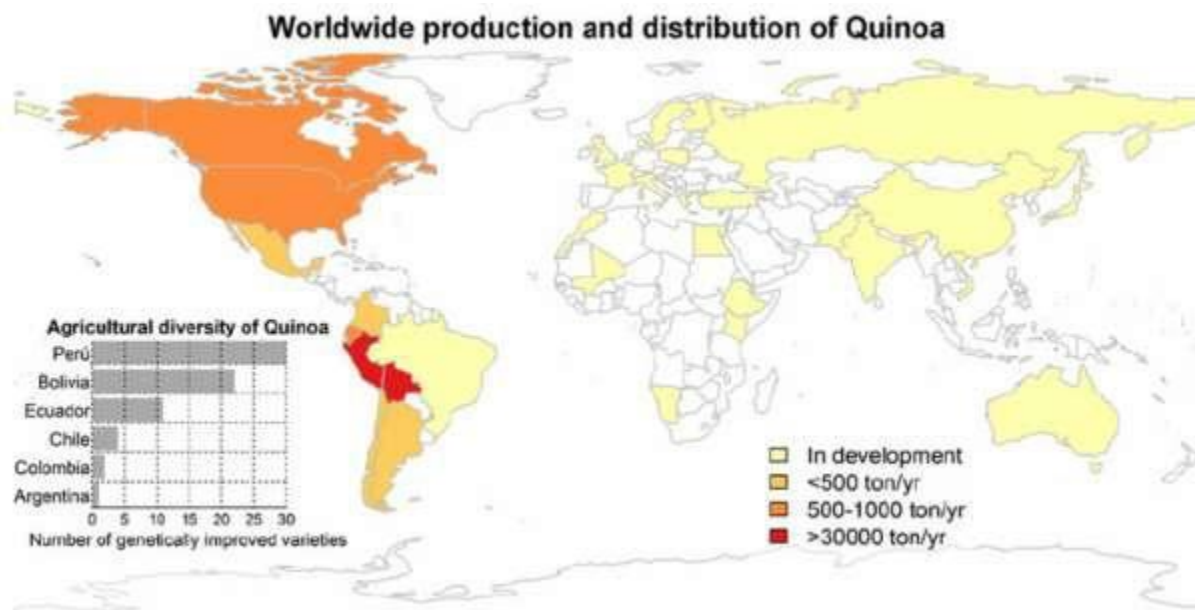
la récolte. Ces derniers temps, cette période a été raccourcie, ce qui a eu des répercussions négatives sur la fertilité des sols.

**I. 3. 1. 5. Quinoa Du Niveau de la mer (Chili)**

Les quinoas du niveau de la mer sont les mieux adaptés aux conditions humides avec des températures plus régulières. Ils poussent généralement à des latitudes au sud du 30° parallèle S (Concepción et Valdivia, Chili).

**I. 3. 1. 6. Quinoa de l zone agro\_écologique yunga et des subtropiques (Bolivie)**

Il existe un tout petit groupe de quinoa qui s’est adapté aux conditions de la zone agro-écologique de Yunga en Bolivie, à des altitudes comprises entre 1500 et 2000m, et qui comporte une tige orangée caractéristique une fois à maturité, à l’instar du péri gone. Leur adaptation aux climats subtropicaux leur permet de tolérer les plus fortes précipitations et la chaleur. Il existe une seule collection en Bolivie et des spécimens de ce groupe ont poussé avec succès à K'ayra (Cuzco) à 3300 m d’altitude, avec une longue période de végétation de plus de 200 jours (Anonyme, 2013)



**Figure 1:** Répartition mondiale de production de quinoa( FAO, 2011)

**I. 3. 2 En Algérie**

En Algérie, le quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) présente un fort potentiel agricole en termes de durabilité, grâce à sa grande adaptabilité aux diverses conditions bioclimatiques du pays. Il est couramment intégré dans les systèmes de rotation des cultures avec des céréales et des

légumineuses à grains, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour l'agriculture Algérienne (**Rahal et al., 2020**).

Le quinoa introduite en 2014 en Algérie, elle est cultivée à titre expérimental dans sept sites, à savoir, Sétif, Tiaret, Relizane, Alger, El-Oued et Biskra Adrar. Les graines de quinoa proviennent de 4 institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologiques, à savoir, 7 accessions de la FAO, 2 sélections d'Égypte (Giza 1 et Giza 2), 2 sélections d'Iran (Sajama et Santa Maria) et 5 variétés du Pérou (Amarilla marangani, Amarilla sacaca, Blanca de Junin, Kancolla et Salcedo INIA). Les sites de culture sont répartis comme suit :

- Deux sites de ITIDAS (Biskra et El Oued), la récolte a été effectuée de fin Décembre jusqu'au janvier avec un meilleur rendement obtenu en grain qui est à l'ordre de 26 q/ha, toutes variétés confondues.
- Des expérimentations ont été réalisées sur deux autres sites différents de l'INRAA d'Adrar, le rendement le plus élevé a été de 11q/ha, tandis qu'à H'madena (Relizane), les semis ont été effectués au printemps (Mars 2015) avec une irrigation supplémentaire en cas de sécheresse. Le rendement a atteint 19,4 q/ha.
- Trois sites ont été choisis pour l'ITGC de Sétif et de Tiaret, pour les hauts plateaux (semis d'automne) et Guelma (semis de printemps). Les essais d'automne ont souffert d'un hiver très rigoureux, ceux de printemps se sont bien comportés.
- L'expérience du site INRF, menée à Bainem (Alger) a été perturbée par une importante prolifération de mauvaises herbes.

Sur l'ensemble des sites et des essais concluants, près de 50kg de graines ont été récoltées. Après une deuxième année d'essais, ce sont plus de 100kg qui sont disponibles (**Rahal et al., 2020**)

#### **I. 4. Stades de développement du quinoa**

Le développement du quinoa est souvent décrit à travers différentes échelles, telles que celle de **Espindola (1994)** en neuf phases ou celle de **Mujica et Canahua (1989)** en 12 phases. Nous avons opté pour la présentation de cette dernière. Les durées mentionnées pour chaque phase correspondent à des moyennes en jours. Un stade est considéré comme atteint lorsque 50% des plantes se trouvent à ce stade. Les divers stades phénologiques du quinoa sont les suivants (**Tebri, 2019**) (Figure 2)

\* **Stade levée** : Correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaire (germination épigée). Ce stade durera entre sept et dix jours après le semis, en conditions optimales de germination.

## Chapitre I ..... Revue bibliographique

\* **Stade deux feuilles vraies** : Les deux premières feuilles vraies apparaissent 15 à 20 jours après le semis, conjointement à une croissance rapide des racines. Elles sont de forme rhomboïdale au contraire des feuilles cotylédonaires, lancéolées. Elles sont très sensibles aux attaques d'insectes.

\* **Stade quatre feuilles** : La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaires sont toujours vertes. La plantule montre dans cette phase une assez bonne résistance au froid et à la sécheresse, mais ses feuilles tendres constituent une alimentation de choix pour les ruminants.

\* **Six feuilles** : L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaires commencent à se flétrir. L'apex végétatif est nettement protégé par les feuilles les plus âgées, en particulier lorsque la plante est soumise à un stress (thermique, hydrique ou salin).

\* **Ramification** : A partir du stade huit feuilles, soit 45 à 50 jours après le semis, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud. Les feuilles cotylédonaires, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégée par les feuilles.

\* **Début de formation de la panicule** : L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au bout de 55 à 60 jours, entourée d'une agglomération de feuilles de toute petite taille qui la recouvrent encore en partie. Parallèlement, la première paire de feuilles vraies jaunit et n'est plus photo synthétiquement active. La tige s'allonge et son diamètre augmente (Tebri, 2019).

\* **Panicule** : L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent. Des boutons floraux individualisés apparaissent, 65 à 70 jours après le semis.

\* **Début de floraison** : Les premières fleurs s'ouvrent 75 à 80 jours après le semis. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse.

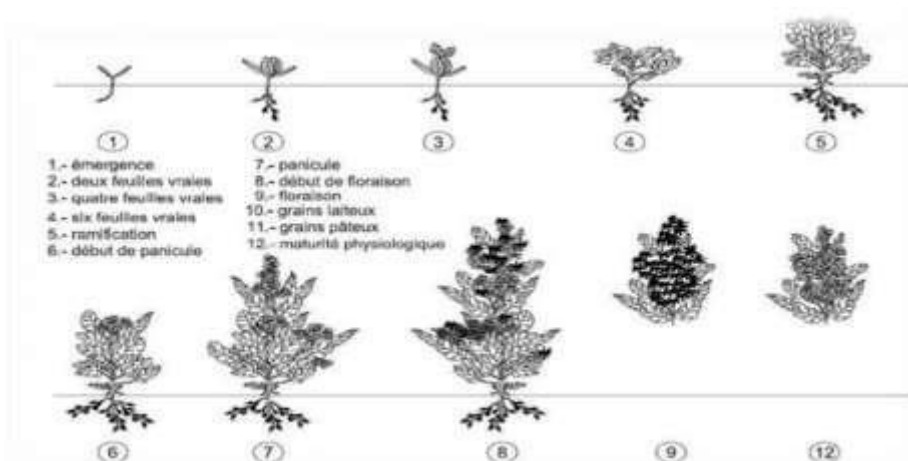
\* **Floraison** : L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence se produit aux environs du 90ème ou 100ème jour. Cette observation doit se faire à la mi-journée, les fleurs se refermant pendant la nuit. C'est durant cette phase que la plante est la plus sensible aux gelées.

\* **Grain laiteux** : Le grain est qualifié de laiteux 100 à 130 jours après le semis, car un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit. Un déficit hydrique pendant cette phase peut entraîner une forte diminution du rendement.

\* **Grain pâteux** : L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche, 130 à 160 jours après le semis.

\* **Maturité physiologique** : Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en eau inférieure à 15%. Pendant le remplissage des grains depuis la

floraison, la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète à maturité (Lebonvallet, 2008).



**Figure 2:** Phases de développement de quinoa

## **I. 5. Intérêt culturel du quinoa**

### **I. 5. 1. Intérêt socio-économique**

Les graines de quinoa sont très nutritives en comparaison avec d'autres céréales, elles ont une teneur en protéines plus élevée (environ 14,6 %). La fraction protéique est bien équilibrée et se rapproche de la protéine idéale, correspondant qualitativement à la caséine. Elles ont également une composition en acides aminés plus favorable et une teneur plus élevée en lysine, méthionine, thréonine, en arginine et histidine, qui sont importantes dans l'alimentation des nourrissons. La teneur en amidon est d'environ 60% représentée par de petits granules utilisables dans l'industrie alimentaire comme ingrédient dans un substitut de crème. La quantité de lipides dans le quinoa représente environ 8% de la masse sèche, son huile est très stable grâce à sa teneur en antioxydants naturels relativement élevée. L'huile totale contient 54% d'acide linoléique et 20% d'acide oléique. Le quinoa est une bonne source de la thiamine (B2), d'acide folique et de vitamine C, mais sa teneur en niacine (B3) est inférieure à celle des autres céréales. Les graines contiennent plus de Ca, P, Mg, Fe, Zn, Na et Cu que les céréales (Mansour, 2020).

Il est très important de réaliser la répartition de chaque minéral en fractions de la graine. Les graines contiennent certains composés anti-nutritifs tels que des saponines, des phytates, des tanins et des inhibiteurs de protéase (Dubey et al., 2015). Les grains de quinoa ne contiennent pas de gluten et ne peuvent donc pas être utilisés seuls pour la

fabrication du pain. Cependant, ils peuvent être mélangés à de la farine de blé dans la préparation de pain à haute valeur nutritionnelle (**Morita et al., 2001**).

L'importance du quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) est due à ses composantes qui contribuent grandement à l'aspect économique que ce soit d'un point de vue nutritionnel, médical ou cosmétique ; et un avantage économique favorable par rapport à de nombreuses autres cultures, ouvrant ainsi des opportunités considérables pour être une chaîne de production très compétitive et très efficace. Malgré l'importance considérable de la culture du quinoa en Bolivie, celle-ci n'est cultivée que dans une proportion limitée (**Wilfredo et al., 2004**). Les revenus supplémentaires provenant de la culture du quinoa ont permis aux agriculteurs d'accéder à des soins de santé, à l'éducation et à une meilleure habitation.

### **I. 5. 2. Intérêt nutritionnel**

Le quinoa a également contribué à l'autonomisation de la richesse alimentaire dans différents pays. La culture du quinoa se répand et est désormais présente dans plus de 70 pays, dont la France, l'Angleterre, la Suède, le Danemark, les Pays-Bas et l'Italie. Il est également développé avec succès au Kenya, en Inde et aux États-Unis (**FAO, 2013**). Elle a stimulé la diversification économique et le développement global des régions où elle est cultivée. Le quinoa a eu un impact significatif sur la vie des agriculteurs, et le développement économique dans les pays où elle est cultivée. Elle offre également une alternative pour les pays confrontés à l'insécurité alimentaire et peut réduire la dépendance à l'égard d'autres céréales comme le blé et le riz.

#### **I. 5. 2. 1. Transformations du quinoa (Produits et sous produits de l'agro-industrie)**

Industriellement les grains de quinoa doivent être soumis à des lavages pour fin d'élimination de la saponine avant d'être utilisées pour la préparation des produits en agro-industrie (**Wilfredo et al., 2004**). Différents processus ont été utilisés, à savoir :

##### **A- Produits de l'agro-industrie**

###### **\* Flocons de quinoa**

Les grains perlés sont humidifiés (15 à 16 % d'humidité) et sont ensuite soumis à une pression entre deux rouleaux les faisant former des tranches circulaires. On obtient ainsi des flocons qui conservent la majorité des protéines, et le temps de cuisson est plus court. Les flocons sont utilisés pour les soupes, les céréales du petit-déjeuner, les jus de fruits et autres.

**\* Farine de Quinoa**

Les grains perlés sont soumis à un broyage et un tamisage, à l'aide de fraiseuses spéciales afin d'obtenir une farine de bonne qualité, même si la teneur en protéines est légèrement réduite, notamment à cause de la séparation du germe. La farine peut être utilisée comme substituant au blé (on peut aller farine jusqu'à 20 à 25% comme substituant pour la confection du pain, de la biscuiterie et de la pâtisserie, sans aucun effet néfaste sur la texture et la saveur du produit final.

**\* Farine de quinoa grillée**

Les grains perlés sont soumis à des processus de grillage et de broyage. La farine obtenue dans est facilement digestible et recommandée aux enfants et aux adultes, y compris les femmes enceintes et les mères en phase d'allaitement.

**\* Quinoa expansé (pop corn)**

Également appelé insufflation, processus par lequel les grains perlés sont soumis à des températures élevées sous pression à l'intérieur d'une chambre pour augmenter le volume. Le produit peut être imprégné de différents saveurs, prêt à être consommé immédiatement. L'inconvénient est que plus de 60% des protéines sont perdues.

**B- Sous-produits de l'agro-industrie**

**\* Son de quinoa**

Celui-ci est généralement utilisé comme matière première pour la préparation d'aliments équilibrés pour bovins et d'autres animaux.

**\* Poudre contenant de la saponine**

Il s'agit du produit résiduel du processus de scarification des grains de quinoa (élimination de la saponine une fois séchée). Il n'est pas recommandé de l'utiliser comme aliment car le glycoside n'est pas toléré par les animaux, mais il peut être utilisé comme détergent, pour lequel dans ce but, il est traditionnellement utilisé par les populations agricoles. Le produit peut potentiellement être utilisé par les fabricants de savons, shampoings et dentifrices.

**\* Grains de quinoa fendus**

Il est généralement utilisé comme aliment direct dans l'industrie avicole, parfois utilisé pour préparer des aliments équilibrés pour les bovins, les porcs et autres animaux

**\* Huile de quinoa**

Les acides gras de la graine de quinoa forment une huile d'une haute qualité nutritive, mais les bienfaits ne s'arrêtent pas là. En effet, les autorités compétentes condamnent les acides gras saturés à cause de leurs nombreux effets délétères et

préconisent un apport suffisant en acides gras insaturés (Oméga-3 et Oméga-6), dont l'effet protecteur sur le système cardio-vasculaire en particulier n'est plus à prouver. Le quinoa répond à ses recommandations avec sa haute teneur en acides gras insaturés qui représentent plus (85%) des acides gras totaux, avec seulement (14%) d'acides gras saturés (Herbillon, 2015).

### **I. 5. 3. Caractéristiques nutritionnelles du quinoa**

Le quinoa, connu sous le nom de « céréale mère » constituait l'alimentation de base des anciennes civilisations depuis des milliers d'années, mais, à force du temps, cette coutume nutritionnelle est remplacée par le maïs et la pomme de terre, et en peu de temps, la culture du quinoa a été oubliée et sous-utilisée.

Le quinoa contient une plus grande teneur en protéines, calcium, phosphore, fer et magnésium que les autres céréales. Il contient également tous les acides aminés essentiels, il est riche en fibres et en vitamines de groupe (B) et il est sans gluten. Le grain est moelleux, très digestif, cuit rapidement et possède un goût agréable. Il possède également des propriétés nutritives et il est très facile à utiliser car il est vendu dans un large éventail de produits. Il est utilisé sous différentes formes, à savoir : flocons, farine, pâtes, pain, et biscuits. Il est considéré par l'ONU et l'OMS comme un aliment complet en raison de son extrême haute valeur nutritionnelle. Comme il s'agit d'un aliment sans gluten, la majorité de la population peut le consommer, y compris ceux qui ont une allergie au gluten.

Le quinoa conserve ses qualités nutritives même lors des processus industriels, et il est capable notamment de se substituer aux protéines d'origine animale. La graine de quinoa est le seul aliment végétal qui apporte tous les acides aminés essentiels à la vie des humains et dans des valeurs proches de celles publiées par l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation, ce qui signifie que ses protéines sont d'excellente qualité ; c'est nutritif ses caractéristiques le rendent comparable au lait (Villa-Lobos et Espejo, 1997) (Tableau 2 & 3).

**Tableau 2** : Composition comparative entre le quinoa et autres aliments (kg)

Constituents (%)	Quinoa	Viandes	Œufs	Fromage	Lait de vache	Lait maternelle
Proteines	13.0	30.0	14.0	18.0	3.5	1.8
Lipides	6.1	50.0	3.2	–	3.5	3.5
Carbohydrates	71.0	–	–	–	–	–
Sucre	–	–	–	–	4.7	7.5
Fer	5.2	2.2	3.2	–	2.5	–
Calories /100grs	370.0	431.0	200.0	24.0	66.0	88.0

**Tableau 3** : Composition comparative de quinoa avec d'autres produits (kg)

Constituents (%)	Quinoa	Blé	Mais	Riz	Avoine
Proteines	13.0	11.43	12.28	10.25	12.30
Lipides	6.70	2.08	4.30	0.16	5.60
Fibres	3.45	3.65	1.68	-	8.70
Calcium	0.12	0.05	0.01	–	–
Phosphore	0.36	0.42	0.30	0.10	
Carbohydrates	71.0	71.0	70.0	78.0	60.0

Une fois le grain lavé, de délicieux plats salés ou sucrés peuvent être préparés, dans les deux sens, à savoir, en forme solide ou liquide. Il est possible de produire de la farine de quinoa, qui peut être enrichie de farines de blé (Wilfredo et al., 2004). Dans la préparation de biscuits, tartes, gâteaux, spaghettis, etc., offrant une haute valeur nutritive. Il est également utilisé dans la préparation des pâtes à frire, en les enrichissant, en conservant leur moelleux et apportant une saveur très agréable en plus d'une texture fine et particulière. Il est ainsi possible de préparer des aliments très énergétiques et très agréables (100%) naturels, ne contiennent pas de cholestérol et sans gluten. C'est un aliment très apprécié pour sa nature chimique, en raison des transformations qu'il subit lorsqu'il est ingéré, et les effets qu'il produit chez le consommateur. Le quinoa représente l'un des principaux composants de l'alimentation de la famille andine (Tableau 2).

Alors, du point de vue nutritionnel et alimentaire, le quinoa est une source naturelle d'énergie végétale économique et une valeur nutritive élevée grâce à la combinaison d'une plus grande proportion d'éléments essentiels (protéines et acides aminés). Le pouvoir

calorifique est supérieur à celui des autres céréales, tant en grains qu'en farine, atteignant 350 Cal/100gr, ce qui le caractérise comme un aliment adapté aux zones froides.

#### **I. 5. 4. Intérêt médicinal et pharmacologique**

##### **I. 5. 4. 1. Propriétés pharmacologiques**

###### **\* Activité anti-inflammatoire**

Plusieurs rapports montrent que la plupart des plantes ayant des saponines possèdent une activité anti-inflammatoire (Navarro *et al.*, 2001 ; Cho *et al.*, 2001; Kang *et al.*, 2005).

###### **\* Activité anti oxydante**

Un grand nombre de composés retrouvés dans les graines de quinoa ont démontré des capacités anti oxydantes. On les retrouve impliqués dans des composés bioactifs de nature lipophile (tocophérols, caroténoïdes) et hydrophile (acides phénoliques, flavonoïdes, bêtaïnes), ainsi que des saponines (Herbillon, 2015). Les propriétés anti oxydantes sont largement citées lorsqu'il s'agit de prouver l'effet anticancéreux d'un aliment, un sujet sensible qui fait l'objet de nombreux débats dans la communauté scientifique.

###### **\* Activité antiulcéreuse**

Un petit groupe de polysaccharides isolés à partir des graines de quinoa, à savoir l'arabinane et les polysaccharides pectiques riches en arabinane, ont montré une activité antiulcéreuse. La gastro protection est une activité biologique qui a été précédemment rapportée pour des polysaccharides issus d'autres végétaux, tels que l'arabinogalactane (*Cereus peruvianus*, Cactaceae) (Tanaka *et al.*, 2010) ou le galactomannoglucane (*Syagrus oleracea*, Aracaceae) (Da Silva et Parente, 2010). L'effet protecteur gastrique de ces polysaccharides a été évalué sur des rats en utilisant des lésions gastriques aiguës induites par de l'éthanol (Cordeiro *et al.*, 2012).

###### **\* Activité antifongique**

Les saponines du quinoa présentent une activité antifongique importante puisqu'elles inhibent la croissance de *Candida albicans* à 50 µg/ml. Cet effet a été observé avec un mélange brut de saponines, tandis que les saponines individuelles pures ont montré peu ou pas d'activité, ce qui suggère un effet synergique.

##### **I. 5. 4. 2. Propriétés médicinales de quinoa**

###### **\* Prévention du cancer du sein et l'ostéoporose**

Le quinoa est parmi les céréales andines, qui ont déjà fait l'objet de nombreux débats, apportent désormais une autre surprise puisque il contient également des phytoestrogènes, des substances qui préviennent les maladies chroniques telles que

l'ostéoporose, le cancer du sein, les maladies cardiaques et autres problèmes féminins causés par un manque de œstrogènes pendant la ménopause. Selon des études scientifiques réalisées par des laboratoires internationaux, les phyto-estrogènes que l'on trouve dans la majorité des céréales, (soja et maïs), chose qui n'a pas été mentionné dans le quinoa qui jusqu'à présent aucune étude de cette nature a été réalisée. Cependant, il est présumé contenir des niveaux élevés de phyto-estrogènes, surtout qu'Altiplano bolivien, il a été établi que les femmes de cette région ne présentent pas des cas d'ostéoporose, mais que cette maladie est présente chez des femmes dans d'autres milieux sociaux situés dans les villes où la consommation de quinoa est faible. Tout apparaît pour indiquer que l'absence d'ostéoporose est liée au régime alimentaire de l'Altiplano, riche en céréales contenant des phyto-estrogènes, des substances qui permettent l'absorption du calcium, ce qui signifie que les femmes de cette région ne souffrent pas d'ostéoporose (**Wilfredo et al., 2004**).

**\* Soins des fractures osseuses**

Selon le *Royal Quinoa Catalogue* (2003), plusieurs variétés de quinoa, sont utilisées pour soigner des fractures osseuses, en utilisant le grain de quinoa moulu non transformé (**Wilfredo et al., 2004**). La poudre du quinoa mélangé au vin est appliquée directement sur la fracture osseuse, tant pour les humains que pour le bétail.

**I. 6. Généralités sur la salinité**

Les plantes sont généralement soumis à deux types de stress, à savoir, le stress biotique (imposé par d'autres organismes (des microorganismes, insectes, herbivores...etc.)), qui cause des perturbations physiologiques ou pathologiques due à une agression par un autre organisme) et le stress abiotique (dus principalement à des facteurs environnementaux, tels que La sécheresse, les températures extrêmes, la salinité (**Zhu, 2002; Vincent, 2006**). Le stress par définition est un ensemble de conditions qui provoque des changements de processus physiologique résultant éventuellement en dégâts dommages, blessures, inhibition de croissance ou de retard du développement de plantes (**Menacer, 2007; Kherfi et Brahmi, 2011**).

**I. 6. 1. Stress hydrique**

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants perturbant les processus de métabolismes et affectant la productivité agricole autour du monde (**Boyer, 1982**). Le stress hydrique du sol doit être décomposé en déficit hydrique et l'excès d'eau entraînant l'asphyxie. Il peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le lieu entre la disponibilité et les besoins (**Bezzala, 2005**). D'autres auteurs

limitent la définition du stress hydrique aux seules conditions correspondant à une hydratation sub-optimale des tissus (**Lamaze, 1994 ; Lamia, 2020**).

Le stress hydrique occupe une place particulière du fait de sa fréquence et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métaboliques. De part son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation, ainsi que dans la multiplication et le grandissement cellulaire, l'eau a un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**Mazliak, 1995; Heller et al., 1998**). La sécheresse menant au stress hydrique dans la plante est un problème important qui réduit la productivité agricole. Les régions du monde qui subissent le plus cette contrainte sont situées en zones arides et semi-arides (**Leakey et al., 2006**). Le stress hydrique résulte de la faible pluviométrie, du faible stockage de l'eau dans le sol (**Lionello et al., 2006**) et du degré de transpiration de la plante excédant son absorption d'eau par les racines (**Endo et al., 2008**).

### **I. 6. 2. Stress thermique**

La sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variables, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel (**Hopkins, 2003**). Tandis que **Yan et Hunt (1999)**, ont rapporté les basses températures comme l'une des défis environnementaux les plus graves aux plantes. D'autre part les températures élevées induisent la synthèse des protéines particulières. Chaque plante exige une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà elle s'annule (**Lamia, 2020**).

La température est un facteur environnemental, qui varie selon les saisons et subit des fluctuations quotidiennes. La sensibilité des plantes aux températures est très variable ; certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel (**Mazliak, 1995 ; Heller et al., 1998**). Chaque plante exige une température optimale de croissance et de développement qui ne peut se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule. Trois types de température extrême peuvent causer des dégâts aux plantes : le froid, le gel et les températures élevées (**Hopkins, 2003**).

### **I. 6. 3. Stress salin**

L'eau est un élément important pour les plantes, lorsque se produit un stress salin, le végétal rencontre un problème, en absorbant le sel qui affecte les activités

physiologiques des cellules d'une part, et l'abaisser du potentiel hydrique du sol qui a un impact sur l'alimentation de la plante en eau d'autre part (**Derkaoui, 2009**). Les dommages causés par le stress salin à long terme sont surtout le déséquilibre ionique et la toxicité provoqués par le  $\text{Na}^+$ , plutôt que l'effet du sel sur le potentiel hydrique réduisant la disponibilité en eau (**Belkheiri, 2008**). De plus l'augmentation de NaCl diminue l'absorption du Potassium et du Calcium et interfère avec leurs fonctions physiologiques (**Yoshida, 2002**). Les plantes ont des réponses différentes à cette contrainte, les glycophytes leur croissance est réduite (**Hopkins, 2003**). Par contre les halophytes ont développé des réponses physiologiques vis-à-vis de ce problème (**Heller et al., 2004**). Donc, Le stress salin s'applique sur la plante sous deux types de contraintes, d'abord le sel provoque un effet osmotique, lorsque les racines sont en contact avec lui puis il entraîne un stress ionique au niveau des feuilles lorsque la concentration en sel est élevée et devient toxique (**Munns et Tester, 2008**).

La salinisation est le processus par lequel les sels s'accumulent dans le sol. Ces sels sont représentés en grande partie par des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{K}^+$ ) et des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}^-$ ,  $\text{CO}^{-2}$  et  $\text{NO}^-$ ). Dans le langage courant, le sel est le chlorure de sodium alors que dans la chimie un sel est le produit de la neutralisation d'un acide par une base. Du point de vue agronomique, la « salinité » d'un milieu correspond à une surcharge en sels minéraux de la solution du sol ou la solution nutritive (**Flowers, 2004**).

La salinité est dite naturelle ou primaire, lorsque les sels minéraux qui sont à l'origine de cette salinité proviennent de la nappe phréatique saline ou l'altération de la roche mère saline, et cette altération est favorisée par des facteurs physico-chimiques (le vent, le gel et les pluies souvent acides, chargées de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (**Clicours, 2021**). Alors que l'irrigation avec des eaux saumâtres, la minéralisation du fumier, les engrais minéraux, sont à l'origine de la salinité anthropique ou secondaire (**Kalaji et Pietkiewitz, 1993**).

## **I. 7. Effet du stress salin sur la germination et la croissance du quinoa**

### **I. 7. 1. Effet de la salinité sur la germination**

L'apparition de la racicule est le résultat d'un ensemble de processus métaboliques qui correspondent à la germination des graines. Il s'agit d'une étape cruciale dans la mise en place des semis et donc dans la détermination d'une production agricole fructueuse. (**Derradji, 2020**).

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (**Ndour et Danthu, 2000**). Plusieurs études ont montré que le sel a un effet

dépressif sur le taux de germination, sur la croissance biologique et sur la production des grains (**M'barek et al., 2001**). Cependant, cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété des plantes et cela ; soit en diminuant la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevé pour permettre la germination (**Katembe et al., 1998**).

D'après les recherches de **Karmous (2007)**, il a été démontré que la présence de salinité entrave la germination en provoquant un effet osmotique, ce qui entraîne une diminution du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à ces dernières pour l'hydratation. La germination est le stade le plus fragile du cycle de vie de la plante, car elle détermine le moment et le lieu où la croissance de la plante commence (**Lamia, 2020**). La germination des plantes, qu'elles que soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité et selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

- **Effet osmotique** : La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage du processus germinatif.
- **Effet toxique** : Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations enzymatiques impliquées dans la physiologie des graines en germination.

### **I. 7. 2. Effet de la salinité sur la croissance**

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (**Levigneron et al., 1995**). 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. Une baisse des poids de matières fraîches et sèches est aussi démontrée (**Rush et Epstein, 1981**).

La tolérance d'une culture à la salinité est une valeur relative basée sur les conditions de croissance de cette culture, la résistance au sel dépend de la complexité anatomique et physiologique de la plante (**Zhu, 2001**).

**Chapitre II. Matériel et méthodes**

**II. 1. Objectif de l'étude**

L'objectif de notre recherche est de tester le pouvoir germinatif des graines de quinoa, et de déterminer le comportement des *vitro*-plants et en fin d'étudier caractérisation morphologique des plantules régénérées sous stress salin chez le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).

**II. 2. Matériel végétal**

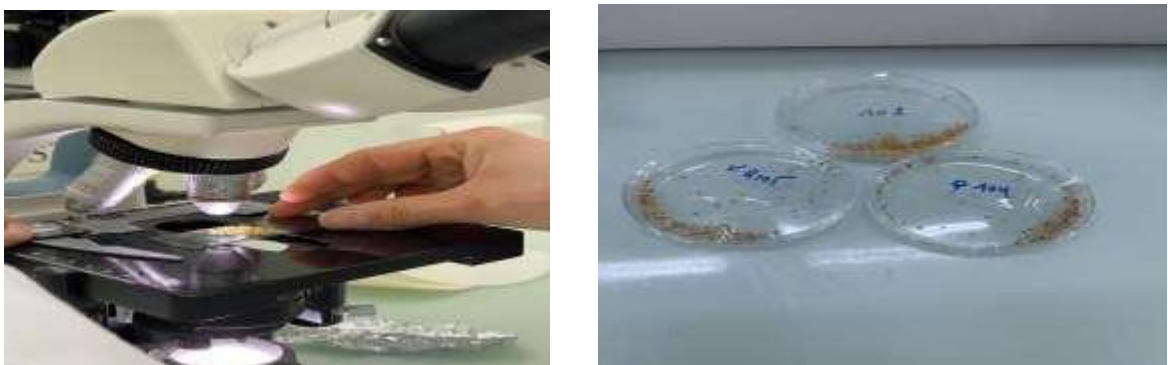
Le matériel végétal utilisé dans notre étude est constitué de graines de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), à savoir, Q102, Q104 et Q105 qui ont été fournies gracieusement par l'Institut Technique d'Agronomie Sahaienne (ITDAS) de Ouargla (Figure 3).



**Figure 3 :** Graines des variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa*), en provenance de l'Institut Technique d'Agronomie Sahaienne (ITDAS) de Ouargla (Cliché : Chabira & Charef, 2024).

**II. 3. Préparation des graines**

180 graines saines de chaque variété de quinoa (Q102, Q104 et Q105) ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme sous le microscope (Figure 4).



**Figure 4 :** Selection des grain de quinoa sous microscope

**II. 4. Préparation de milieu de culture (solution minérale)**

L’aspect le plus important de la culture *in vitro* est le choix d’un milieu de culture qui assure le bon développement des graines (Kadi, 2012). Le milieu de culture utilisé dans la présente expérience est le milieu MS (Tableau 4).

**Tableau 4:** Composition du milieu Murashige et Skoog (1962).

	Ingrédients	Solution Mère (mg/l)	Solution finale mg/l	Volume d'éluion	Volume de prélèvement / l l S F	Case
<b>Macro éléments</b>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33000	1650	600ml	50 ml	A
	KNO <sub>3</sub>	38000	1900	X20		
	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	8800	440			
	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	7400	370			
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3400	170			
<b>Micro Eléments</b>	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	2230	22.3	600ml	25 ml	B
	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	860	8.6	X100		
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	620	6.2			
	KI	83	0.83			
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	25	0.25			
	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	2,5	0.025			
	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	2,5	0.025			
<b>Fe EDTA</b>	Na <sub>2</sub> -EDTA	3730	37.3	600ml	25ml	C
	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2780	27.8	X100		
<b>Vitamines et Acides aminés</b>	Acide Nicotinique	5	0.5	70ml	25ml	D
	Pyridoxine-HCl	5	0.5	X10		
	Thiamine-HCl	1	0.1			
	Glycine	20	2.0			
	Myo-Inositol	1000	100			
<b>Sucre</b>	Saccharose	30g/l	30g/l	100ml X100	25 ml	
<b>Agar</b>	Agar	8g/l	8g/l			
<b>Ph</b>			5.8			

**II. 4. 1. Préparation de la solution mère de macro-éléments : (MS) - 20 X**

Elle consiste a :

- ✓ Verser 600 ml d’eau distillée dans un bécher de 1litre
- ✓ Peser et dissoudre chacun des sels indiqués (la case A) en chauffant légèrement au besoin
- ✓ Transférer la solution dans un flacon de 1litre et compléter à 1litre avec l’eau distillée;
- ✓ Identifier le flacon puis le ranger au réfrigérateur.

**• Préparation de la solution mère de micro-éléments : (MS) 100 X**

- ✓ La préparation de la solution mère consiste à :
- ✓ Verser 600 ml d’eau distillée dans un bécher de 1litre;
- ✓ Peser et dissoudre chacun des sels indiqués (la case B) en chauffant légèrement au besoin
- ✓ Transférer la solution dans un flacon de 1litre et compléter à 1litre avec l’eau distillée;

- ✓ Identifier le flacon puis le ranger au réfrigérateur.

#### **II. 4. 2. Préparation de la solution mère de Fe-EDTA : (MS) 100X**

Elle consiste à :

- ✓ Verser 600 ml d'eau distillée dans un bécher de 1 litre;
- ✓ Ajouter le  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ , comme indiqué (la case C) et mélanger jusqu'à dissolution;
- ✓ Ajouter  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- ✓ Transférer la solution dans un flacon de 1 litre et compléter à 1 litre avec l'eau distillée

#### **II. 4. 3. Préparation de la solution mère des vitamines : (MS)10 X**

- ✓ La préparation de la solution mère consiste à :
- ✓ Verser 600ml d'eau distillée dans un bécher de 100ml
- ✓ Peser et dissoudre les vitamines indiquées (la case D)
- ✓ Transférer la solution dans un flacon de 1 litre et compléter à 1 litre avec l'eau distillée
- ✓ Identifier le flacon puis le ranger au réfrigérateur (Figure 5) .



**Figure 5** : solutions mères préparées

#### **II. 4. 4. Préparation du milieu de culture (solurion nutritive)**

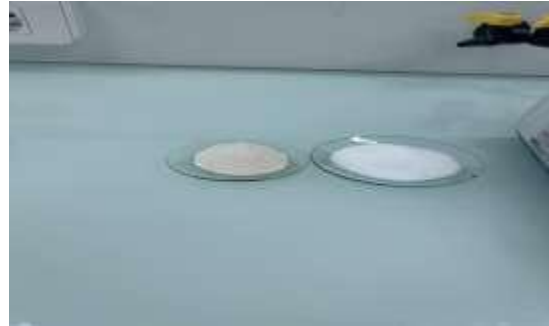
Pour préparer un litre de milieu de culture MS (Murashigue et Skoog, 1962),

les quantités prélevées de chaque solution mère sont égales à :

- ✓ 50 ml de Marco-éléments (concentrés 20 fois)
- ✓ 25 ml de Micro-éléments (concentrés 100 fois)
- ✓ 25 ml de Fer – EDTA (concentré 100 fois)
- ✓ 25 ml de Vitamines (concentré 10 fois)
- ✓ Verser approximativement les deux tiers de la quantité d'eau requise soit environ 600 ml dans un bécher de 2 litres, on verse en agitation l'eau déminéralisée et distillée (DDH<sub>2</sub>O).
- ✓ Un à la fois, les composés (mis à part le sucre et l'agar) sont ajoutés à l'eau dans l'ordre (macro-micro-fer-vitamines).

## **Chapitre II..... Matériel et méthodes**

- ✓ 30 g de Saccharose (en chauffant légèrement au besoin) (Figure 6)



**Figure 6 : Sucre et Agar**

- ✓ La fiole est ajustée à 1 litre de l'eau distillée l'aide d'un ballon volumétrique
- ✓ Le pH est vitrifié par un pH-mètre et ajusté entre 5,6 et 5,8 (intervalle dans le quel l'agar peut se gélifier) en utilisant une base NaOH (0,1N) ou un acide HCl (0,1N), tout en agitant la solution (Figure 7).



**Figure 7 : Ajustement du pH (pH-mètre)**

- ✓ Si désiré, le milieu peut alors être entreposé au réfrigérateur pour une journée
- ✓ Après fixation du pH, on ajoute 8 gr d'agar et le tout est porté à ébullition sur une plaque chauffante pour dissoudre l'agar. ( jusqu'à ce que le milieu devienne clair)
- ✓ Après dissolution totale de l'agar, le milieu est versé dans des flacon (préalablement lavés et desséchés dans l'étuve à 180°C). les flacons sont hermétiquement fermés avec des bouchons stériles (Figure 8).



**Figure 8 : Milieu de culture MS**

**II. 4. 5. Préparation de la solution saline**

On ajoutant du NaCl à l'eau distillé pour atteindre les concertations indiquées dans le (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Concentrations étudiées des solutions saline

Solutions salines	Eau	NaCl
0g/l	0 ml	00g
5g/l	10 ml	0,05g
10g/l	10 ml	0,1g
15g/l	10 ml	0,15g

Chacun de ces 04 concentrations salines (0g/l, 5g/l, 10g/l, 15g/l) sont mises dans des flacons remplis de milieu de culture MS cité précédemment (Figure 9).



**Figure 9 :** Milieu de culture MS avec differentes concentrations en NaCl

**II. 5. Protocole expérimental et mesures effectuées**

Le présent travail vise à déterminer l'effet du NaCl sur la germination des graines de quinoa des 3 variétés. Le test de germination devrait être effectué sous différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) pour l'ensemble des variétés utilisées.

**II. 5. 1. Stérilisation**

**II. 5. 1. 1. Stérilisation du milieu de culture**

- Les flacons contenant le milieu de culture qui a concentration saline, autoclaves à 120°C et une pression de 15 psi (1.5 bar) pendant 20 minutes.

**II. 5. 1. 2. Stérilisation de la zone de travail et désinfection du matériel utilisé**

- Nettoyage de la hotte et de son entourage avec de l'eau de javel (12°), puis avec de l'éthanol (99°), Allumage de la hotte avec UV, au moins une demi-heure avant chaque manipulation.

## **Chapitre II..... Matériel et méthodes**

- Les instruments de travail et le matériel destiné à la manipulation (scalpels et pinces...) qui sont ainsi stérilisés par étuvage pendant 30min, sont trempés dans l'éthanol 99° puis flambés pendant toute la durée des expériences.
- Placé et allumé 02 becs benzène (stérilisateur) au centre de la zone désinfectée (sous la hotte), 20 minutes avant de commencer les expériences.
- Déposer tout le matériel stérile autour du bec Bunsen (petits flacons contenant le milieu de culture, pinces, scalpel...etc.).
- Se laver les mains et les avant-bras au savon (Figure 10).



**Figure 10 :** Stérilisation de la zone de travail

### **II. 6. l'ensemencement**

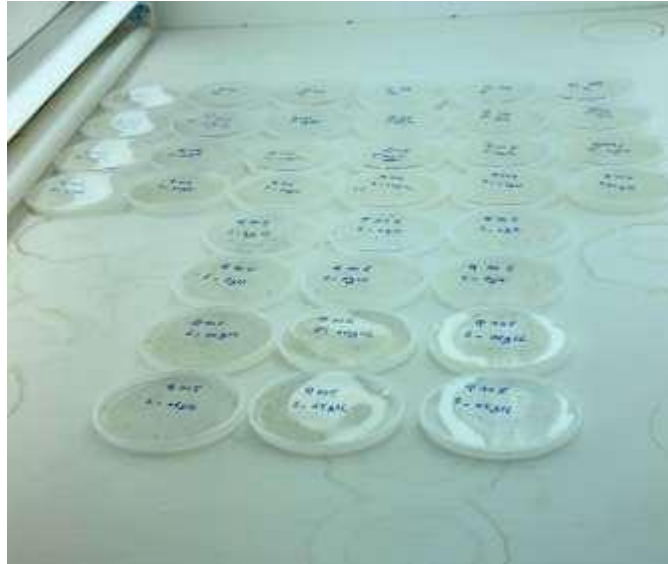
Dans notre expérience, nous avons divisé les graines de quinoa en quatre lots. Le premier lot T0 (sans stress salin) n'a pas été cultivé dans un milieu contenant du stress salin (témoin), le deuxième lot T1 a été planté dans un milieu contenant du stress salin à une concentration de 5g/l, et le troisième lot a été planté dans un milieu contenant une concentration en sel de 10g/l, alors que le dernier lot de graines ont été plantées dans un milieu contenant un stress salin à une concentration de 15g/l (Figure11)



**Figure 1:** Traitement des graines de quinoa dans l'eau de javel et preparation de l'ensemencement dans les boites de petri

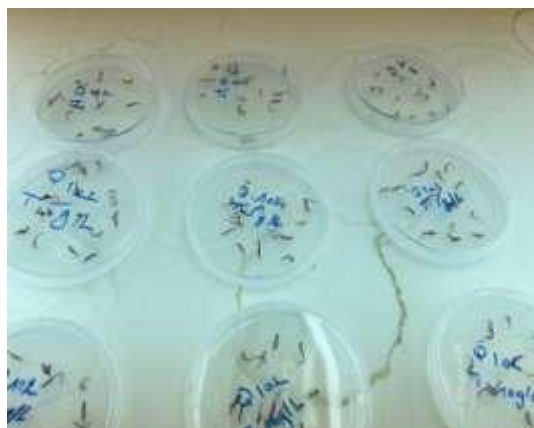
**II. 6. 1. Ensemencement des graines de trois variétés du quinoa dans les boîtes petri**

Les graines de 3 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) qui servent comme matériel végétal ont été traitées à l'eau de javel à 0,6% pendant 3 min puis rincées rigoureusement trois fois avec de l'eau distillée afin d'éliminer toute trace de l'eau de javel. De chaque variété, 15 graines sont semées dans des boîtes de pétri en stérilisées de 10 cm de diamètre, contiennent le milieu de culture (Figure 12).



**Figure 2:** Semis de 3 variétés de quinoa

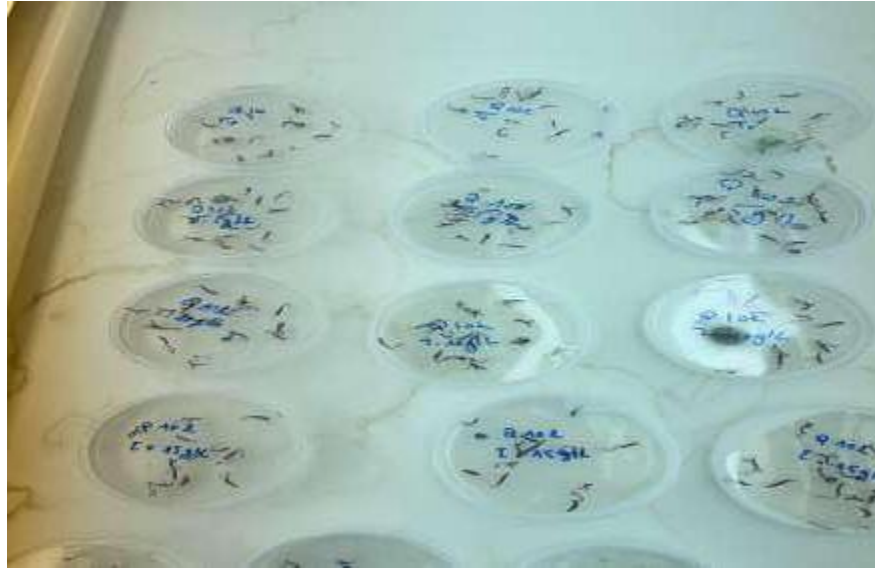
Les boîtes étiquetées et scellées par un le parafilm sont ensuite placées dans la chambre de culture à 25°C. Chaque traitement est répété 3 fois. Le nombre de graines germées est noté quotidiennement pendant une période de 7 jours. La graine est considérée germée à l'apparition de la radicule à 2mm (Figure 13).



**Figure 3:** Germination des grains dans la chambre de culture

## **Chapitre II..... Matériel et méthodes**

Cette expérience n'a pas été achevée vu le problème rencontré lors de la culture, à savoir, une contamination fongique du milieu de culture visible à l'œil nu à travers des spots blanchâtres (Figure 14).



**Figure 4:** Apparition de contamination

### **II. 6. 2. Germination des grain dans bocaux**

Pour sauver les graines germées non infectées, nous avons utilisé des bocaux, d'où nous avons préparé le même milieu de culture (MS) avec les quatre concentrations de NaCl (0g/l, 5g/l, 10g/l, et 15g/l) à raison de trois répétitions pour chaque variétés, les bocaux sont hermétiquement fermés avec des bouchons stériles, les bocaux sont misent dans les conditions de température, de photopériode et d'hygrométrie utilisées auparavant (Figure 15).



**Figure 5 :** Germination des grain dans bocaux

**II. 7. Mesures et notation**

**II. 7. 1. Taux et cinétique de la germination**

**Taux de germination**

Le paramètre (taux de germination), constitue le meilleur moyen pour identifier la concentration saline qui présente la limite physiologique de la germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées par rapport au nombre total de graines (Côme, 1970). Le taux de germination (TG) est calculé selon la formule suivante :

$$TG = NGG \times 100 / NTG, \text{ d'où}$$

NGG : Nombre de graines germées.

NTG : nombre totale de graines utilisées.

Quand à la cinétique de germination, il s'agit de calculer le nombre de graines germées par jour pendant la période de l'expérimentation qui s'est étalé sur 07 jours. (Bénidir et al., 2015).

**II. 7. 2. Mesures biométriques**

Après 7 jours, nous avons procédé à l'enlèvement des plantules à partir des bocaux avec prudence et très soigneusement afin de ne pas les endommager. A l'aide d'un pince, on a pu faire la séparation de différents organes (racines et feuilles) afin d'effectuer des mesures biométriques pour l'ensemble des 03 variétés étudiées dans les quatres concentrations salines (0g/l, 5g/l, 10g/l et 15g/l).

**II. 7. 2. 1. Nombre et longueur des racines**

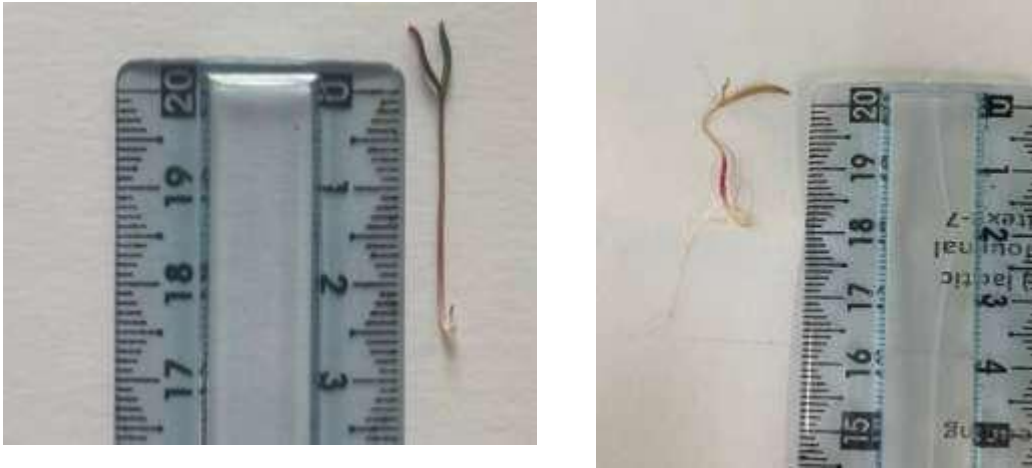
Le nombre des racines a été effectué en faisant le comptage de toutes les racines de la même plantule pour toutes les plantules dans le même niveau de stress, puis on a établie une moyenne; quand à la longueur des racines, on les a mesurées aussi à l'aide d'une règle graduée (cm), pour l'ensemble des racines puis on a établie une moyenne aussi et cela évaluer la croissance des plantules (Figure 16).



**Figure 6:** Longueur de la racine et de l'epicotyle

**II. 7. 2. 2. Longueur des épi-cotyles**

La longueur de l'épicotyle a été mesurée aussi à l'aide d'une règle graduée (cm), pour évaluer la croissance des plantules (Figure 17).



**Figure 7:** Longueur de l'épicotyle

**II. 7. 2. 3. Surface foliaire**

La surface foliaire a été déterminée selon les étapes suivantes (Figure 18).

1. On fait placer des feuilles sur un papier.
2. On découpe le contour de la feuille.
3. On déduit la surface de la feuille (S F) par la formule suivante (Mefti et al., 2008) :

$$SF (cm^2) = 0.606 (L \times l), \text{ d'où}$$

L = longueur de feuilles,

l = largeur des feuilles et

0.606 = coefficient constant



**Figure 18 :** Mesure la longueur et de la largeur des feuilles (SF)

**Chapitre III. Résultats et discussion**

**III. 1. Résultats**

**III. 1. 1. Taux de germination**

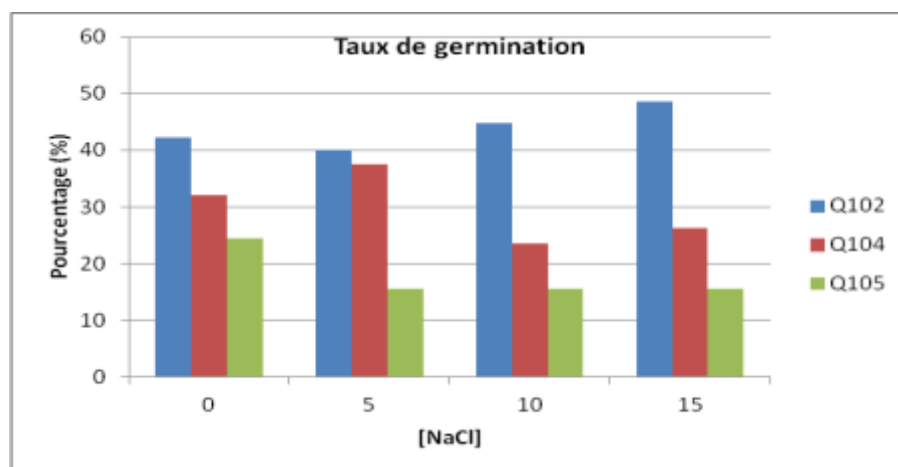
Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées. La (Figure 19) illustre les résultats comparatifs de taux de germination des variétés Q102 , Q104 et Q105 sous différents niveaux de sel, la lecture des histogrammes montre le taux de germination. Pour analyser ces résultats, nous pouvons d'abord observer les tendances générales de germination pour chaque variété de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

Pour la variété Q102, nous observons une augmentation progressive du taux de germination avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Le taux de germination passe de 40% à 45% et atteint 48% pour les concentrations de 0, 10 et 15 g/l respectivement.

Pour la variété Q104, le taux de germination semble diminuer légèrement avec l'augmentation de la concentration en NaCl. Le taux de germination est de 33% à 37% et atteint 26% pour les concentrations de 0, 5 et 15 g/l respectivement.

Enfin, pour la variété Q105, le taux de germination diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl. Le taux de germination est de 25% à 15% et atteint 15% pour les concentrations de 0, 5 et 15 g/l respectivement.

Ces résultats suggèrent que la variété Q102 semble être la plus résistante au stress salin que les deux autres variétés Q104 et Q105 (Figure 19).



**Figure 19.** Taux de germination

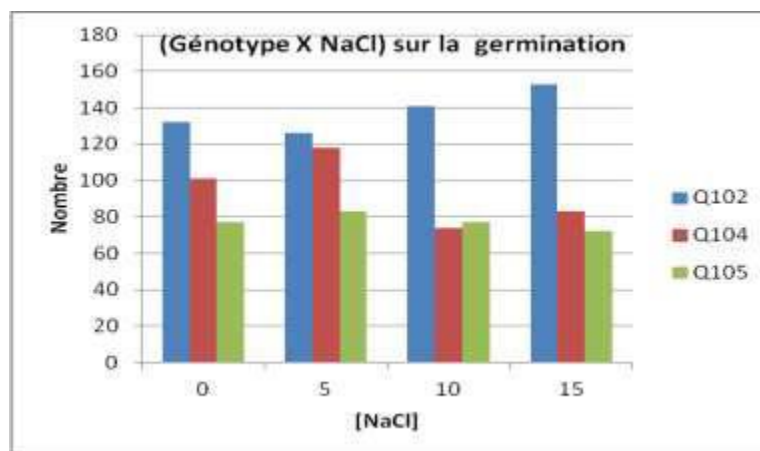
**III. 1. 2. Effet de l'interaction (Génotype x NaCl) sur la germination**

En examinant les résultats supplémentaires fournis par (Figure 20), nous pouvons maintenant analyser les interactions entre le génotype et la concentration de NaCl sur la germination des trois variétés de quinoa (Q102, Q104, Q105).

Tout d'abord, en regardant les résultats pour la variété Q102, on observe une augmentation du nombre de grains germés avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Cependant, cette augmentation n'est pas linéaire, car le nombre de grains germés diminue légèrement à une concentration de 5 g/l de NaCl, puis augmente à nouveau à des concentrations plus élevées. Cela suggère que la variété Q102 peut avoir une tolérance modérée au stress salin. En revanche, pour la variété Q104, on observe une diminution du nombre de grains germés avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Cette diminution est plus prononcée à une concentration de 10 g/l de NaCl, où le nombre de grains germés chute considérablement par rapport aux autres concentrations. Cela indique une sensibilité accrue au stress salin pour la variété Q104.

Pour la variété Q105, le nombre de grains germés reste relativement constant ou diminue légèrement avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Cela suggère également une certaine sensibilité au stress salin, bien que moins prononcée que pour la variété Q104.

En examinant les interactions entre le génotype et la concentration de NaCl, on peut voir que chaque variété réagit différemment aux différentes concentrations de NaCl. Par exemple, la variété Q102 semble avoir une réponse non linéaire au stress salin, tandis que les variétés Q104 et Q105 montrent une diminution linéaire du nombre de grains germés avec l'augmentation de la concentration de NaCl (Figure 20).



**Figure 20.** Interaction (Génotype X NaCl) sur la germination

### **III. 1. 3. Cénitique de germination**

#### **III. 1. 3. 1. Cénitique de germination de la variété Q 102**

La cinétique de la germination de la variété Q102 en fonction des différentes concentrations de NaCl allant sur une période de 7 jours (Figure 21). Dans cette figure, nous remarquons que la germination pour la variété Q102 dans les différents niveaux de stress salin commence le deuxième jour.

- En 1<sup>er</sup> Jour: Aucun grain n'a germé pour toutes les concentrations de NaCl.
- En 2<sup>ème</sup> Jour: On observe une augmentation de la germination pour toutes les concentrations, avec 3 grains germés pour la concentration de 0 g/l, 2 grains germés pour la concentration de 5 g/l, 5 grains germés pour la concentration de 10g/l et 3 grains germés pour la concentration de 15g/l.

Nous avons noté également que la plupart des jours ont enregistré des nombres des graines germe élevés depuis le deuxième jour de germination, elle varie de jour à autre où au 3<sup>ème</sup> jour : La germination continue d'augmenter pour toutes les concentrations, avec 13 grains germés pour la concentration de 0 g/l, 2 grains germés pour la concentration de 5 g/l, 9 grains germés pour la concentration de 10 g/l et 17 grains germés pour la concentration de 15 g/l.

Jour 4 : La germination continue d'augmenter, avec 16 grains germés pour la concentration de 0 g/l, 9 grains germés pour la concentration de 5g/l, 16 grains germés pour la concentration de 10g/l et 18 grains germés pour la concentration de 15g/l.

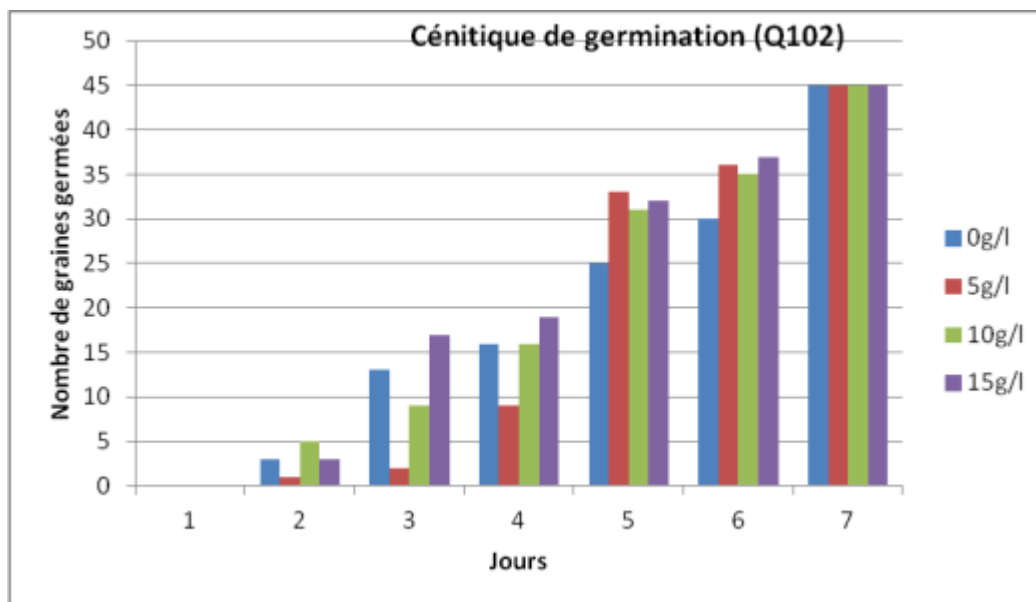
Jour 5 : On observe une augmentation plus marquée de la germination, avec 25 grains germés pour la concentration de 0g/l, 33 grains germés pour la concentration de 5g/l, 31 grains germés pour la concentration de 10g/l et 32 grains germés pour la concentration de 15g/l.

Jour 6 : La germination continue d'augmenter significativement, avec 30 grains germés pour la concentration de 0g/l, 36 grains germés pour la concentration de 5g/l, 35 grains germés pour la concentration de 10g/l et 37 grains germés pour la concentration de 15 g/l.

Jour 7 : Toutes les concentrations montrent une augmentation de la germination, avec un total de 45 grains germés pour chaque concentration.

On observe que Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées depuis le 5eme jour on peut observer que la germination continue d'augmenter progressivement au fil des jours pour toutes les concentrations de NaCl. Les données indiquent que la variété Q102

présente une capacité à germer même en présence de concentrations élevées de NaCl. ( Figure 21).



**Figure 21.** Cénitique de la germination de la variété Q102

### **III. 1. 3. 2. Cénitique de germination de la variété Q 104**

D'après les résultats illustrés par la Figure (22) qui montre les données de germination de la variété Q104 pour les différentes concentrations de NaCl sur une période de 7 jours .on remarque que :

Dans les premiers jours, le nombre de graines germées était faible et presque inexistant,

Dans le 1<sup>er</sup> Jour : Seul un grain a germé pour la concentration de 0g/l, aucun grain n'a germé pour les concentrations de 5, 10 et 15g/l.

Après observe une légère augmentation de la germination, avec 2 grains germés pour toutes les concentrations sauf 0g/l

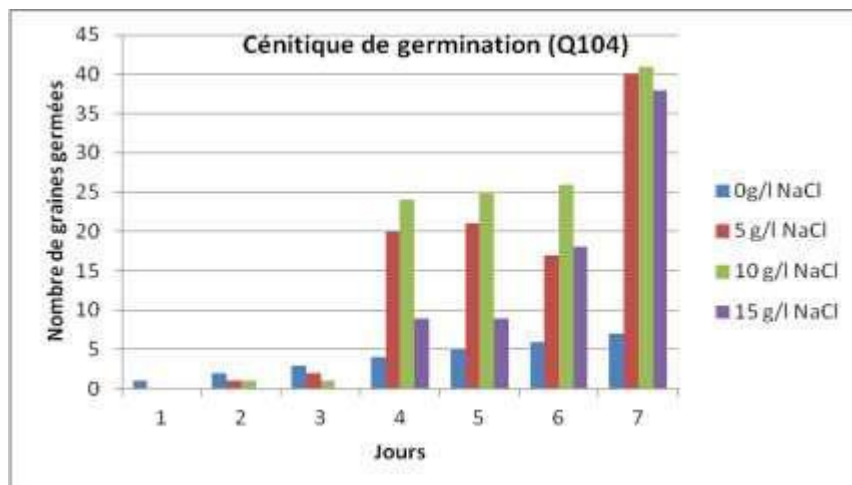
La germination continue d'augmenter mais à partir du quatrième jour, on remarque une augmentation notable du nombre et une augmentation significative de la germination, avec 4 grains germés pour la concentration de 0 g/l, 20 grains germés pour la concentration de 5g/l, 23 grains germés pour la concentration de 10g/l et 9 grains germés pour la concentration de 15g/l.

La germination atteint son maximum, un pic atteint au jour 7 avec 7 grains germés pour la concentration de 0g/l, et 40 grains germés pour les concentrations de 5, 10 et 15g/l

En comparant ces résultats avec ceux de la variété Q102, on peut constater que la variété Q104 présente une capacité de germination plus élevée dans des conditions salines, en

particulier aux concentrations plus élevées de NaCl. Cela suggère que la variété Q104 pourrait être plus adaptée à des environnements salins par rapport à la variété Q102.

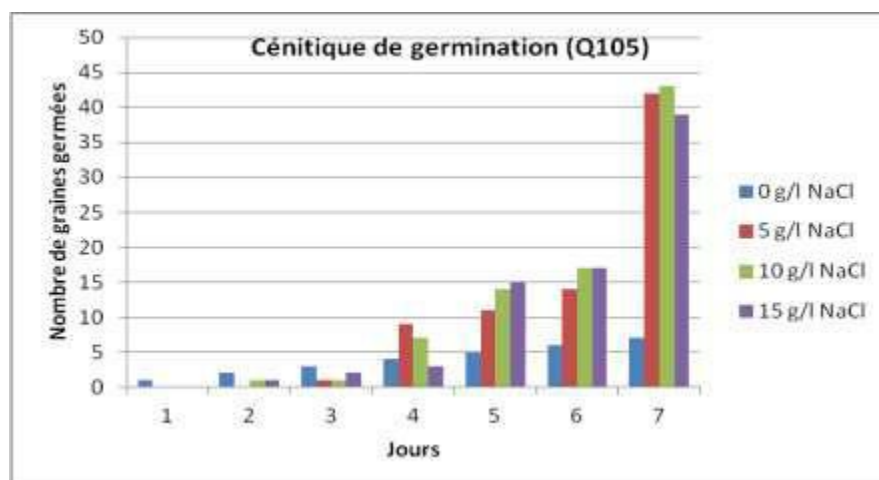
( Figure 22)



**Figure 22.** Cénitique de germination de la variété Q 104

### III. 1. 3. 3. Cénitique de germination de la variété Q 105

La variété Q105 enregistre de faibles valeurs ont été enregistrées dans toutes les concentrations de sel depuis le premier jour jusqu'à le 4<sup>ème</sup> jour, où on remarque une augmentation du nombre de graines germées à une concentration de 5g/l 10g/l et 15g/l. avec l'augmentation continue jusqu'à ce que les valeurs soient fixées et atteint son apogée au septième jour entre 34 et 42 graines germées. Avec une diminution constante enregistrée à la concentration de 0 g/l, (Figure 23).

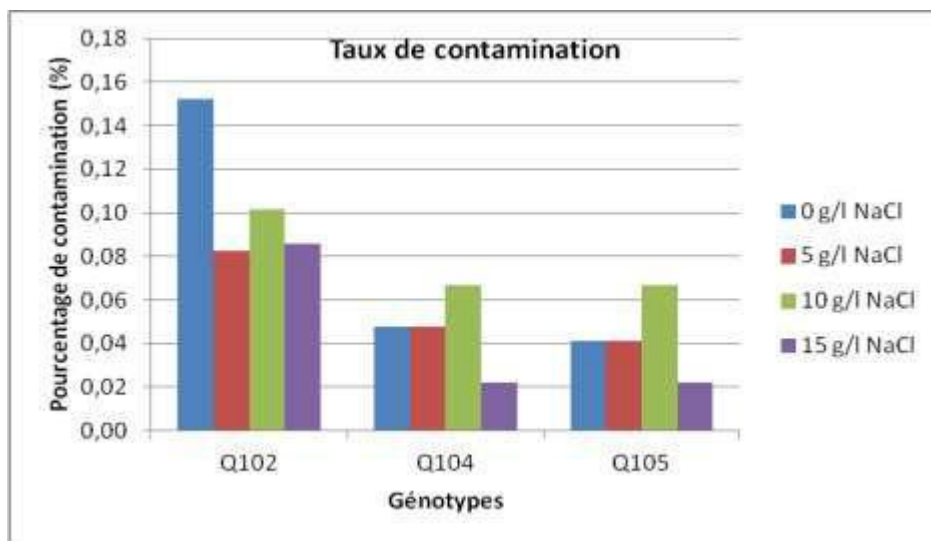


**Figure 23.** Cénitique de germination de la variété Q 105

**III. 1. 4. Taux de contamination**

Les résultats de la contamination des graines traitées (stressées) par différentes concentrations en NaCl de 3 variétés Q102 Q104 Q105 montrent que le pourcentage de contamination est plus grand chez Q102 que celui du Q104 et du Q105.

On note que le pourcentage de contamination chez Q102 est plus élevé à la concentration 0g/l et des pourcentages similaires au reste des concentrations, allant de 0,8 à 0,10 tandis chez la v Q104 et Q105, le pourcentage de contamination est inférieur à celui de Q102, où le pourcentage de contamination le plus élevé a été enregistrée à la concentration 10g/l pour les deux variétés à un taux de 0,06 (Figure 24).



**Figure 24.** Taux de contamination

**III. 1. 5. Paramètres morphologiques**

**III. 1. 5. 1. Variété Q 102**

La figure (25) présentent les résultats de l'étude de l'effet de la salinité sur le développement de la longueur des racines, la longueur des epicotyles, le nombre de racine, le nombre de feuille, la surface foliare chez la variétés (Q102) après des jours d'exposition des graines à différentes concentrations en NaCl.

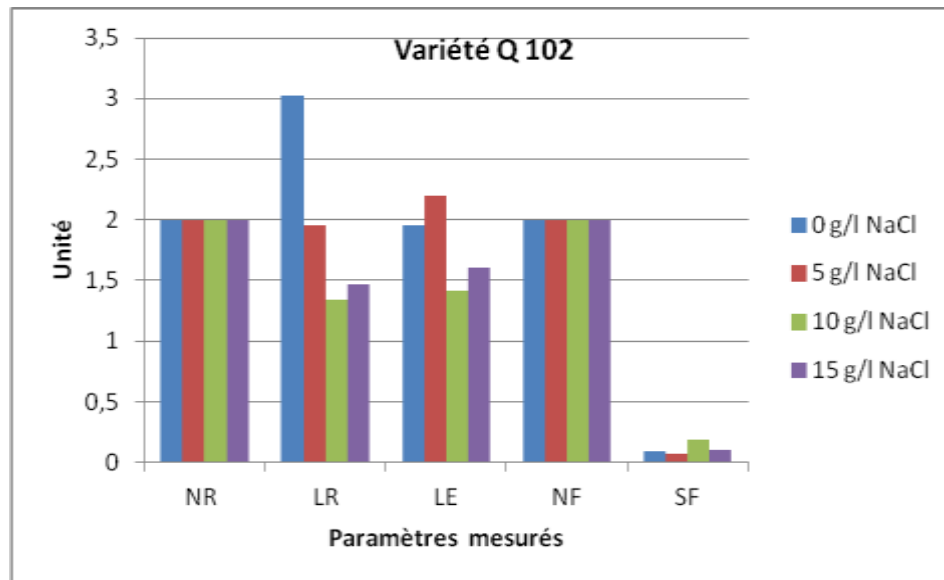
NR: Il en est de même dans toutes les concentrations 2 unités.

LR :est élevé à la concentration de 0g/l par rapport au reste des concentrations, où il enregistre 3cm puis commence à diminuer jusqu'à atteindre 1,4 unité.

LE: unite le plus élevé est à une concentration de 5 g/l 2,2 unité.

NF: est le même à toutes les concentrations 2 unités.

SF: est faible et quasi inexistant à une concentration de 0 g/l 5g/l 15g/l et 0,3 unité à une concentration de 10g/l (Figure 25).



**Figure 25** : Paramètres mesurés chez la variété Q102

[Unité = cm pour nombre de racine (NR), longueur de racine (LR) et longueur d'épicotyle (LE)] ; [Unité = chiffre pour le nombre de feuille (NF)] et [Unité = cm<sup>2</sup> pour la surface foliaire (SF)]

**III. 1. 5. 2. Variété Q 104**

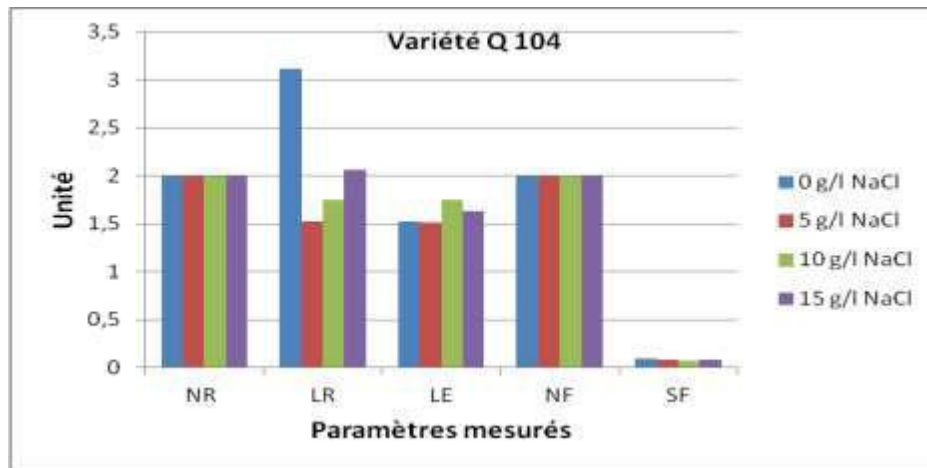
Le résultat présente les moyennes de longueur des racines et des épicotyles, Nombre de racine, nombre de feuille surface foliaire pour la variété Q104 dans différentes concentrations salines (0, 5, 10, 15). En analysant les données (Figure 26). Il est à signaler que la variété Q104 présente une longueur moyenne des racines égale à 2 Unités.

LR : est élevée à la concentration de 0g/l et 15g/l par rapport au reste des concentrations, où il enregistre 3 unités et 2 unités.

LE: l'unité la plus élevée est à une concentration de 10 g/l 1,7 unité.

NF: est le même à toutes les concentrations 2 unités.

SF: est faible et quasi inexistant à une concentration de 0g/l, 5g/l, 10g/l, 15g/l à une concentration de 0,1 unité (Figure 26).

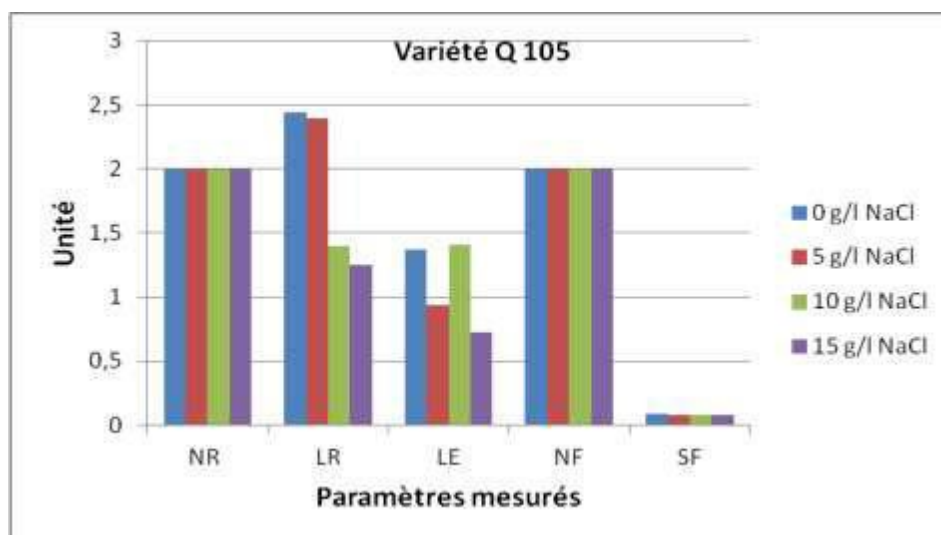


**Figure 26 :** Paramètres mesurées chez la variété Q104

[Unité = cm pour nombre de racine (NR), longueur de racine (LR) et longueur d'épicotyle (LE)] ; [Unité = chiffre pour le nombre de feuille (NF)] et [Unité = cm<sup>2</sup> pour la surface foliaire (SF)]

**III. 1. 5. 3. Variété Q 105**

Pour la variété Q105, les résultats obtenus sont enregistrés dans la (Figure 27). Le nombre de racines est constant à 2 unités pour toutes les concentrations. La longueur des racines est plus élevée aux concentrations de 0g/l et 5g/l, avec 2.4 unités par rapport aux autres concentrations. Pour la longueur des épicotyles, la concentration de 0g/l et 10g/l montre la valeur la plus élevée à 1,4 unité. Le nombre de feuilles reste constant à 2 unités pour toutes les concentrations. Enfin, la surface foliaire est très faible voire inexistante pour les concentrations de 0g/l, 5g/l, 10g/l et 15g/l, avec une valeur de 0,1 unité (Figure 27).



**Figure 27:** Paramètres mesurés chez la variété Q105

[Unité = cm pour nombre de racine (NR), longueur de racine (LR) et longueur d'épicotyle (LE)] ; [Unité = chiffre pour le nombre de feuille (NF)] et [Unité = cm<sup>2</sup> pour la surface foliaire (SF)].

### **III. 2. Discussion**

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et la détermination d'une production agricole réussie (**Benidire et al., 2015**).

Pendant la germination, l'émergence de la radicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire (**Hajlaoui et al., 2007**).

La germination est une phase physiologique pendant laquelle la graine passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie active (**Caboche et al.1998**). Elle est définie comme la somme des évènements qui conduisent la graine sèche à germer. Cela commence par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine (**Othman, 2005**) et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon (**Shereena et Nabeesa, 2006**). La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques ainsi que par les conditions environnementales (**Ndaur et Danthu, 1998**). Parmi les facteurs de l'environnement, le stress de toutes sortes du milieu de germination constitue des paramètres déterminants, sur lesquels repose la réalisation des différentes étapes de la germination.

Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées (**Bennaceur, 2001 In : Camara et al., 2018**). Alors que **Prado et al., (2000)** dans leurs étude ont établi que le niveau de salinité a retardé le début de la germination chez *Chenopodium quinoa*, mais n'a pas affecté le pourcentage de germination finale.

Notre étude a révélé un comportement variable vis à vis des différents traitements au chlorure de sodium appliquées chez les trois variétés de graines. Ainsi, il ressort que les graines de variétés Q102 tolérantes à la salinité, ceci est claire dans les résultats obtenus dans l'interaction (Génotype X NaCl) sur la germination par rapport aux autres varities, à savoir, Q104 et Q105 respectivement.

Sous stress salin, le taux final de germination ne change pas beaucoup, mais le temps de germination s'allonge avec l'augmentation de la concentration du NaCl, des résultats similaires ont été observés chez de nombreuses espèces végétales (**Demir et al., 2003; Khajeh-Hosseni et al., 2003; Okcu et al., 2005; Kaya et al., 2006; Djerroudi ,**

2017). Ces auteurs ont démontré que le potentiel osmotique dû au NaCl affecte l'absorption de l'eau et le temps moyen de germination, mais pas le taux final de germination.

Suite aux résultats obtenus, nous avons montré que la concentration de NaCl dans les milieux influe sur le comportement germinatif qui se traduit par une diminution du taux de germination final.

Les graines de quinoa sont capables de germer dans un milieu enrichi en sel jusqu'à 15g/l pour les trois variétés. Nos résultats sont en accord avec ceux de (Rjeibi et al., 2015) qui ont travaillé sur l'effet de l'irrigation des eaux salées sur une culture de quinoa et ont montré que les graines de quinoa sont capables de germer dans un milieu enrichi en sel, la variété Q102 est plus tolérante que la variété Q104 et Q105 lorsque les graines sont traitées. Également avec du NaCl allant 15g/l.

Plusieurs auteurs ont également rapporté que le quinoa peut germer dans les conditions de stress élevé (Ruiz-Carrasco et al., 2011 ; Brakez, El Brik et al., 2013). Toutefois la réponse de quinoa au stress salin est variable, elle est fonction des concentrations étudiées.

La cénitique de germination, est proportionnellement inversée par rapport à la concentration en sel ; elle diminue avec l'augmentation de la concentration en NaCl. La variété Q105 donne les valeurs les plus faibles pour ce paramètre. Ce retard pourrait être dû selon Prado et al., (2000) à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine. Il pourrait s'agir également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à une pression osmotique élevée entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines.

Notre expérience au début n'a pas été achevée vu le problème rencontré lors de la culture, à savoir, une contamination fongique du milieu de culture visible à l'œil nu à travers des spots blanchâtres, mais la situation a vite été sous contrôle et nous avons récupéré les graines non infectées et les avons placées dans des bocaux pour poursuivre leur germination jusqu'à ce qu'elles deviennent des plantules. Pour étudier les mesures et les paramètres. Cela ne nous empêche pas d'étudier le taux de contamination au début de l'expérimentation comme complément pour savoir quel type est le plus sensible à la contamination. Parmi les trois types étudiés et utilisés dans notre expérience.

Dans notre étude on observe par les résultats obtenus de taux de contamination selon les différents géotypes la variété la plus touchée et sensible de contamination c'est

Q102. Cela montre clairement que le type a un effet sur le taux de contamination des grains. Donc on peut dire que La variété de la plante utilisée peut également jouer un rôle dans la sensibilité à la contamination fongique. Certaines variétés de plantes peuvent être plus sujettes aux infections fongiques que d'autres en raison de leur génétique ou de leur sensibilité aux conditions environnementales. De plus, la chambre de culture elle-même peut être un facteur contributif. Une mauvaise circulation de l'air, un excès d'humidité ou des conditions de température non optimales peuvent favoriser le développement de moisissures et de champignons. Pour cela Il est essentiel de choisir des variétés résistantes aux maladies fongiques et de maintenir des conditions de culture propres et contrôlées pour minimiser les risques de contamination.

Finalement Sur le plan morphologique pour la longueur de la racine et d'épicotyles nous avons noté une différence pour ce paramètre de croissance, par contre pour les autres paramètres (taux de germination final nombre des racines et nombre de feuilles). Pour notre étude Les résultats montrent que la variété Q105 est la variété la plus sensible au sel mais pour ce paramètre l'analyse de variance regroupe la variété Q105 et la variété Q102 et Q104 dans le même groupe c'est à dire l'effet de sel impacte de même façon presque sur les trois variétés. Ainsi, on peut dire qu'il est possible que l'effet de sel n'apparaisse pas au stade de la germination, mais elle affecte le stade de croissance.

Donc morphologiquement, l'effet du sel exprime une influence variée sur les Mesures biométriques étudiée (LR, LE, SF), leur croissance est réduite, et cette réduction s'accroît par l'augmentation du niveau du stress salin quand la concentration de salinité augmente, il diminue la longueur de racine, de l'épicotyle et surface foliaire, et cela apparaît clairement dans la variété Q105 ce que montrent que la variété influe sur leur croissance. Une telle situation pourrait s'expliquer par le fait que le stress salin peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la croissance dû à l'effet toxique d'excès d'ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , ce qui affecte considérablement la croissance du système racinaire (**Hajlaoui et al., 2007**).

L'effet de la salinité sur la longueur des de l'épicotyle enregistrée était non significatif avec un effet très claire, ce qui ne collabore pas avec les travaux de (**Rjeibi et al., 2015**) qui ont, au contraire montrés un effet dépressif du sel sur les organes aériens du quinoa lorsqu'elles sont stressées durant trois semaines à la salinité croissante (0, 100, 250 et 400mM de NaCl).

Selon, (**Haridia et al., 2011**). La bonne croissance de la partie arienne des plantes, suggère l'existence d'un système très efficace pour assurer leurs ajustements osmotiques en présence de sel. L'augmentation modérée de la partie aérienne observée chez la variété Q102 est probablement discutée par la courte durée de l'application de stress, ou bien c'est probablement dû à une adaptation de survie des jeunes Plantules. Par contre, la réduction de la croissance au niveau racinaire en condition de stress selon (**Zhu, 2004**), est due à une adaptation nécessaire à la survie, résultante d'une accumulation de l'énergie et des ressources pour combattre le stress.

Les résultats ont révélé que la germination de *Chenopodium quinoa* Willd., n'était pas affectée par la faible salinité dans le milieu. Le niveau de salinité de haute salinité dans cette étude a retardé le début de la germination chez (*C. quinoa*), mais n'a pas affecté le pourcentage de germination finale. Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus par Prado et al. (2000). Ces auteurs ont constaté que le taux de germination final des graines de *Chenopodium quinoa* était maximum de contrôle et était égal à celui de 0,1mM et 0,2mM de NaCl. Ils ont également constaté que la germination était légèrement retardée de 0,1mM de NaCl et fortement de 0,2mM, 0,3mM et 0,4mM de NaCl.

## **Conclusion et perspectives**

Cette étude a été menée pour étudier l'effet du stress salin sur trois variétés de quinoa (Q102, Q104, Q105). Nous avons étudié plusieurs paramètres, à savoir, le taux de germination, la cinétique de germination, le taux de contamination, la longueur des racines et des épicotyles et la surface foliaire. Les résultats obtenus ont montré que la salinité n'affectait pas la germination des graines des variétés étudiées (Q102 Q104 Q105), et nous avons enregistré une légère variation entre les variétés étudiées. La variété Q102, est la plus tolérante, suivie du quinoa Q104, et en dernière position le Q105.

La germination des variétés de quinoa étudiées, selon les résultats obtenus montrent que les valeurs moyennes journalières de la germination sont semblables pour toutes les concentrations salines étudiées et avec la majorité des variétés étudiées. Généralement, les variétés de quinoa étudiées ont montré une tolérance remarquable au stress salin.

En perspectives, nous recommandons l'importance de comprendre les réponses des plantes au stress salin, en particulier pour une espèce comme le quinoa, souvent cultivée dans des régions arides et salines, en identifiant les mécanismes moléculaires et physiologiques sous-jacents à la tolérance à ce type de stress. Cette recherche ouvre la voie au développement de variétés de quinoa plus résistantes et capables de prospérer dans des environnements difficiles.

## Références Bibliographiques

### A

- Arous** (2009). Métabolisme des protéines et des glucides chez quelques variétés d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) sous stress salin au stade de germination. Thèse de magister Université d'Oran 1, p.7-8
- Anonyme** (2013). Quinoa\_2013\_Année internationale. Retrieved from FAO: Répartition Et production.website: Répartition et production- Année internationale du quinoa 2013 (fao.org)

### B

- Boyko, A., Kovalchuk, I.** (2011). Genome instability and epigenetic modification-- heritable responses to environmental stress *Curr Opin Plant Biol* .266p.
- Benmoussa, F. Z., Tama, R.** (2021). Memoire de master. Effets de la salinité sur la germination et la croissance post germinative de quatre variétés de quinoa Université kasdi Merbah Ouargla. 50p.
- Benidire, L., Daoui, K., Fatemi, Z. A., Achouak, W., Bouarab, L., Oufdou, K.** (2015). Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de (*Vicia faba* L. ) : Effect of salt stress on germination and seedling of (*Vicia faba* L.). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(3), 840-851.
- Brakez, M., Harrouni, M. C., Tachbib, N., Daoud, S.** (2014). Comparative effect of NaCl and seawater on germination of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*,1091-1096.

### C

- Clicours, A.** (2021). Le stress chez les plantes. Retrieved April 21, 2024,from Documents pour tous web site: <https://www.clicours.com/les-stress-chez-les-plantes/>
- COME, D.** (1970). Les obstacles à la germination. Collection " monographie et physiologie végétale". Masson. Paris. 162 p.
- Camara, B., Sanogo, S., Cherif, M., Kone, D.** (2018)."Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*)." *Journal of Applied Biosciences* 124: 12424-12432
- Carrasco, K, Antognoni, F, Coulibaly A. K, Lizardi S, Covarrubias A, Martinez E.A, Molina- Montenegro M.A, Biondi S, Zurita-Silva A.** (2011).Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as

assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression.  
*Plant Physiology and Biochemistry* 49,1333–1341

**D**

**Derradji, H.** (2020). Memoire de master. L'effet de salinité sur la germination de Quelques variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Université Mohamed Khider de Biskra. P.7

**Dubey, U., Srinivas, K., Navya, L.** (2015). Analysing the Value Chain of Quinoa: A Case Study of Quinoa- the Queen to be. *FIIB Business Review*. Volume 4, Issue 4, October - December 2015.p. 31

**H**

**Herbillon, M.** (2015). Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Rouen U. F. R. de Médecine et de Pharmacie. France, pp: 27 - 65

**Hajlaoui, H., Denden, M., Bouslama, M.** (2007). Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, 25(3), 168-173.

**K**

**Karmous, C.** (2007). Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Aspects physiologiques, biochimique et moléculaire. Thèse de Doctorat en agronomie et science de la production végétale. INRAT., Tunis, 211p.

**Kalaji, H., pietkiewitz, S.** (1993). Salinity effect on plant growth and other physiological processes. 124p.

**Kadi, Z.** (2012). Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. Thèse de Doctorat en Science. Université Ferhat Abbas-Sétif-1, 126p.

**L**

**Levitt, j.** (1980). Responses of plants to environmental stresses. *New york: Academic Press*. 365p

**Lichtenthaler, H. K.** (1996). Vegetation Stress: An Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology*, 148, 4-14

**Lebonvallet, S.** (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano bolivien. Thèse de Doctorat, *Agro Paris Tech*, France, pp.125-127.

**M**

**Mujica, Á., Izquierdo, J., Marathee, J. P., Capítulo, I.** (2001). Origen y descripción de la quinua. (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. *FAO*, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, pp: 9 - 29.

**Mansour, Sh.** (2020). The Economics study of Quinoa Production to Reduce Food Poverty Gap in New Valley Governorate – Egypt. In: *EPH - International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 39p.

**Morita, N., Hirata, Ch., Park, S. H ., Mitsunaga, T.** (2001). Quinoa Flour as New Food Stuff for Improving Dough and Bread. *Journal of Applied Glycoscience*. 270 p.

**Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdelguerfi, A.** (2008). Morphological and Growth Characteristics of Perennial Grass Cultivars Grown under Semi-Arid Conditions of the Algerian High Plateaus. *Journal of Agronomy* in: researchgate. 147p.

**N**

**Ndour, P., Danthu, P.** (2000). Effects of salinity on the germination of some African Acacias. L'acacia au Sénégal. Actes de la réunion thématique sur l'acacia au Sénégal. - Edited by **C. Campa., C. Grignon., M. Gueye ., S. Hamon.** Dakar, Senegal, Collected by ORSTOM, *French Institute of Scientific Research for Cooperative Development*, Paris, France. pp. 105-122.

**Ndaur, P., Danthu, P.** (1998). Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. L'acacia au Sénégal. pp.105-122.

**O**

**Orcutt, D. M., Nilsen, E.T.** (2000). The Physiology of Plants under Stress Soil and Biotic Factors. *John Wiley and Sons Inc.*, New York, 680 p.

**P**

**Prado, F. E., Boero, C., Gallarodo, M., Gonzalez, J. A.** (2000). Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in (*Chenopodium quinoa* willd ) seeds. *Bot Bull Acad Sinica* 41:27–34

**R**

**Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., Padulosi** (editores) (2010). Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. 172p.

**Rahal, B. H., Chedjerat, A. Laaboudi, A.** (2020). Tests conducted at INRAA in saline region of Hmadna (Relizane) and arid region of Adrar, Quinoa in Algeria. p : 07- 09.

**Rjeibi, W., Kahlaoui, B., Hachicha, M.** (2015). Effet de l'irrigation des eaux salées sur une culture de quinoa réponses du quinoa aux contraintes hydriques. Editions Universitaires Européennes, 138p.

**T**

**TEBRI, M.** (2019). Effet de déficit hydrique régulé sur la production d'une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) dans la région de Biskra, Memoire de Master en Sciences agronomiques. Université Mohamed Khider de Biskra .pp: 23- 25

**Tanaka, T., Saito, Y., Shigemitsu, K., Morita, S., Satoh, S., Masumura, T.** (2010). Ultrastructure of mature protein body in the starchy endosperm of dry cereal grain. *Biosci Biotechnol Biochem.* 1478p.

**W**

**Wilfredo, R., José, L. S., Enrique, C.** (2004). Study on the social, environmental and economic impacts of quinoa promotion in Bolivia. Article in: Fondation PROINPA. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). *Quinoa*. [online] Available at: <https://www.fao.org/quinoa/en/>.

**Z**

**Zhu, J-K.** (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants Department of Plant Sciences, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA. Published in: *Annual Review of Plant Biology*, 53: 247-273.

**Zhu, J-K.** (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66–71. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)01838-0)