

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE
N° :.....



DOMAINE : SNV
FILIERE : Sciences agronomiques
OPTION : Production végétale

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : DILMI Khoulood
MARHOUNE Soulef

Intitulé

**Effet de la salinité sur la Germination et la croissance de
quelques variétés de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)
introduites et cultivées en Algérie**

Soutenu devant le jury composé de:

M ^r GUENDOUZEN O.	Université de M'sila	MAA	Président
M ^r KADRI A.	Université de M'sila	MCB	Promoteur
M ^{elle} BAKIRI N.	Université de M'sila	MAA	Examinatrice

Année universitaire :2018/2019

Dédicaces

Louange à Allah tout puissant, pour sa miséricorde. C'est lui qui nous a créé, c'est lui qui nous a donné le savoir, c'est grâce à lui que le fruit de mon travail est entre vos mains et je le dédie à :

❖ aux deux plus chères personnes de ma vie, À mon *Père* précieux

À ma très chère *Maman*, laisse-moi te témoigner ma profonde gratitude à travers ce modeste travail.

❖ À mes sœurs adorées *Loubna* et *Dounia* , je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

❖ À mes adorables frères, *Moustafa* et *Mourdasse* que Dieu vous bénisse et comble votre vie de bonheur et de réussite.

❖ À toutes ma famille *MARHOUNE* et *MAHDI*

❖ À mon binôme dans ce travaille *Khouloud*, Merci pour tous les moments que nous avons passé ensemble, pour nos éclats de rire et notre complicité. Je profite de cette occasion pour vous dire que je vous aime beaucoup et j'espère que vous trouverez votre bonheur dans les années à venir

❖ À ma sœur et ami *Hayette* j'espère que tu trouveras le bonheur et la bonne chance pendant toute la vie.

❖ À toute mes collègues le long de mes études promotion de master de la production végétale **BDV** Merci pour l'ambiance, je vous aime tous.

❖ Pour celui aime *Soulef* Regarde-moi, je suis heureuse, parce que tu existes dans ma vie A tous ceux qui me sont chers Je dédie ce travail Dans la vie.

Soulef

Dédicaces

**Louange à Allah tout puissant, de m'avoir donné la force et le courage de mener
à bien ce modeste travail et je le dédie à :**

Mes parents les plus chers en ma vie À mon *père* précieux

À *Maman* ma vie et la plus merveilleuse de toutes les femmes au monde,

Pour tous les sacrifices qu'ils consentirent durant toute ma vie.

À mes adorables frères: *FOUAD, KHALIL*, j'ils souhaitent une vie pleine de bonheur et de réussite.

À les femmes de mes frères: *SIHAM, WASSILA*.

À les enfants de mes frères: *ADEM, ASSIL* et À Petite belle fille : *ILINE*

À ma chers sœur adorées *NADIRA* et son marie *MOHAMED* et leurs enfants *AHMED, Youssef, MOUSTAFA, RAYEN*, je nous souhaite une vie pleine de bonheur.

À mes tout familles *DILMI*

À mon binôme dans cette travaille et mon chères amie *SOULEF*, Merci pour tous ce temps que nous avons passé ensemble. Je profite de cette occasion pour vous dire que je vous aime beaucoup et Je te souhaite du succès et du bonheur dans ta vie.

À tout mes amis ma vie surtout *IMENE*.

À toute mes collègues le long de mes études et toute la promotion de master de la production végétale (BDV) de l'année universitaire 2018/2019.

KHOUCUD



Remerciement

Tous nos remerciements vont d'abord à Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ce travail de thèse a atteint son terme grâce à l'assistance et à la collaboration de nombreuses personnes. Nous profitons de cette occasion de gratitude et de reconnaissance pour remercier tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur, monsieur **KADRI Adel** pour avoir accepté d'encadrer ce travail, ainsi que pour sa gentillesse, ses conseils constructifs, son attention, son dévouement, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de travail. Que Dieu vous récompense et te donne santé, merci et mille mercis.

Nous adressons aussi nos plus vifs et ardents remerciements à **Mr. GUENDOZEN Omar** pour avoir bien voulu présider le jury.

Nous tenons également à remercier **Mme. BAKIRI Nouara** qui a bien voulu nous honorer de sa présence dans ce jury et d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tout le personnel du laboratoire pour leur précieuse aide et leur compréhension.

Nos remerciements vont également au staff de l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS) de Biskra qui nous ont fourni les semences.

Nos remerciements vont aussi à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

• LISTE DES ABREVIATIONS

- **ACP** : Analyse en Composantes Principale.
- **CAH** : Classification Ascendante Hiérarchique.
- **CE** : Conductivité électrique.
- **CELSS** : Système de soutien à la vie écologique contrôlé de la NASA.
- **C.M** : Carré Moyen
- **D.D.L** : Degré de liberté
- **DIM** : Dimension
- **F.A.O**: Food and Agriculture Organization.
- **HS** : Hautement significatif.
- **I.T.D.A.S** : Institut Technique de Développement d'Agriculture Saharienne.
- **ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.
- **INRAA** : Institut Nationale de Recherche Agronomique d'Algérie.
- **INRF** : l'Institut Nationale de Recherche Forestière.
- **Kg** : kilogramme.
- **LEP** : Longueur de l'épicotyle.
- **LRD** : Longueur de la racine.
- **LPA** : La longueur de la partie aérienne.
- **LPR** : La longueur de la partie racinaire.
- **mm** : millimètre.
- **Mm** : Milli mole.
- **MDG** : Moyenne journalière de Germination.
- **MO** : Matière organique.
- **NaCl** : Chlorure de sodium.
- **NED** : Nombre d'entre nœud.
- **NF** : Nombre des feuilles.
- **NS** : Non significatif.
- **PFA** : Poids frais aérienne.
- **PFR** : Poids frais racinaire.
- **PG** : Précocité de germination.
- **PSA** : Poids sec aérienne.
- **PSF** : Poids spécifique foliaire.

- **PSR** : Poids secs racinaire.
- **pH** : Potentiel hydrogène.
- **PRE** : Précocité de germination.
- **r** : Coefficient de corrélation.
- **SIGN** : Signification
- **S.C.E** : Somme des Carrés des Ecart
- **Sign** : Signification.
- **Fig** : Figure.
- **Tab** : Tableau.
- **TG**: Taux de germination.
- **T** : Traitement.
- **V** : Variété.
- **Var** : Variance
- **VG** : Vitesse de germination.

Liste des tableaux

Tableau N°01 : Comparaison entre la composition des graines de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche).....	19
Tableau n°02 : les variétés expérimentées dans les deux essais.....	33
Tableau n°03 : composition des solutions salines (première essai)	35
Tableau n°04 : composition des solutions salines (deuxième essai).....	41
Tableau n°05 : l'analyse de la salinité du substrat.	42
Tableau n°06 : Analyse de variance de taux de germination final (TGF).....	46
Tableau n°07 : Analyse de variance pour la longueur de la racine	48
Tableau n°08 : Analyse de variance de moyenne journalière de germination.....	51
Tableau n°09 : Analyse de variance pour la précocité de germination.....	52
Tableau n°10: Analyse de variance pour la longueur de l'épicotyle.....	53
Tableau n°11: Analyse de variance de vitesse de germination.....	54
Tableau n°12 : Analyse de variance pour la longueur la partie aérienne.....	56
Tableau n°13 : Analyse de variance pour la longueur de la partie racinaire.....	58
Tableau n°14 : Analyse de la variance pour le nombre de feuilles par plante.....	59
Tableau n°15 : Analyse de la variance pour le nombre d'entre nœuds.....	60
Tableau n°16 : Analyse de la variance pour le poids frais aérienne (PFA).....	61
Tableau n°17 : Analyse de la variance du poids frais racinaire (PFR).....	62
Tableau n°18 : Analyse de la variance du poids sec aérien (PSA).....	63
Tableau n°19 : Analyse de la variance du poids sec racinaire (PSR).....	64
Tableau n°20 : Valeurs propres avec le pourcentage de variabilité et le pourcentage cumulé porté sur chaque axe.....	66
Tableau n°21 : Qualité de représentation des variables étudiées.....	67
Tableau n°22 : Qualité de représentation des individus (variétés) étudiées.....	67

Liste des figures

Figure 01 : Répartition mondiale de la production de quinoa.....	5
Figure 02 : Culture de Quinoa en Bolivie.....	7
Figure 03 : Schéma de plante de quinoa	7
Figure 04 : Feuille de quinoa.....	9
Figure 05 : Gros plan des têtes de fleurs de quinoa.....	9
Figure 06 : Vue ventrale du fruit du quinoa au microscope électronique de balayage.....	10
Figure 07 : Illustration de la graine de quinoa en coupe transversale.....	11
Figure 08 : Grains de quinoa blanc (A) et jaune (B).....	11
Figure 09 : Phénologie du quinoa.....	12
Figure 10 : Les plantes de quinoa récoltés	14
Figure 11 : Différentes variétés de quinoa.....	15
Figure 12 : Attaque de puceron sur quinoa	23
Figure 13 : Production de quinoa dans les sols salins.....	25
Figure 14 : Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano.....	25
Figure 15 : Les graines des différentes variétés de quinoa étudiées.....	34
Figure 16 : Préparation des quatre solutions salines à partir de l'eau distillée et du chlorure de sodium NaCl.....	35
Figure 17 : Test de germination du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> willd) dans l'incubateur.....	36
Figure 18 : Mesure de la longueur racinaire du quinoa par pied à coulisse.....	38
Figure 19 : les premières graines germées après 24 h du semis.....	39
Figure 20 : l'épicotyle de la graine de quinoa.....	40

Figure 21 : Disposition de l'essai dans la chambre de culture.....	41
Figure 22 : Les pots en plastique remplis par des quantités égales d'un mélange de sable et de terreau industrielle.....	42
Figure 23 : semis des graines et étiquetage des gobelets.....	43
Figure 24 : stade d'application du stress salin sur la plante de quinoa.....	43
Figure 25 : Mesure le poids frais de quinoa.....	44
Figure 26 : Etuvage des parties aériennes et partie racinaires de quinoa dans une étuve.....	45
Figure 27 : Variation du taux de germination finale des différentes variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress salin.....	47
Figure 28 : Effets de différentes concentrations de nacl sur la cinétique de germination du quinoa.....	48
Figure 29 : Variation de la longueur de la racicule chez six variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.....	49
Figure 30: Effet de salinité sur la longueur raculaire des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines.....	49
Figure 31 : Effets de différentes concentrations de nacl sur la cinétique de croissance raculaire du quinoa.....	50
Figure 32 : Moyenne journalière de germination de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.....	51
Figure 33 : Précocité de germination des graines de Quinoa étudiées en fonction de la concentration en NaCl.....	53
Figure 34 : la longueur de l'épicotyle en fonction de la concentration en NaCl.....	54
Figure 35 : la vitesse de germination en fonction des variétés de Quinoa et des traitements salins.....	55
Figure 36 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour la longueur foliaire (LPA).....	56
Figure 37 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour la longueur de partie racinaire (LPR).....	58

Figure 38 : Effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire et aérienne de six variétés de quinoa cultivées en pots (photo original).....	58
Figure 39 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le nombre de feuilles par plante (NF).....	59
Figure 40 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le nombre d'entre nœuds (NEN).....	60
Figure 41 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids frais aérien (PFA).....	61
Figure 42 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids frais racinaire (PFR).....	62
Figure 43 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids sec aérien (PSA).....	63
Figure 44 : Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids sec racinaire (PSR).....	64
Figure 45 : Matrice des corrélations entre les différentes variables étudiées.....	65
Figure 46 : Graphe des individus et cercle des corrélations du plan 1-2.....	68
Figure 47 : la classification hiérarchique ascendante (CAH) pour les variétés de quinoa étudiées.....	69

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Partie I: Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur le quinoa

1. Origine et historique.....	4
2. Importance et distribution du quinoa dans le monde	4
2. 1. Dans le monde.....	5
2. 2. En Algérie.....	5
3. Classification botanique.....	5
4. Description taxonomique de la plante.....	6
4. 1. La Plante.....	7
4. 2. La racine.....	8
4. 3. La tige	8
4. 4. Les feuilles.....	8
4. 5. Les fleurs.....	9
4. 6. Les fruits.....	9
4. 7. Les graines.....	10
5. Stades phonologiques du quinoa.....	11
5.1. Levée	12
5.2. Deux feuilles vraies	12

5.3. Quatre feuilles vraies	12
5. 4. Six feuilles vraies	13
5.5. Ramification.....	13
5.6. Début de formation de la panicule.....	13
5.7. Panicule.....	13
5.8. Début de floraison.....	13
5. 9.Floraison.....	13
5.10. Grain laiteux.....	13
5. 11.Grain pâteux.....	13
5.12. Maturité physiologique.....	14
6. Variété du quinoa.....	14
7. Biodiversité chez le quinoa.....	16
8. Les intérêts et utilisations du quinoa.....	16
8. 1. Dans l'alimentation humaine.....	16
8. 2. Alimentation animale.....	16
8. 3.Médicament.....	17
8. 4.Industrielle.....	17
8. 5.Industrie alimentaire.....	17
8. 6.Intérêt agronomique.....	18
8. 7. Plantes d'ornement.....	18
8. 8. Lutte contre les insectes.....	18
8. 9. Autres utilisations.....	18
9. valeur nutritive du quinoa.....	18
10. Exigences culturales du quinoa.....	19
10.1. Agro écologie du quinoa.....	19

10. 2. Besoins des cultures.....	20
10. 2.1.Sol	20
10. 2.2.pH.....	20
10. 2.3.Climat.....	20
10. 2.4.Eau	20
10. 2.5. Température	21
10. 2.6 L'altitude.....	21
10. 2.7.Photopériode.....	21
10. 3. Préparation du sol.....	21
10. 3.1. Rotation des cultures.....	22
10. 4. Semis.....	22
10. 5. Fertilisation.....	22
10. 6. .Mauvaises herbes et contributions.....	22
10. 7. Désherbage.....	23
10. 8. Lutte antiparasitaire et maladies.....	23
10. 9. Récolte.....	23
11. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques.....	24
11. 1. Importance de la résistance aux facteurs négatifs.....	24
11. 1.1.résistance à la sécheresse.....	24
11. 1.2. Résistance du quinoa au froid.....	24
11. 1.3.Résistance du quinoa aux sels.....	24
11. 1.4. Résistance au vent, la neige et la grêle.....	25

Chapitre II : Généralité sur la salinité

1. Qu'est ce qu'un stress ?.....	26
1.1. Le stress abiotique.....	26
1.1 .1. Le stress hydrique.....	26
1.1 .2. Le stress thermique.....	26
1.1 .3. Le stress salin.....	27
1.2. Le stress biotique.....	27
2. La salinisation des sols	27
2.1. Salinisation primaire.....	28
2.2. Salinisation secondaire.....	28
3. Problème de salinité.....	29
4. Effet de la salinité et le stress salin sur les plantes.....	30
5. Effets de la salinité sur la physiologie des plantes.....	30
5. 1. Sur la germination.....	30
5. 2. Sur la croissance et le développement.....	31
6. Mécanismes d'adaptation de la plante au stress salin et la salinité.....	31
6.1. Inclusion	31
6.2. Exclusion	31
6.3. L'ajustement osmotique.....	32
7. Comportement du quinoa vis-à-vis du stress salin.....	32

Partie II : Matériel et méthodes

Matériels et Méthodes.....	33
A / Matériel végétal.....	33
B/ Objectif de l'essai	34
1. Premier essai.....	34
1.1. Méthodes de travail.....	34
1.1.1 Préparation des solutions.....	34
1.1.2. Déroulement de l'essai.....	35
1.1.3. Protocole expérimental.....	36
1.1.4. Les paramètres étudiés.....	37
A/Taux de germination finale	37
B / Cinétique de germination.....	38
C/ Longueur de la racicule.....	38
D/ Cinétique de croissance racinaire.....	38
E/ Moyenne journalière de germination	39
F/ Vitesse de germination.....	39
G/Précocité de germination.....	39
H. Longueur de l'épicotyle.....	40
2. Deuxième essais :(Phase plantule).....	40
2.1. Dispositif expérimental.....	40
2.2. Disposition des pots dans les trois blocs	41
2.3. Méthodologie de travail.....	41
2.3 .1 Préparation des solutions.....	41
2.3 .2. Préparation des graines.....	41
2.3 .3 . Préparation du substrat de culture.....	42

2.3 .4. Préparation des pots.....	42
2.3 .5. Semis.....	42
2.3 .6. L'application du stress salin.....	43
2.4. Les paramètres retenus.....	43
2.4 .1 Les paramètres mesurés.....	43
A. Hauteur de la tige principale.....	43
B. Hauteur de la racine principale.....	43
C. Nombre de feuilles par plante.....	44
D. Nombre d'entre nœuds.....	44
2.4 .2. Paramètres de biomasse.....	44
A. Poids frais.....	44
B .Poids sec.....	44
2.5. Analyse statistique.....	45

Partie III : Résultat et discussion

1. Résultats

1. 1. Résultats de premier essai.....	46
1.1.1. Taux de germination final (TGF).....	46
1.1.2. Cinétique de germination.....	47
1.1. 3. Longueur de la radicule (LRD).....	48
1.1.4. Cinétique de croissance radiculaire.....	50
1.1.5. La moyenne journalière de germination (MDJ).....	51
1.1.6. Précocité de germination.....	52
1.1.7. Longueur de l'épicotyle (LEP).....	53
1.1.8. Vitesse de germination.....	54
1.2. Résultats du deuxième essai.....	55
1.2.1. Analyse de variance.....	55

1.2.1.1. Paramètre morphologique.....	55
A .La longueur de la partie aérienne (LPA).....	55
B .La longueur de partie racinaire (LPR).....	57
C .Nombre de feuilles par plante(NF).....	58
D .Nombre d'entre nœuds (NEN).....	59
1.2.1.2. Paramètres de biomasse.....	61
A .Poids frais aérienne (PFA).....	61
B .Poids frais racinaire (PFR).....	62
C .Poids sec aérien (PSA).....	63
D .Poids sec racinaire (PSR).....	64
2.2.2. Matrice des corrélations.....	65
2.2.3. Analyse en composante principale.....	66
2.2.3.1. Etude des variables.....	66
2.2.3.2.Étude des graphes des individus	67
2.2.3.3. Superposition des variables et des individus.....	68
2.2.4. La classification ascendante hiérarchique (CHA).....	68
Discussion générale.....	70
Conclusion générale.....	73
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

Introduction

Dans le Monde, la productivité et le développement agricole sont confrontés à plusieurs contraintes biotiques (les champignons, les bactéries et les insectes) et abiotiques (sécheresse, froid, gel et salinité). Parmi ces contraintes, la salinisation des sols est considérée comme le facteur le plus important qui limite la production, notamment au niveau des régions arides et semi arides.

La salinité des sols est présente dans la plupart des grands systèmes d'irrigation à travers le monde sous l'effet conjugué d'une mauvaise qualité des eaux d'irrigation, de l'aridité et d'un drainage insuffisant du sol et des aquifères. Les superficies irriguées ont connu un accroissement très rapide depuis 1950, elles atteignent aujourd'hui près de 300 millions d'hectares (**Marlet, et al. 2005**). D'après **Rhoades (1997)**, les évaluations indiquent que, selon les situations, de 15 à 50% des terres aménagées et environ 50% des systèmes d'irrigation seraient affectés par la salinité, plus particulièrement dans les zones arides (**Marlet, et al. 2005**).

L'Algérie, qui offre toutes les variantes du climat méditerranéen, n'échappe pas à ce phénomène. Les sols agricoles sont dans leurs majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être. On évalue aujourd'hui à 1,5 million d'hectares la superficie des sols salés dont 49 milles se situent dans le sud du pays (**MADR, 2004**). Selon (**Douaoui and Hartani 2007**) environ 20 % des sols irrigués en Algérie sont concernés par le problème de salinité. Ce problème a été observé dans plusieurs régions de l'algérie (chlef,relizane, Mohamadia, sig, ain temouchent,Hautes plaines de sétif et de constantine). Dans l'ouest algérien, plusieurs périmètres irrigués sont soumis à de graves problèmes de salinisation et de la remontée de la nappe qui se traduisent par une dégradation des sols et une baisse de productivité. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà.

L'excès de sel affecte en premier lieu l'activité biologique du sol surtout la biomasse microbienne. L'absence de lessivage entraine une augmentation de la concentration des sels dans la zone racinaire (salinisation) et conduit à la dégradation de la texture en sol argileux (sodisation). Ceci se répercute sur les plantes par l'augmentation de la pression osmotique en agissant sur leur disponibilité en eau. En effet, plusieurs

auteurs ont montrés l'effet dépressif des sels sur les paramètres physiologiques des plantes (germination, croissance, rendement et qualité des produits) aussi bien que sur les paramètres métaboliques (teneur en chlorophylle, teneur en proline)(**Munns 2002**).

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

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) représente une alternative très encourageante pour faire face au problème de la salinité, puisqu'il s'agit d'une culture qui tolère le sel, tout en maintenant un rendement élevé. Cette culture qui est une pseudo céréale est natif de la région andine de l'Amérique du Sud et est bien adaptée aux conditions environnementales extrêmes telles que les hautes altitudes, les faibles précipitations annuelles, la salinité élevée des sols et les basses températures (**Tapia 1999**).

Ces caractéristiques et bien d'autres en font une culture attrayante pour les régions arides et semi-arides, où le manque d'eau et la salinité sont considérés comme des problèmes agricoles majeurs (**Burrieza, et al. 2012**).

C'est dans ce contexte que la présente contribution s'inscrit, en effet cette étude a pour objectif : d'une part la connaître le comportement de l'espèce vis-à-vis d'un stress salin appliqué au stade germinatif et plantule, d'autre part, la détermination du seuil de tolérance des différentes variétés étudiées et exploitées en Algérie.

Ce mémoire est structuré en deux parties:

La 1^{ère} Partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail. Elle est formée de deux chapitres :

- Chapitre I : Généralités sur le quinoa.
- Chapitre II- Généralités sur la salinité.

La 2^{ème} partie concerne le matériel et les méthodes utilisées dans cet essai.

La 3^{ème} partie est articulée sur l'explication des résultats obtenus ainsi qu'une discussion générale.

Le présent travail est achevé par une discussion et une conclusion générale.

Partie
bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le quinoa

1. Origine et historique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une culture qui provient des Andes d'Amérique du sud, où elle est cultivée sur des sols pauvres à des altitudes atteignant 3600 m (**Jacobsen et al., 2005**). Les Incas ont appelé le quinoa "le grain mère" bien qu'il ne soit pas un grain du tout mais techniquement une graine.

Le quinoa a été cultivé dans la région andine depuis plus de 7 000 ans (**Pearsall 1992**), étant l'un des principales cultures céréalières fournissant des aliments hautement nutritifs pour les agriculteurs, ce qui peut donner au quinoa un rôle clé dans l'avenir (**FAO 1998**).

La culture du quinoa occupait une place de choix dans l'empire inca, juste après celle du maïs (**Cusack 1984**). Cependant, après la conquête de la région par les Espagnols en 1532 après JC, des cultures telles que la pomme de terre, les haricots, l'avoine et le quinoa, échangées par l'orge sont reléguées au second plan (**Galwey 1995; Bhargava et al., 2006a**). En effet au cours de la période coloniale, la culture du quinoa était très peu encouragée, probablement en raison de sa position très estimée dans la société et dans la religion Inca (**Risi and Galwey 1989; Ruas et al., 1999**). En effet, les consommateurs de cette graine portent une attention particulière à son histoire andine, à la tradition culturelle qui l'entoure ainsi qu'aux pratiques agricoles centenaires des pays andins. Rarement un autre aliment a été autant associé à son histoire et à son environnement.

2. Importance et distribution du quinoa dans le monde

Le quinoa est réparti naturellement du nord de la Colombie au sud du Chili (**Fuentes and Bhargava 2011**) sur une large gamme d'altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 4 000 m (**González et al. 2011**).

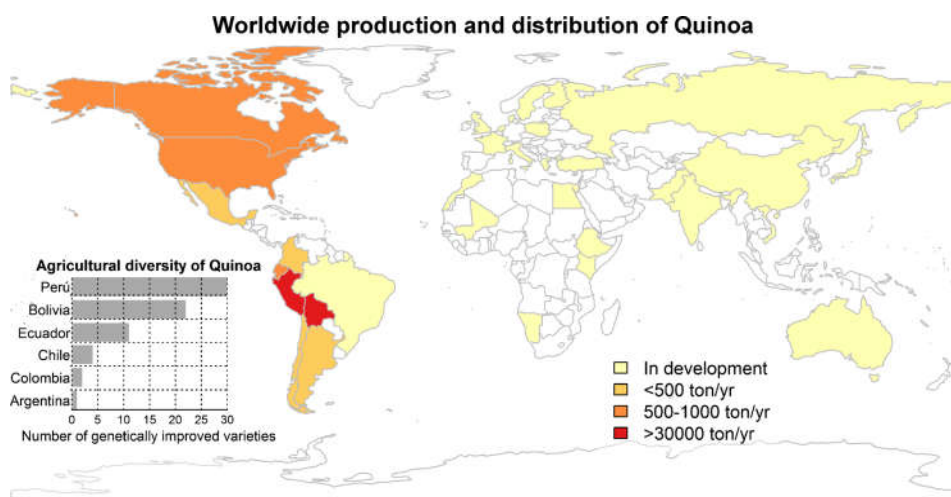


Fig. 01. Répartition mondiale de la production de quinoa (FAO 2011).

2. 1. Dans le monde

Le quinoa occupe une superficie d'environ 99.313 ha dans le monde, et la production était de 78.025 tonnes en 2010. La Bolivie et le Pérou sont les principaux producteurs (Fig. 01). La Bolivie est le principale producteur du quinoa en terme de superficie, qui est de l'ordre de 63.010 ha avec une production d'environ 36.106 tonnes alors que le Pérou produit plus de 41.000 tonnes sur une superficie d'environ 35.313 ha (rendement plus élevé au Pérou) (FAO STAT 2010).

2. 2. En Algérie

L'introduction de la culture du quinoa en Algérie s'est faite en 2014. Elle est cultivée à titre expérimental dans huit sites appartenant à quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologique. ITDAS, (Biskra et El-oued), INRAA, (Adrar et Ghilizane), ITGC, (Sétif, Tiaret et Guelma) et INRF (Alger).

Selon le rapport de la (FOA 2016), la culture du quinoa en Algérie peut servir à ouvrir de grandes perspectives de développement. En effet, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrême (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) lui conférant une grande efficacité dans la lutte contre la désertification tout en donnant des rendements acceptables.

3. Classification botanique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante dicotylédone, angiosperme de la famille des Chenopodiaceae, genre *Chenopodium*, section *Chenopodia*, sous-section *Cellulata*.

Chenopodium est le genre le plus important de la famille des Chénopodiacees avec plus de 250 espèces répandues mondialement (Giusti 1970).

Classification de Cronquist (1981)

Règne : *Plantae*

Sous-embr : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Caryophyllidae*

Ordre : *Caryophyllales*

Famille : *Chenopodiaceae*

Genre : *Chenopodium*

Nom binominal : *Chenopodium quinoa* Willd.

4. Description taxonomique de la plante

Le quinoa est une dicotylédone herbacée, autogame, annuelle, de la famille des *Chénopodiacees*. Dans des conditions optimales de température et d'humidité, les grains germent en une dizaine d'heures environ (Bois et al., 2006) et au champ, les cotylédons apparaissent généralement vers le 7^e jour après l'émergence. La croissance racinaire est en rapport étroit avec celle de la partie aérienne. La couleur prédominante de la plante est verte mais chez les plantes adultes, les couleurs de base sont rouge, pourpre et vert, selon le génotype. En général, le quinoa est une espèce autogame, avec environ 10 % de pollinisation croisée (Rea 1969). Cependant, dans quelques variétés, l'allogamie atteint jusqu'à 80 %, ce qui est expliqué par la rareté des fleurs pistillaires (Izquierdo et al., 2001). La masse de 1000 grains est généralement faible en raison de la petite taille de la graine (3–6 g) (Geerts et al., 2008). Le quinoa est un allotétraploïde de numéro de chromosome $2n = 36$; le génome haploïde du quinoa regroupe environ 967 millions de paires nucléotides, ce qui est relativement petit par rapport à la plupart des espèces de plantes (Maughan et al. 2004).

La quinoa montre une grande variabilité morphologique, concernant aussi bien les feuilles que les panicules et les graines (Tapia et al., 1979 ; Pinto 2002). Les caractères morphologiques du port de la plante (ramification), de la forme de l'inflorescence (amaranthiforme ou glomériforme), de la feuille et du grain sont les plus constants pour sa classification taxonomique. En revanche, la hauteur de la plante, comme sa couleur et celle du grain (Fig. 02), sont des caractéristiques beaucoup plus variables et, par conséquent, sont moins fiables pour la classification de variétés (Tapia et al., 1979).



Fig. 02. Culture de Quinoa en Bolivie (FAO. 2013).

4. 1. La Plante

La plante possède un port érigée avec des hauteurs qui varient entre 30 et 300 cm. Ces différences de hauteurs varient en fonction de plusieurs paramètres : le type de quinoa, types de génotypes, des conditions environnementales où elle croît, de la fertilité des sols. Par exemple celles qui poussent dans les vallées ont plus de hauteur que celles qui poussent au-dessus de 4000 m et celles qui poussent dans des zones abritées et fertiles atteignent hauteurs plus élevées que celles cultivées dans des zones froides. la couleur prédominante de la plante est verte mais chez les plantes adultes, les couleurs de base sont rouge, pourpre et vert, selon le génotype (Del Castillo, Mahy et al. 2008).

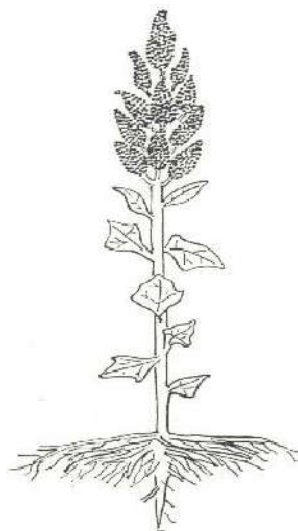


Fig. 03. Schéma de plante de quinoa (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

4. 2. La racine

Le quinoa possède un système racinaire pivotant, vigoureux, profond, assez ramifié et fibreux, qui pourrait lui donner résistance à la sécheresse et une bonne stabilité à la plante. Pendant la germination, la première chose qui commence à s'allonger est la radicule. Elle continue à croître et conduit à la racine, atteignant en cas de sécheresse jusqu'à 1.80 cm de profondeur. La profondeur des racines est étroitement liée à la hauteur de la plante (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

4. 3. La tige

La tige est cylindrique, sauf au niveau des ramifications où elle est angulaire, puisque les feuilles sont alternes et donnent une configuration exceptionnelle. L'épaisseur de la tige est également variable, étant plus grande à la base qu'au sommet. Ceci est généralement en fonction du génotype, de la densité de plantation et de la disponibilité des éléments nutritifs. La coloration de la tige varie du vert au rouge. Le diamètre de la tige est variable avec les génotypes, la distance de plantation, la fertilisation, les conditions de culture, variant de 1 à 8 cm de diamètre (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

4. 4. Les feuilles

Les feuilles sont alternes et simples (Fig.04) .Les feuilles inférieures possèdent des pétioles plus longs, lamina ovale-rhomboidale à deltoïde, irrégulièrement et grossièrement dentée ou incisée. Les feuilles de la partie supérieure sont elliptiques-oblongues à lancéolées, à dents larges et pétioles plus courts. Le nombre de dents ou de lobes des feuilles serait une caractéristique variétale. Les feuilles des quinoas de Bolivie et du sud du Pérou comptant peu de dents (**Tapia et al., 1979**) . Elle peut mesurer jusqu'à 15 cm de long et 12 cm de large. Dans de nombreuses régions andines, les feuilles tendres avant la floraison sont utilisées comme légume (**Cornejo 1976**) .



Fig. 04. Feuille de quinoa (photo original)

4. 5. Les fleurs

Elles sont petites, incomplètes, sessiles et dépourvues de pétales (Fig.05). Elles sont constituées d'une corolle formée par cinq pièces florales pétaloïdes, sépaloïdes, pouvant être hermaphrodites, pistillées et andro-sterile. En général il est indiqué que les fleurs de quinoa possèdent jusqu'à 10% de pollinisation qui est croisée (**Rea 1969**). Cependant, dans certaines variétés, elle atteint 80% (Kcancolla), et dans d'autres 17% de pollinisation croisée (Piartal). Les fleurs sont très petites. Elles atteignent une taille maximale de 3 mm en cas d'hermaphrodisme et les pistils sont plus petits, ce qui nuit à leur maniement lors des croisements et émasculations.



Fig. 05. Gros plan des têtes de fleurs de quinoa (**FAO. 2013**)

4. 6. Les fruits

C'est un akène dérivé d'un ovaire supéro-oculaire et d'une symétrie dorso-ventrale. (Fig. 06) cylindrique-lenticulaire, légèrement élargie vers le centre, dans la zone ventrale de l'akène observer une cicatrice qui est l'insertion du fruit dans le réceptacle floral, elle est constituée par le

perigonium qui enveloppe complètement la graine et contient une seule graine, de couleur variable, avec un diamètre de 1,5 à 4 mm, qui se détache facilement à maturité et dans certains cas peut rester attaché au grain même après le battage, rendant la sélection difficile, la teneur en humidité du fruit à la récolte est de 14,5% (**Gallardo, González et al. 1997**).

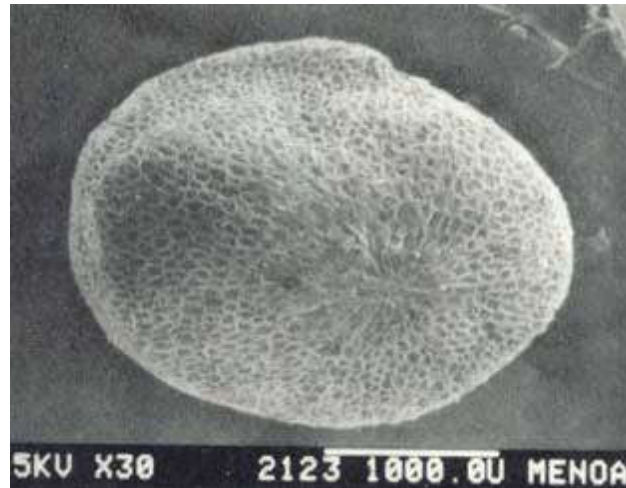


Fig. 06. Vue ventrale du fruit du quinoa au microscope électronique de balayage (**Gallardo, González et al. 1997**).

4. 7.Les graines

Il constitue le fruit mûr sans le périnée. Qu'il soit lenticulaire, ellipsoïdal, conique ou sphéroïdal, Il comprend trois parties bien définies (Fig.07): l'épisperme, l'embryon et le périsperme (**Villacorta y Talavera 1976**). L'embryon périphérique entoure le périsperme central (tissus de réserve) et se trouve couvert par le péricarpe et deux assises tégumentaires (**Prego et al., 1998**).

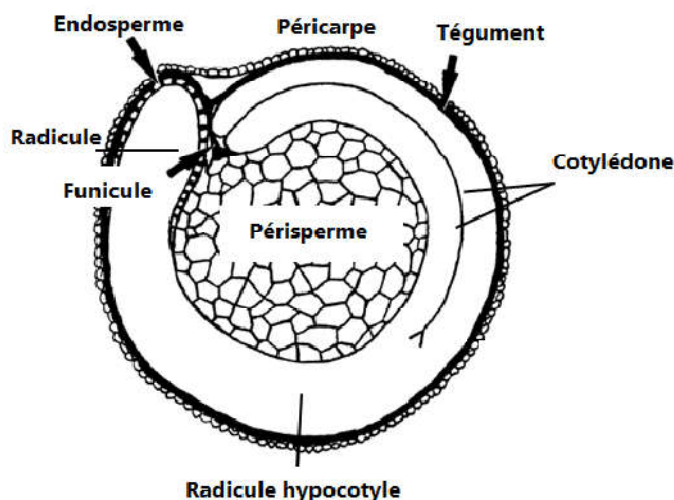


Fig. 07. Illustration de la graine de quinoa en coupe transversale (Hariadi, Marandon et al. 2010).

Les graines sont lisses ou avec un cuir chevelu fin avec des couleurs allant du blanc, jaune, rouge, violet, marron au noir (selon la variété) (Fig. 08) (Lim 2013). Dans le quinoa, le péricarpe contient des saponines qui transmettent la caractéristique du goût amer. Le principal tissu de stockage de la graine est le péricarpe (Valcárcel-Yamani and Lannes 2012).



Fig. 08. Grains de quinoa blanc (A) et jaune (B). (Photo original).

5. Stades phénologiques du quinoa

La phénologie est un changement externe visible du processus de développement de la plante, qui est le résultat des conditions environnementales, dont le suivi est une tâche très importante pour les agronomes et les agriculteurs. Le quinoa présente des phases phénologiques bien marquées et différenciées qui permettent d'identifier les changements qui se produisent au cours

du développement de la plante. Douze stades phénologiques ont été identifiés pour le quinoa (Fig.09) (Mujica and Canahua, 1989).

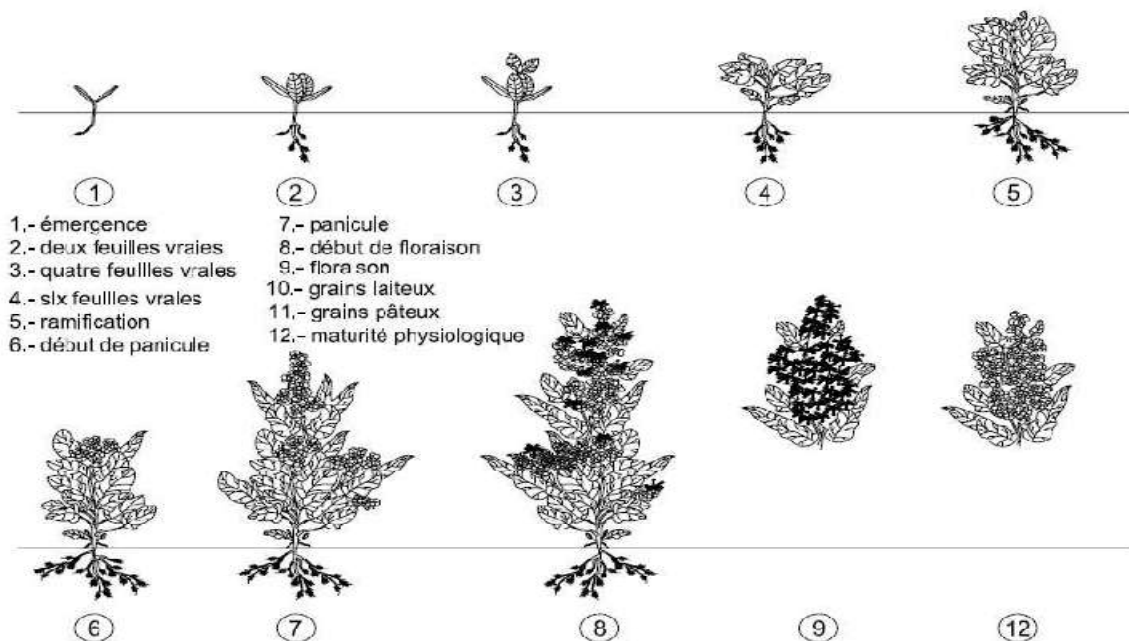


Fig. 09. Phénologie du quinoa (Lebonvallet 2008).

5.1. Levée

Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (germination épigée). Elle se produit entre sept et dix jours après le semis, en conditions de germination optimales (Fig.09).

5.2. 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 (Fig.09).

5.3. Quatre feuilles vraies

La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis (Fig.09). 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.

5. 4. Six feuilles vraies

L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir (Fig.09). 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).

5.5. 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 cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégée par les feuilles (Fig.09).

5.6. 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 (Fig.09). Parallèlement, la première paire de feuilles vraies jaunit et n'est plus photosynthétiquement active. La tige s'allonge et son diamètre augmente.

5.7. 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 (Fig.09).

5.8. 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 (Fig.09).

5. 9.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. Les feuilles inférieures, flétries, tombent (Fig.09).

5.10. 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 (Fig.09).

5. 11.Grain pâteux

L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche, 130 à 160 jours après le semis (Fig.09).

5.12. Maturité physiologique

Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en humidité qui varie de 14 à 16%. 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 (Fig.10) (Mujica, Izquierdo et al. 2001).



Fig. 10. Les plantes de quinoa récoltés (Geerts, Raes et al. 2008).

6. Variétés du quinoa

Selon leur goûts, on distingue principalement deux grandes familles de quinoa: le quinoa "**Amargua**" (=amer) et "**Dulce**" (=doux). La première, traditionnellement cultivée dans les Andes depuis plus de 5000 ans nécessite un lavage et scarification des grains à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe (amère et présentant un certain taux de toxicité). Il s'agit de la variété principalement exportée en occident par le biais du commerce équitable. La "**Dulce**" est issue de sélections variétales plus récentes, contient peu ou pas de saponine (la variété est considérée comme une variété douce si la teneur en saponine est inférieure à 0,11%).

Il existe plusieurs variétés comme : Bear, Cherry Vanilla, Cochabamba, dave 407, Gossi, Isluga, Kaslala, Kcoito, Linares, Rainbow, Red faro, Red head (bonne adaptabilité aux climats pluvieux), Temuco (Fig.11).

Selon les adaptations morphologiques et physiologiques particulières qu'elles ont pu développer pour s'adapter à leur environnement, on distingue plus de 1000 variétés de quinoa. Ces variétés peuvent être réparties en cinq groupes.

- **Le premier groupe** est très différent des quatre autres, et se trouve à basse altitude et proche de la mer, dans un climat pluvieux (1000 à 1500 mm par an).
- **Le deuxième groupe** correspond aux quinoas subtropicaux des vallées humides amazoniennes, entre 1500 et 2000 m d'altitude avec une pluviométrie de 1000 à 2000 mm.
- **Le troisième** se rencontre dans les vallées andines situées entre 2000 et 3500 m d'altitude et qui ont des précipitations modérés (500 à 1500 mm).
- **Le quatrième** contient les variétés «**Altiplaniques** », qui se développent entre 3800 et 4100 m d'altitude, aux alentours du Lac ticaca ainsi que sur l'altiplano Nord et centre, avec des précipitations comprises entre 400 et 800 mm par an.
- **Le dernier groupe** contient les variétés proches des « salars », vastes déserts de sel du sud de l'Altiplano bolivien et de la frontière avec le Chili. Les précipitations annuelles dans la région, caractérisée par un climat aride, sont en moyenne inférieure à 300 mm (Rojas, Soto et al. 2010).



Fig. 11. Différentes variétés de quinoa (Del Castillo, Mahy et al. 2008).

7. Biodiversité chez le quinoa

L'intérêt actuel porté à la biodiversité existante chez le quinoa, vise à assurer son maintien et sa valorisation. Des graines de quinoa de différentes accessions sont actuellement conservées dans plusieurs banques de semences à travers le monde (conservation ex-situ). Cependant, préserver cette biodiversité et la valoriser au profit des agriculteurs, implique de préserver aussi les cultures associées et le mode vie des agriculteurs autochtones vivant dans la région andine (**Fuentes, Bazile et al. 2012**).

8. Les intérêts et utilisations du quinoa

Le quinoa a de multiples utilisations et presque toutes ses parties peuvent être utilisées pour l'alimentation humaine, animal (fourrage et concentrés), ornemental, médicinal, antiparasitaire.

8. 1. Dans l'alimentation humaine

Les graines sont utilisées après l'élimination du contenu amer (saponine de l'épisperme) sous forme de salades, apéritifs, ragoûts, soupes, desserts, boissons, pain, biscuits, gâteaux (**Muñoz, Monteros et al. 1990**). Les graines germées sont également un aliment exquis et très nutritif, en particulier pour les régimes alimentaires végétariens (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**). Du point de vue nutritionnel, le quinoa apporte autant d'énergie que les aliments utilisés de façon similaire, comme les haricots, le riz, le maïs ou le blé. Il est en outre une source importante de protéines de qualité, de fibres alimentaires, d'acides gras et de sels minéraux. Toutefois, il convient de l'intégrer à un repas équilibré comportant de nombreux autres types d'aliments afin de se nourrir convenablement. La caractéristique importante chez le quinoa, est qu'il ne contient pas de gluten. À cet égard, c'est une source importante de la nourriture pour les patients cœliaque (allergie au gluten) pour répondre aux besoins en protéines et en glucides (**Jacobsen 1995**). On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche) (**Adolf, Shabala et al. 2012**). Les oreilles servent à faire les cornichons et les feuilles se mangent fraîches en salade ou cuit comme des épinards (**Abugoch et al. 2008**).

8. 2. Alimentation animale

La plante entière est utilisée comme fourrage vert. Récoltés, les résidus, les feuilles et les tiges sont également utilisés pour nourrir bovins, ovins, porcins, lamas, alpagas, ânes, cobayes, chevaux et volailles (**Lim 2013**). Les graines bouillies sont utilisées pour l'élevage de poulets,

canards, dindes et cailles; tandis que les céréales germées utilisées chez les bovins laitiers augmentent considérablement la production de lait (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

8. 3.Médicament

Les graines, les feuilles, les tiges, la cendre et la saponine sont utilisées en médecine pour soigner plus de vingt-deux maladies et affections humaines, dont la forme et les quantités d'emploi sont parfaitement connus des natifs des hautes et froides contrées des Andes d'Amérique (Janpirunas, Callahuayas, Teguas, Laiccas et Ccamiris), principalement du Pérou, de la Bolivie et de l'Équateur (Thumb Vidal, 1954); Parmi les maux qui peuvent être combattus, nous avons: des abcès au foie, affections hépatiques, analgésiques dentaires, angor, antifongiques, pansements ou cataplasmes, apaisants et anti-inflammatoire, catarrhe des voies urinaires, caustique pour plaies, cicatrisation, ecchymose et commotions cérébrales, diurétique, contrôle des saignements internes, luxation, insectifuge, résolutifs, arômes gastriques, suppurations internes et vomitifs (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

8. 4.Industrielle

Industriellement, on peut extraire de l'alcool industriel, des produits pour concentrer la cocaïne à partir de coca, saponine, quinoïne, acide quinoïque, carton de cellulose, amidon de bonne qualité, farine, huile etc (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**). Les saponines de quinoa ont de nombreuses utilisations qui comprennent les détergents pour les vêtements, le lavage et un antiseptique pour les blessures de la peau (**Ahamed, Singhal et al. 1996**).

8. 5.Industrie alimentaire

Le quinoa est considéré comme une culture agroindustrielle à usage polyvalent (**Galwey 1993**), La pâte d'amidon de quinoa convient parfaitement à la préparation de produits alimentaires congelés et du type émulsion (**Ahamed, Singhal et al. 1996**); **Bhargava et al. 2006a**). Il est également riche en vitamines et minéraux essentiels, en fer et en calcium, et le quinoa peut être utilisé dans l'industrie de la boulangerie car l'amidon présent dans les graines a des propriétés similaires à ceux trouvés dans le blé (**Gómez-Caravaca et al. 2011**). En plus d'une augmentation de la valeur nutritionnelle, l'ajout de la farine de quinoa a eu des effets positifs sur le plan rhéologique et caractéristiques sensorielles des produits de boulangerie, tels que biscuits (**Stikic et al. 2012**; **Harra et al. 2011**; **Lorenz et al. 1995**).

8. 6. Intérêt agronomique

La culture du quinoa, intégrée dans la rotation de parcelles, améliore la structure des sols tout en diminuant le temps de jachère (**Fischer 2013**), ce qui améliore la rentabilité.

8. 7. Plantes d'ornement

Les plantes de quinoa en raison de leurs couleurs vives, sont utilisées comme plantes ornementales dans les jardins et les parcs; en particulier celles qui ont deux couleurs d'inflorescence, appelée masse de quinoa. Les grandes panicules sèches sont aussi utilisées dans les vases, car leur glomérules restent une grande durée sans que leurs grains ne se détachent (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

8. 8. Lutte contre les insectes

Les plantes amères riches en saponine, à grains noirs et couleurs foncées ne sont pas attaquées par les insectes. Dans la plupart des cas, les racines agissent comme des plantes pièges des nématodes qui attaquent principalement les tubercules (**Mujica, Izquierdo et al. 2001**).

8. 9. Autres utilisations

Le quinoa et a été recommandé comme culture potentiel d'un système de soutien à la vie écologique contrôlé (CELSS) de la NASA, qui vise à utiliser des plantes pour éliminer le dioxyde de carbone de l'atmosphère et générer de la nourriture, de l'oxygène et de l'eau pour les équipages des missions spatiales de longue durée (**Schlick and Bubenheim 1996**).

9. valeur nutritive du quinoa

Le grain du quinoa possède une valeur nutritive élevée car il contient tous les acides aminés nécessaires au corps humain, qui appartiennent à la catégorie des protéines complètes (**Johnson and Aguilera 1980**). Il est, en termes de quantité et de qualité de protéines, supérieur à de nombreuses céréales. En effet, Le quinoa contient de 11 à 22% de protéines, alors que cette teneur n'est généralement que de 7 à 13% chez les céréales (**Koziol 1992 ; Cardazo and Tapia 1979 ; Wright et al., 2002 ; Ayala et al., 2001 ; Schlick and Budenheim 1996**) (Tab 01). Il possède de plus une composition en acides aminés essentiels complète et relativement équilibrée, qui le rend complémentaire de la plupart des céréales, voire de certaines légumineuses. Il est en particulier riche en lysine, présente en faible quantité chez le blé. Le quinoa s'approche ainsi des besoins en acides aminés pour l'alimentation humaine définis par la FAO (**FAO 1970 ; 1985**).

Le quinoa est une source très importante de calcium qui est très intéressant pour les végétariens et ceux qui ont une intolérance au lactose (**Ruales and Nair 1993**). La plante du quinoa contient aussi les fibres alimentaires nécessaires à la santé humaine en plus de sa richesse en phosphore, magnésium et fer alimentaire, en oméga-3 (**Bhargava and af 2006**).

L'amidon du quinoa a une stabilité excellente pendant les conditions de décongélation. En raison de l'absence de gluten, cette pseudo- céréale est parfaitement adaptée pour les patients atteints de la maladie cœliaque (intolérance au gluten) qui sont obligés de maintenir un régime alimentaire sans gluten à vie (**Föste, Nordlohne et al. 2014**).

Tab. 01: Comparaison ente la composition des graines de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche)

Composante	Quinoa*	Blé**
Protéines	11,0 - 21.3	12,5
Lipides	5,3 - 8.4	2 – 3
Glucides	53,5 - 74.3	67 – 71
Fibres	2,1 - 4.9	2- 4
Cendres	3,0 - 3.6	1,5 - 2,5
Humidité	9,4 - 13.4	14,5

(Sources : * **Tapia et al. (2000)** ; ** (**Feillet 2000**)).

10. Exigences culturelles du quinoa

10.1. Agro écologie du quinoa

Le quinoa est une culture de climat frais avec une croissance optimale à -3 ° C la nuit et 30 ° C pendant le jour, et avec des précipitations annuelles de 1500 mm à plus de 2500 mm. Sa culture traditionnelle est la région comprise entre 8 ° N et 30 ° S où il pousse à 3 800 m d'altitude du niveau de la mer (**Bhargava et al. 2006**). La plante montre une tolérance au gel, à la salinité et à la sécheresse, et a la capacité de se développer sur sols peu fertiles et marginaux (**Galwey 1992; Bhargava et al. 2006**).

10. 2. Besoins des cultures

10. 2.1.Sol

En ce qui concerne le sol, le quinoa préfère un sol limoneux, avec un bon drainage et des matières organiques, avec des pentes modérées et une teneur moyenne en éléments nutritifs, puisque la plante est exigeante en azote et en calcium, modérément en phosphore et avec peu de potassium. Aussi Il peut être adapté aux sols limono-sableux, sableux ou argileux, à condition qu'il soit doté de nutriments et il n'y a pas de possibilité d'engorgement, car il est très sensible à l'excès d'humidité, en particulier dans les premiers stades.

10. 2.2.pH

Le quinoa a un large éventail de croissance et de production à différents pH du sol, il a été observé qu'il donne de bonnes productions dans les sols alcalins jusqu'à pH9.

Des recherches récentes ont montrées que le quinoa peut germer dans des concentrations de sel extrêmes allant jusqu'à 52 mS / cm, et dans ces conditions extrêmes de concentration en solution saline, la période de germination peut être différée de 25 jours (**Jacobsen, Quispe et al. 1999**).

10. 2.3.Climat

Etant une plante très plastique et présentant une grande variabilité génétique, le quinoa s'adapte à différents climats, allant des conditions chaudes et sèches du désert aux environnements froids et secs des grands plateaux. Il est donc nécessaire de savoir quels génotypes sont adaptés à chacune des conditions climatiques.

10. 2.4.Eau

Bien qu'il s'agisse d'une plante C3, le quinoa est connu pour être très efficace en termes de consommation d'eau. En effet le quinoa possède des mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques qui lui permettent non seulement d'échapper aux déficits en eau, mais aussi de tolérer et de résister au manque d'humidité dans le sol.

Le quinoa se développe et donne des rendements acceptables avec des précipitations minimum 200-250 mm par an, comme dans le cas des hauts plateaux boliviens .En général, le quinoa

prospère avec une moyenne de 250 à 500 mm par an. En cas d'irrigation, les cultures doivent être alimentées périodiquement et légèrement. Les systèmes d'irrigation peuvent être à la fois gravitaires comme en saupoudrant ou en gouttant; l'irrigation est utilisée comme un complément à la pluie ou pour faire avancer le semis ou en cas de sécheresse grave.

10. 2.5. Température

La température moyenne appropriée pour le quinoa est environ 15-20 ° C, cependant il a observé qu'avec des températures moyennes de 10 ° C, la culture se développe parfaitement, Il en va de même avec des températures moyennes et élevées pouvant atteindre 25 ° C et prospérant correctement, à cet égard, il a été déterminé que cette plante possède également des mécanismes d'échappement et une tolérance aux basses températures, pouvant résister jusqu'à moins de 8 ° C, à certains stades phénologiques, En ce qui concerne les températures extrêmement élevées, il a été observé que les températures supérieures à 38 ° C provoque l'avortement des fleurs et la mort des estimations et des étamines, rendant impossible la formation pollen et empêchant ainsi la formation de grains .

10. 2.6. L'altitude

Le quinoa se développe et s'adapte du niveau de la mer à environ 4 000 mètres d'altitude de la mer. Le quinoa semé au niveau de la mer diminue sa période de végétation par rapport à la culture en montagne. Cependant on constate que le potentiel de production le plus important est obtenu au niveau de la mer, et qui peut atteindre jusqu'à 6 000 kg / ha, avec irrigation et une bonne fertilisation.

10. 2.7. Photopériode

Le quinoa, de par sa grande variabilité génétique et sa grande plasticité, présente des génotypes de journées courtes, longues et même indifférentes à la photopériode. Le quinoa se développe bien avec seulement 12 heures par jour dans l'hémisphère sud, en particulier dans les Andes d'Amérique du Sud, tandis que dans l'hémisphère nord et les zones méridionales avec des journées allant jusqu'à 14 heures de lumière, il se développe correctement.

10. 3. Préparation du sol

Avant de commencer la préparation du sol, il est nécessaire de localiser et de sélectionner celui qui a une bonne pente, de bonne fertilité avec une texture de loam sableux, bien nivelée et qui ne se trouve pas dans une zone inondable, gelée ou trop saline. Si le semis est effectué dans

un sol nouveau ou vierge, il doit être préparé avec une charrue d'enfouissement ou des disques de telle sorte que la partie externe soit enterrée dans le sol. Ce travail doit être fait à la fin des pluies.

10. 3.1. Rotation des cultures

Dans le cas d'utilisation de terres déjà semées avec d'autres cultures, il est recommandé de faire la rotation avec celles qui ne sont pas de la même famille, comme la semence de pomme de terre ou autres tubercules; cela permettra de réduire l'incidence des parasites et des maladies sur la culture.

10. 4. Semis

La plantation doit être effectuée lorsque les conditions environnementales sont les plus favorables. Cette période est déterminée par une température appropriée de 15-20 ° C, l'humidité du sol doit être d'au moins le 3/4 de la capacité du champ, ce qui facilitera la germination des graines. Le moment le plus opportun de plantation dépendra des conditions environnementales du lieu de plantation. Généralement dans les Zone andine, sur les hauts plateaux et sur la côte, la date optimale est du 15 septembre au 15 novembre.

10. 5. Fertilisation

Le quinoa est une plante exigeante en éléments nutritifs, principalement en azote, en calcium, en phosphore et en potassium, il nécessite donc de faire une bonne fertilisation adéquate. les quantités utilisées dépendront de la richesse et de la teneur en éléments nutritifs des sols où le quinoa sera installé.

10. 6. Mauvaises herbes et contributions

Le quinoa, comme toutes les autres plantes, est sensible à la concurrence des mauvaises herbes, en particulier aux premiers stades. Il est donc recommandé d'installer la culture tôt pour éviter la concurrence pour les nutriments, la lumière et l'espace, ainsi que la présence de parasites et de maladies. Les principales mauvaises herbes qui infestent les champs cultivés de quinoa sont: *Bidens pilosa* (herbe à aiguilles), *Bidens andicola*, *Medicago hispida*, *Bromus uniloides*, *B. catharticus* Vahl., *B. inermis* Leyss .

10. 7. Désherbage

Comme le quinoa est très peu compétitif au stade de jeune plantule, un désherbage hâtif en début de saison, soit par un binage entre les rangs, soit par d'autres moyens mécaniques, est important.

10. 8. Lutte antiparasitaire et maladies

La lutte contre les parasites et les maladies doit être effectuée rapidement, lorsque le niveau des dommages est acceptable dans le cas des insectes et préventivement pour les maladies. À la fois dans les montagnes et sur la côte, le principal fléau entomologique est le puceron, suivi du mildiou qui affecte à la fois les hauts plateaux, la côte et les vallées (Mujica, Izquierdo et al. 2001).



Fig. 12. Attaque de puceron sur quinoa.

10. 9. Récolte

La récolte est un travail de grande importance dans le processus de production, le succès en dépend pour obtenir la qualité commerciale du grain. Ce travail comporte cinq étapes, lorsque il est effectué manuellement ou à l'aide d'une batteuses fixes: tondre ou couper, casser ou formation d'arcs, battage, coulage et nettoyage du grain, séchage, sélection, conditionnement et stockage (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

11. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques

11. 1. Importance de la résistance aux facteurs négatifs

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est un halophyte facultatif connu pour tolérer les stress abiotiques. tels que le gel, la salinité et la sécheresse, ainsi qu'une capacité de croissance sur des sols marginaux (Maughan, Turner et al. 2009) ; (Jacobsen, Liu et al. 2009).

Les facteurs abiotiques négatifs jouent un rôle important dans le processus de production du quinoa, étant donné que, dans de nombreux cas, ils sont déterminants pour l'obtention de bonnes récoltes, de sorte que leur étude, identification de leurs mécanismes et amélioration pour obtenir plus de résistance sont fondamentaux (Fig. 14).

11. 1.1. résistance à la sécheresse

Le quinoa est une plante résistante à la sécheresse car, en plus de survivre dans des conditions de faible humidité (manque de précipitations), il est capable de produire des céréales et de la matière verte pour la consommation humaine et animale, qui est économiquement acceptables et rentables, grâce à une série de modifications et de mécanismes. Ces mécanismes peuvent être morphologiques (taille plus petite de la plante), physiologiques (transpiration plus faible), anatomiques (nombre et taille de stomates plus petits) , phénologiques (raccourcissement de la période de floraison) et biochimiques (synthèse de proline plus grande), qui lui permettent d'accumuler de l'énergie, des nutriments même en période de sécheresse (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

11. 1.2. Résistance du quinoa au froid

Le quinoa est également une culture qui résiste fortement aux effets du froid et du gel, car il est constamment affecté par les chutes de température et, dans certains cas, par la présence de gel d'une intensité considérable, en particulier dans les endroits où la présence de givre est constante. Pour cela, le paysan dispose d'un matériel génétique adéquat et très variable, ainsi que des technologies de défense par le biais de modifications de l'environnement (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

11. 1.3. Résistance du quinoa aux sels

La zone de production du quinoa la plus importante au monde est celle des salars de l'Altiplano sud de Bolivie, où il existe une forte concentration de sels, principalement du chlore et du sodium. On y obtient en moyenne 1 t/ha de quinoa de bonne qualité. Cela nous indiquerait

que le quinoa est une plante qui tolère la présence de sels sur le sol (Fig. 13) (Mujica, Izquierdo et al. 2001).



Fig. 13. Production de quinoa dans les sols salins (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

11. 1.4. Résistance au vent, la neige et la grêle

De nombreuses variétés altiplaniques et du Salar sont relativement résistantes à la grêle, grâce à un enroulement des feuilles, une tige et un épi plus solides, une surface foliaire réduite avec des feuilles plus petites. Certaines peuvent résister à la neige par un système racinaire et une ramification plus importants qui assurent un soutien plus grand de la plante. Enfin, les variétés de petite taille avec une tige épaisse et un système racinaire bien développé peuvent plus facilement résister au vent (Mujica *et al.*, 2001).

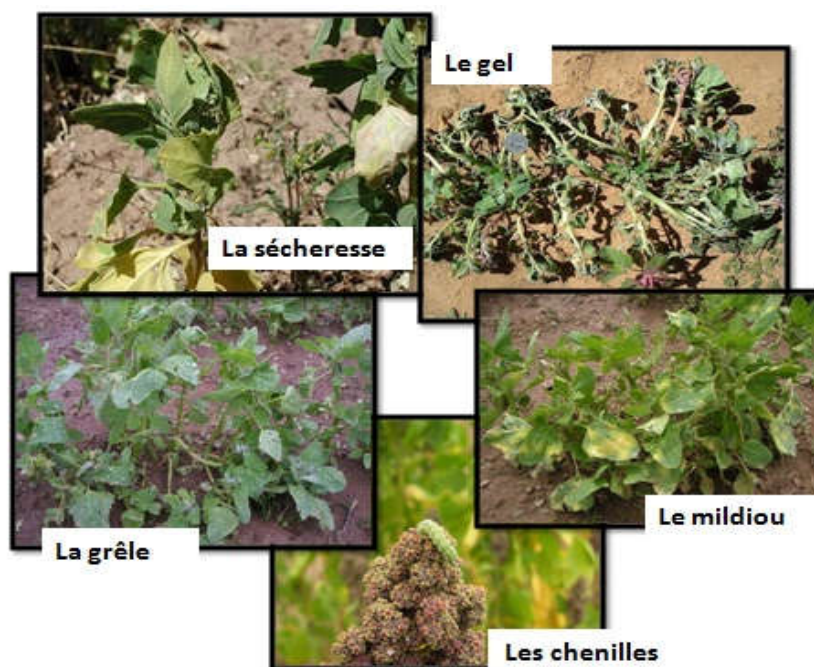


Fig. 14. Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano (Lebonvallet 2008).

Chapitre II : Généralités sur la salinité

1. Qu'est ce qu'un stress ?

Un stress est l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. La notion du stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (**Leclerc 1999**).

Selon (**Levitt and Levitt 1987**), c'est un facteur environnemental «défavorable» pour l'organisme vivant considéré. En conséquence, la capacité de l'organisme à survivre au facteur défavorable a été appelée "résistance au stress".

1.1. Les stress abiotiques

Un stress abiotique est une réponse de la plante à des changements environnementaux (lumière, eau, carbone, minéraux...), induisant une réduction de développement et de croissance (**Boyko and Kovalchuk 2011**).

D'après (**Levitt 1972**), un stress abiotique est tout facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques dommageables. Ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique.

1.1 .1. Le stress hydrique

Un stress hydrique est provoqué généralement par un déficit en eau, constituant ainsi une menace permanente pour la survie des plantes. Néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (**Hopkins 2003**).

1.1 .2. Le stress thermique

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 (**Hopkins 2003**).

La sensibilité des plantes aux températures extrêmes est 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**).

Les basses températures sont considérées par certains auteurs (**Yan and Hunt 1999**) comme l'un des défis environnementaux les plus graves qui menassent les plantes.

Concernant les hautes températures, les biologistes ont longtemps été fascinés par la croissance de certains organismes végétaux dans des conditions désertiques, à des températures très élevées (**Brock 1978**); (**Aragno 1981**).

1.1 .3. Le stress salin :

Le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins 2003**). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (**Tremblin 2000**).

1.2. Le stress biotique :

Le stress biotique est due à une agression d'un autre organisme comme les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions. Les protéines végétales défensives produites font office de rempart contre les agents nuisibles (**Mahajan and Tuteja 2005**).

2. La salinisation des sols

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...) (**Marlet and Job 2006**).

D'après (**Mermoud 2006**), la salinisation des sols est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et plus particulièrement dans la zone racinaire, elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol.

La salinité entraîne un déficit hydrique chez les plantes, dû au stress osmotique éventuellement couplé à des perturbations biochimiques induites par l'afflux d'ions sodium (**Parida and Das 2005**) ;(**Tavakkoli, et al. 2011**).

On définit en général deux types de salinité : la salinité primaire et la salinité secondaire.

2.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire, liée à la présence naturelle relativement concentrée de sels (proximité de mers ou d'océans, présence de dépôts de sels...) (**Lahlou, et al. 1998**).

- Salinisation géologique : Les sels solubles peuvent provenir
 - Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques et magnésiques. En régions arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place, dans les dépressions fermées.
 - Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires (Trias, tertiaire et quaternaire).
 - Soit de l'altération des roches volcaniques (**Servant 1975**).

- Salinisation marine et lagunaire :

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes, sous les sols des vallées et basses plaines ou les déposent à leur surface (**Gaucher and Burdin 1974**) .

2.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire, dont le développement apparaît comme étroitement lié à l'irrigation. Est défini comme étant un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. Cette dernière est le processus de dégradation de la qualité des sols le plus rapide dans les périmètres irrigués. (**Lahlou, et al. 2000**).

Induite par l'activité humaine, la salinisation secondaire des sols est fréquemment liée à des pratiques agricoles inappropriées (**Mermoud 2006**). L'irrigation altère le bilan hydrique

du sol, en générant un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol.

3. Problème de salinité

La salinité est un problème environnemental majeur qui se propage à l'échelle du globe, affectant les cultures et leur production (**Flowers and Yeo 1995**); (**Munns 2002**). En effet, un tiers des terres irriguées dans le monde souffrent de salinisation secondaire (**Flowers and Yeo 1995**).

Sur les 1,5 milliard d'hectares cultivés dans le monde, environ 5 % sont affectés par le sel (**Tester and Davenport 2003**). Les terres irriguées produisent environ un tiers de la nourriture mondiale (**Munns 2002**), de sorte que leur salinisation, souvent due à de mauvaises pratiques d'irrigation, est particulièrement critique. La salinité des terres sèches est également un problème important et croissant dans certaines régions du monde (**Tester and Davenport 2003**).

Les pratiques de gestion visant à réduire les concentrations de sel dans le sol sont coûteuses et ne peuvent pas toujours être appliquées dans les pays sous-développés et en développement du monde (**Djanaguiraman, et al. 2006**). Une alternative possible est l'introduction d'espèces (halophytes) capables de tolérer des salinités de sol plus élevées avec une bonne adaptabilité en termes de croissance et de rendement.

Chez les plantes en croissance, la salinité du sol a un effet complexe qui perturbe l'intégrité de la membrane, le déséquilibre des nutriments et l'activité métabolique (**Hasegawa, et al. 2000**).

4. Effet de la salinité et le stress salin sur les plantes

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (**Hillel 2000**). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de leur croissance et de leur développement (**Munns, et al. 1983**). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et

moléculaires qui affecte négativement la croissance et la productivité végétale (**Ashraf and Harris 2004**). Toutefois, certains végétaux disposent d'un potentiel génétique pour la tolérance vis-à-vis des stress environnementaux.

Effets néfastes de la salinité sur les cultures ont de multiples facettes et comprennent: une réduction de la quantité d'eau disponible, due à l'effet osmotique engendré par la forte concentration de sels solubles dans le milieu racinaire; une toxicité ionique résultant de l'accumulation de Na^+ et de Cl^- ; un stress oxydatif résultant d'une production en surcharge d'espèces réactives de l'oxygène (ROS); d'un déficit aigu en K^+ dû à une fuite massive de K^+ à travers les cellules dépolarisées (**Zhu 2001**); (**Blumwald, et al. 2000**); (**Munns and Tester 2008**);(**Shabala and Cuin 2008**).

5. Effets de la salinité sur la physiologie des plantes

5. 1. Sur la germination

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (**Maillard 2001**). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (**Ungar 1978**) et (**Kabar 1987**) in (**Bouchoukh 2010**). Chez les plantes halophytes et bien qu'elles possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination (**Belkhodja and Bidai 2004**). En effet, plusieurs études ont montrées que même les halophytes (quinoa) sont particulièrement sensible au sel pendant les stades de la graine germination et émergence des plantules (**Ungar 1996**); (**Khan and Abdullah 2003**); (**Debez, et al. 2004**).

5. 2. Sur la croissance et le développement

La salinité affecte négativement la croissance des plantes par déficit en eau (stress osmotique), par une toxicité et un déséquilibre ionique (stress ionique) ou par une combinaison de ces facteurs (**Läuchli and Grattan 2007**); (**McNeil, et al. 1999**); (**Reinhardt and Rost 1995**).

D'après (**Zhu 2001**) et (**Munns 2002**), le stress dû à la salinité réduit la croissance et le développement des plantes à différents niveaux physiologiques. Il pourrait être lié aux effets néfastes de l'excès de sel sur l'homéostasie ionique, l'équilibre hydrique, la nutrition minérale et le métabolisme du carbone photosynthétique.

Selon plusieurs auteurs (**Levitt 1980**) ; (**Yeo and Flowers 1983**); (**Leopold 1984**); (**Marschner 1995**), L'effet toxique est causé par une concentration excessive d'ions Na et Cl, ce qui provoque une dégradation de l'équilibre ionique des cultures, des problèmes d'absorption et de transport des nutriments et une diminution des processus physiologiques tels que la respiration et la photosynthèse.

6. Mécanismes d'adaptation de la plante au stress salin et à la salinité

Les différences de réponse des plantes à la salinité et au stress salin dépendent non seulement de la quantité de sel disponible dans le sol et dans l'eau d'irrigation ou des espèces végétales, mais aussi des stades de développement des cultures (**Maas and Hoffman 1977**).

La plante peut d'adapter au stress salin de différentes manières:

6.1. L'inclusion

Les plantes arrivent à résister au NaCl en accumulant le Na⁺ dans les feuilles ou il est séquestré soit dans la vacuole dans l'épiderme foliaire ou les limbes des feuilles âgées (**Jabnour 2008**). Le sel est stocké dans les vacuoles qui sont des compartiments fermés au sein de la cellule. Ce phénomène se produit grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Le sel peut être aussi isolé dans des constituants cellulaires vitaux (**Berthomieu, et al. 2003**), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (**Alem and Amri 2005**).

6.2. L'exclusion

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplastique (**Blumwald, et al. 2004**); (**Munns 2005**). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (**Apse and Blumwald 2007**).

Les plantes exclues sont généralement sensibles à la salinité et sont incapables de contrôler le niveau de Na⁺ cytoplasmique. Cet ion est transporté dans le xylème, véhiculé vers

les feuilles par le courant de transpiration puis en partie véhiculé par le phloème pour être ramené vers les racines (**Jabnoue 2008**).

6.3. L'ajustement osmotique

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

7. Comportement du quinoa vis-à-vis du stress salin

Le quinoa présente une grande tolérance à la salinité du sol. Certaines variétés peuvent se développer dans des concentrations de sel similaires à ceux trouvés dans l'eau de mer (40 dS m⁻¹) et même plus élevé (**Jacobsen, et al. 2001**); (**Adolf, et al. 2012**). Quinoa semble utiliser plusieurs mécanismes pour s'acclimater dans un environnement salin (**Wilson, et al. 2002**).

En effet, le quinoa est capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus pour ajuster le potentiel hydrique foliaire. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter sa transpiration, évitant des dommages physiologiques que pourrait causer la sécheresse. Capable de maintenir K⁺ / Na⁺ et sélectivité Ca²⁺ / Na⁺ en conditions salines (**Rosa, et al. 2009**) .et à tolérer de fortes niveaux internes de Na⁺ (**Wilson, et al. 2002**) . En conditions salines, le quinoa se comporte donc comme un halophyte facultatif et pourrait être utilisé pour nettoyer des sols contaminés par le sel (**Jacobsen, et al. 2000**).

Matériels et méthodes

Matériels et Méthodes

Deux essais ont été conduits, le premier en phase germination et le deuxième en phase plantule.

A .Matériel végétal

La présente étude a porté sur six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*). Les semences ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS), sise à Ain Ben Naoui , Biskra (Tab.02).

Tab. 02: les variétés expérimentées dans les deux essais

Identificateur	Code	Lignée	Source
V1	Q101	Yellow Marangani	Pérou
V2	Q102	Yellow Sacaca	Pérou
V3	Q103	Junin White	Pérou
V4	Q104	Koncolla	Pérou
V5	Q105	Salcedo INIA	Pérou
V6	/	Santamaria	Iran

(Source ITDAS)

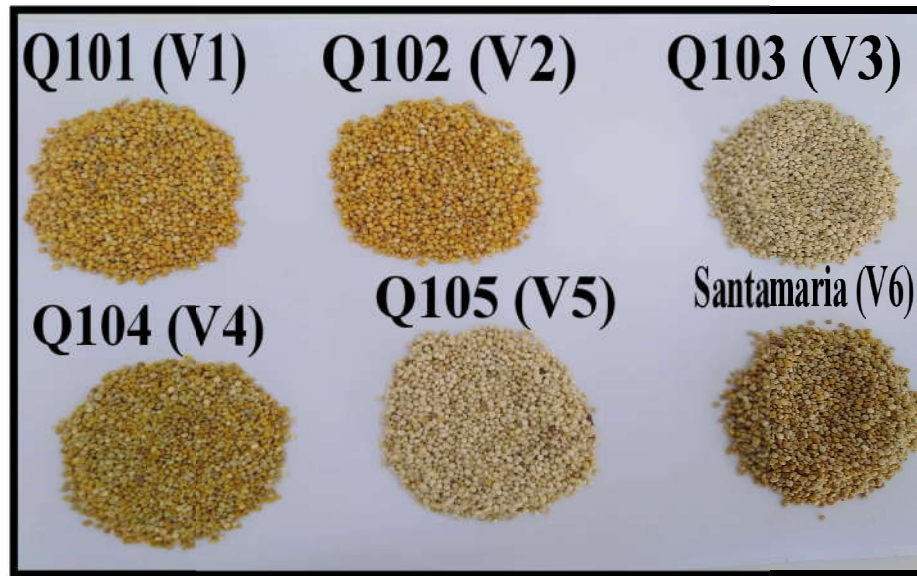


Fig. 15. Les graines des différentes variétés de quinoa étudiées (photo originale).

- ❖ Les essais ont été conduits au laboratoire du Département d'Agronomie de l'Université Mohamed Boudiaf à M'Sila.

B. Objectif de l'essai

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd), soumises à des concentrations croissantes en NaCl.

1. Premier essai : (phase germination)

1.1. Méthodes de travail

1.1.1 Préparation des solutions

Afin de déterminer les concentrations salines les plus appropriées, nous avons essayé plusieurs concentrations, allant de 100 mM.l^{-1} jusqu'à 1200 mM.l^{-1} (Morehouse and Tung 1993; Delatorre-Herrera and Pinto 2009).

Les résultats obtenus ont montré qu'il y avait très peu de germination des graines de quinoa à la concentration 500 mM.l^{-1} et aucune germination en concentrations 800 mM.l^{-1} et 1200 mM.l^{-1} , Nous avons donc décidé de choisir les concentrations salins suivantes : 100 mM.l^{-1} , 200 mM.l^{-1} , 300 mM.l^{-1} et 500 mM.l^{-1} .

Les solutions salines utilisées ont été préparées à partir de l'eau distillée et du chlorure de sodium NaCl (fig.16), dont les proportions sont indiquées au tableau suivant :

Tab. 0 3 : Composition des solutions salines (premier essai).

Solution	Concentration	
	Chlorure de sodium NaCl	
	g.l ⁻¹	mM.l ⁻¹
Solution 0	0	0
Solution 1	5,84	100
Solution 2	11,67	200
Solution 3	17,53	300
Solution 4	29,22	500

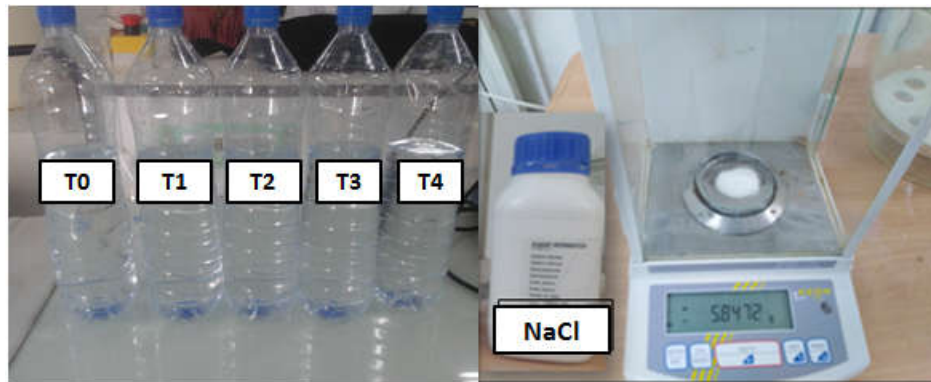


Fig. 16. Préparation des quatre solutions salines à partir de l'eau distillée et du chlorure de sodium (photo originale).

1.1. 2. Déroulement de l'essai

Les tests de germination sont réalisés dans les conditions de laboratoire. L'expérience comporte six variétés de quinoa et cinq traitements (l'eau distillée et quatre concentrations de NaCl) avec trois répétitions pour chacune. Dans chaque boîte de Pétri, on a placé trente graines sur du papier filtre, arrosée par une solution.

Les observations ont lieu pendant cinq jours au cours desquelles nous avons procédé aux différents comptages quotidiennement.

1.1. 3. Protocole expérimental

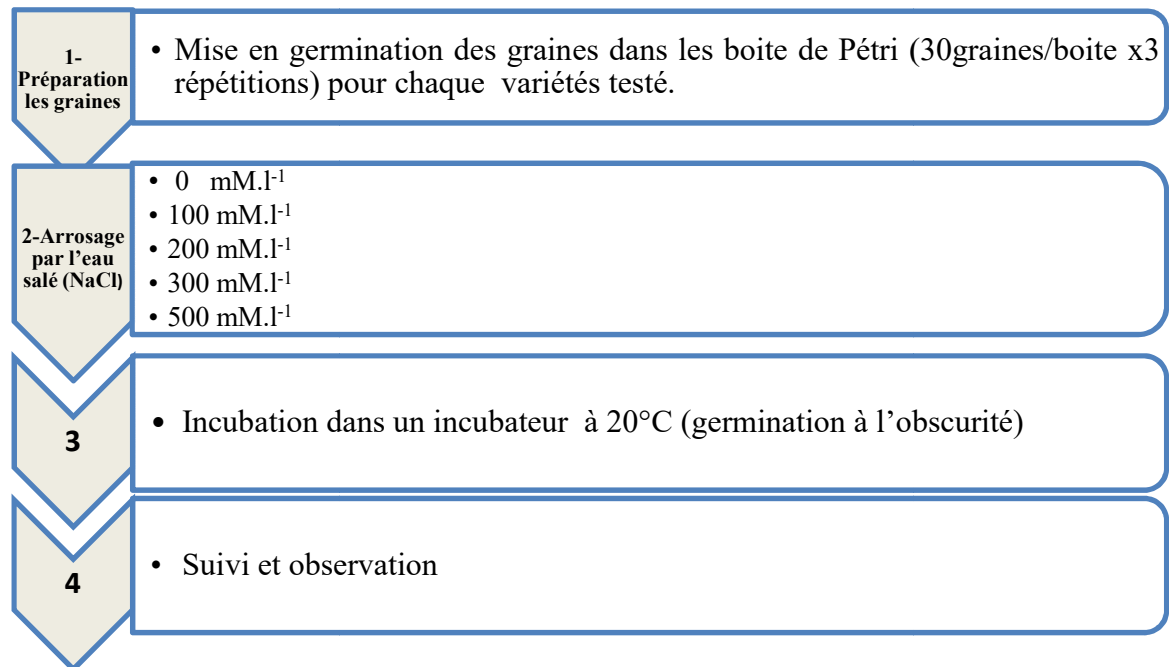
Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes du NaCl sur la germination des graines de plusieurs variétés de quinoa (six variétés).

Les tests de germination ont été effectués sous différentes concentrations de chlorures de sodium (NaCl). Pour chaque variété, des graines au nombre de 30 sont mises à germer dans des boîtes de pétri couvertes le papier filtre, nous avons ajouté des solutions contenant (0 mM.l^{-1} , 100 mM.l^{-1} , 200 mM.l^{-1} , 300 mM.l^{-1} , 500 mM.l^{-1}) de NaCl/ litre (stress salin). Les boîtes sont mises à l'obscurité dans un incubateur réglé à une température de 20°C (fig.17). La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins 2 mm.



Fig. 17. Test de germination du quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) dans l'incubateur (photo original).

Protocole expérimentale adopté pour l'étude de la contrainte saline sur la germination des graines :



1.1.4. Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

A .Taux de germination finale

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (**Côme 1970**).

Le taux de germination (Tg) est calculé selon la relation :

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

- Ni : nombre des graines germées.
- Nt : nombre totale de graines utilisées.

B. Cinétique de germination

Elle permet de mieux appréhender le comportement germinatif des génotypes étudiés ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Cette cinétique est établie à partir des taux cumulés de graines germées c'est-à-dire la variation des taux de germination en fonction du temps exprimé en jour sous toutes les conditions de traitement testé. Les courbes de germination donnent une idée complète de l'évolution de la germination d'un lot de semences placé dans des conditions déterminées (Hajlaoui, Denden et al. 2007).

C. Longueur de la radicule

La longueur de la radicule a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse (Fig.18). Elle correspond à la longueur finale de la radicule après plusieurs jours (cinq jours) de croissance dans les différentes concentrations salines (Alaoui, El Jourmi et al. 2013).

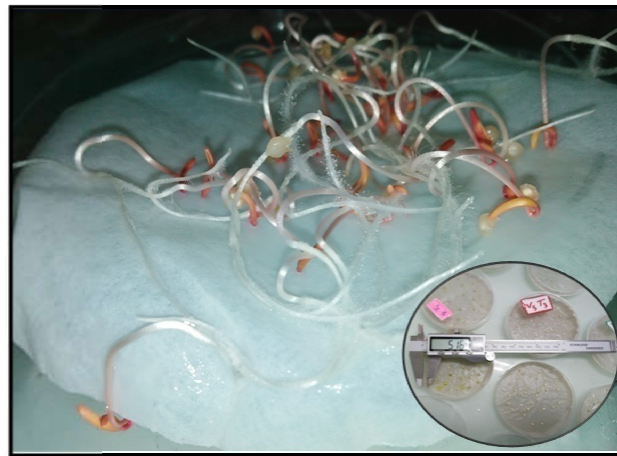


Fig. 18. Mesure la longueur de la radicule du quinoa par un pied à coulisse (photo originale).

D. Cinétique de croissance racinaire

Elle représente l'évolution de la croissance racinaire à travers des mesures faites chaque jour par un pied à coulisse.

E. Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination)

Selon **Osborne et al (1993)** in **Alaoui, El Jourmi et al. (2013)**, MDG est le pourcentage de germination final/nombre de jours à la germination finale .

F. Vitesse de germination

La vitesse de germination (VG) est définie selon **Côme (1970)** comme étant le temps mis par les semences pour germer ; elle peut s'exprimer par un pourcentage, un temps ou un coefficient . Nous l'avons exprimée en taux selon la relation de **Kotowski (1926)**:

$$VG = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + \dots + N_n T_n}$$

N1 : nombre de graines germées au temps T1.

N2 : nombre de graines germées entre T1 et T2.

G. Précocité de germination

Ce paramètre est déterminé lorsque nous observons les premières graines germées. Dans ce cas, la précocité de germination est exprimée par le taux des premières graines germées correspondant à l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées (**Belkhodja 1996**) . Généralement la précocité de la germination correspond au pourcentage des graines germées après 24 h du semis (fig.19).



Fig. 19. Les premières graines germées après 24 h du semis (photo originale).

H. Longueur de l'épicotyle

La longueur de l'épicotyle a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse. Elle correspond à la longueur finale de l'épicotyle après plusieurs jours de croissance dans les différentes concentrations salines (fig.20).

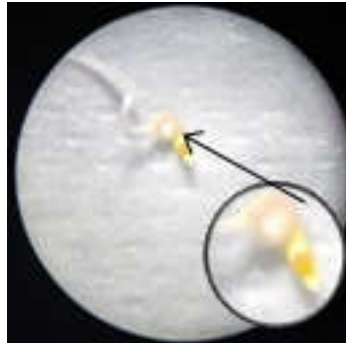


Fig. 20. L'épicotyle de la graine de quinoa (photo originale).

2. Deuxième essais (Phase plantule)

2.1. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans une chambre de culture, au niveau du laboratoire. Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec 03 blocs. Chaque bloc est constitué d'une série de pots de 5 traitements (Fig.21).

Deux facteurs sont étudiés à travers ce dispositif :

- le premier facteur étudié est le stress salin avec 5 niveaux (5 traitements : l'eau distillée et 4 concentrations de NaCl), le stress a été appliqué à partir de l'apparition de la quatrième feuille.
- le deuxième facteur étudié est représenté par les variétés avec 6 variétés.

V1: Q101 (Yellow Marangani)

V2: Q102 (Yellow Sacaca)

V3: Q103 (Junin White)

V4: Q104 (Koncolla)

V5: Q105 (Salcedo INIA)

V6 : Santamaria

2.2. Disposition des pots dans les trois blocs (Annexe 01)



Fig. 21. Disposition de l'essai dans la chambre de culture (photo originale).

2.3. Méthodologie de travail

Pour réaliser ce travail, nous avons adopté la méthodologie suivante :

2.3 .1 Préparation des solutions

On a utilisé l'eau de robinet comme témoin avec des solutions de NaCl à différentes concentrations. Dans ce travail 4 solutions salines ont été préparé à partir de l'eau de robinet (CE =1700 ms) et le chlorure de sodium NaCl, dont les proportions sont indiquées au tableau suivant :

Tab. 04: composition des solutions salines (deuxième essai).

Solution	Concentration de NaCl (g.l ⁻¹)	Concentration de NaCl (mM)
S0	0	0
S1	5,84	100
S2	11,67	200
S3	17,53	300
S4	29,22	500

2.3 .2. Préparation des graines

Avant le semis, les gaines choisies doivent être saines et elles ont été sélectionnées selon leur taille, leur forme et leur couleur.

2.3 .3 . Préparation du substrat de culture

Le substrat de culture utilisé est un mélange de sable et de terreau. Avant son utilisation, ce sable a subi un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable propre.

Afin de déterminer la salinité du substrat, nous avons mesuré la conductivité électrique (CE) et obtenu le résultat suivant :

Tab.05 : l'analyse de la salinité du substrat.

Conductivité électrique (CE)	Les valeurs (ds /m)	L'interprétation
CE ₁	1 .186	Non salin
CE ₂	1.753	Non salin

2.3 .4. Préparation des pots

Des pots en plastiques sont remplis par une quantité même quantité d'un mélange de sable et de terreau industrielle (2 volume de terreau + 1 volume de sable) (Fig22).



Fig. 22. Les pots en plastique remplis par des quantités égales d'un mélange de sable et de terreau industriel (photo original).

2.3 .5. Semis

Le semis a été réalisé le 30/04/2019. Il à été effectué manuellement à raison de cinq graines par pot de chaque variétés à une profondeur de 2cm. Les semences sont bien couvertes et tassées afin de favoriser un meilleur contact sol-graine (fig.23).



Fig. 23. semis des graines et étiquetage des gobelets (photo originale).

2.3 .6. Application du stress salin

Le stress salin est appliqué à partir de l'apparition de la quatrième feuille (14/05/2019). Les plants ont atteint l'âge de quatorze jours (fig.24).



Fig. 24. Stade d'application du stress salin sur la plante de quinoa. (Photo originale).

2.4. Les paramètres retenus

2.4 .1 Les paramètres mesurés

Pour réaliser l'objectif de notre essai nous avons pris en considération les paramètres Suivants :

A. Hauteur de la tige principale

La longueur de la tige est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse (mm). La hauteur a été mesurée de la surface du sol à l'extrémité de la plante.

B. Hauteur de la racine principale

La longueur de la racine est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse (mm). La longueur a été mesurée de la surface du sol à la fin de la partie racinaire de la plante.

C. Nombre de feuilles par plante

On comptabilise toutes les feuilles vraies qui ont pris leurs formes définitives et qui soient bien visibles.

D. Nombre d'entre nœuds

Il représente le nombre d'entre nœuds élaborés par la plante jusqu'à la fin de l'essai.

2.4 .2. Paramètres de biomasse

A. Poids frais

La coupe a été effectuée au niveau du collet. On pèse à l'aide d'une balance de précision toute la partie aérienne ainsi que la partie racinaire. (Fig.25)



Fig. 25. Mesure le poids frais de quinoa (photo originale).

B .Poids sec

Après la pesée de la matière fraîche on place les plantes coupées dans une étuve pendant 24h à 80°C pour obtenir le poids sec (fig.26). On pèse à l'aide d'une balance de précision toute la partie aérienne ainsi que la partie racinaire.



Fig. 26. Etuvage des parties aériennes et partie racinaires de quinoa dans une étuve. (Photo originale).

2.5. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont traités et analysés à l'aide du logiciel R. Des analyses de variances ont été faites afin de déterminer si les traitements appliqués ont eu un effet significatif sur les variétés étudiées mais aussi s'il y avait une variabilité à l'intérieur de ces variétés en réponse au stress salin appliqué. Pour la comparaison et l'interprétation de nos résultats nous avons utilisé aussi des matrices de corrélation, une analyse en composantes principales (ACP) et une classification ascendante hiérarchique (CAH).

Résultats et discussions

1. Résultats

1.1. Résultats du premier essai

1.1.1. Taux de germination final (TGF)

L'analyse de variance pour le taux de germination final montre qu'il y a des différences très hautement significatives entre les différentes variétés étudiées ainsi que pour les différents niveaux de stress salin appliqué (Tab.06). Une interaction entre ces deux facteurs a aussi été mise en évidence.

Tab. 06 : Analyse de variance de taux de germination final (TGF).

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.784	3.919	45.683	2,00E-16	***
Traitement	4	4.247	16.986	247.537	2,00E-16	***
Bloc	2	0.035	0.070	2.046	0.138	
VAR x TRT	20	0.083	1.652	4.816	1.35e-06	***
Résiduels	58	0.017	0.995			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements en deux groupes distincts (Annexe03). Le premier groupe renferme les traitements T0, T1, T2 et T3, alors que le deuxième groupe est composé seulement du traitement T4. En effet, Les résultats obtenus montrent (Fig. 27) que le taux de germination final des graines diminue légèrement au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente, mais on remarque qu'une fois la concentration saline a atteint les 500 mM.l⁻¹ (T4) le taux de germination des graines diminue d'une manière importante. La variété V3 (Q103) est la variété qui a été la plus affectée avec 3.33% de taux de germinations (Annexe 02).

Le test de Newman et Keuls nous a permis aussi de regrouper les variétés en quatre groupes homogènes (Annexe 02), Le premier groupe est composé de la variété Santa Maria (V6) avec 85% et V4 (Q104) avec 81% de taux de germination. Le deuxième groupe rassemble deux variétés Q105 (V5) et Q103 (V3) avec respectivement 79% et 76%, suivie de la variété Q101 (V1) avec 71%. Le dernier groupe est composé de la variété Q102 (V2) avec 61% de taux de germination.

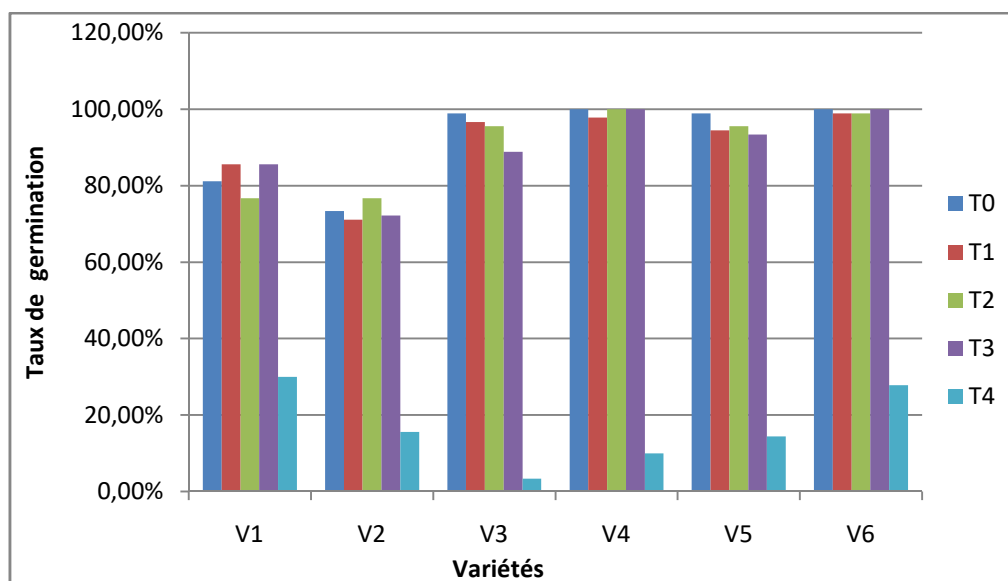


Fig. 27. Variation du taux de germination finale des différentes variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress salin.

1.1.2. Cinétique de germination

Les courbes illustratives de la cinétique de germination (Fig.28) montrent clairement que les taux de germination évoluent progressivement en fonction du temps mais prennent des schémas différents en fonction de la concentration saline appliquée.

Les résultats obtenus après l'application des traitements salins montrent que les courbes relatives à la cinétique de germination des graines traitées (stressées) baissent au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente. Lorsque les graines sont imbibées dans de l'eau distillée (T0), la cinétique de germination évolue sans contrainte et les différences enregistrées sont en fonction de la variété. En effet, en absence de sel, les taux de germination varient entre 70% chez V2 (Q102) et 100% chez V6 (Santa Maria). Cependant quel que soit le traitement appliqué les variétés V1(Q101) et V2 (Q102) ont toujours donné la cinétique la plus faible en comparaison avec les autres variétés.

La progression de la germination à 500 mM.l⁻¹ (T4) a été très faible, démarrant ainsi de 0% chez toutes les variétés le premier jour jusqu'à atteindre des taux qui varient entre 3% chez V3 (Q103) et 23% chez V1(Q101) (Annexe 04).

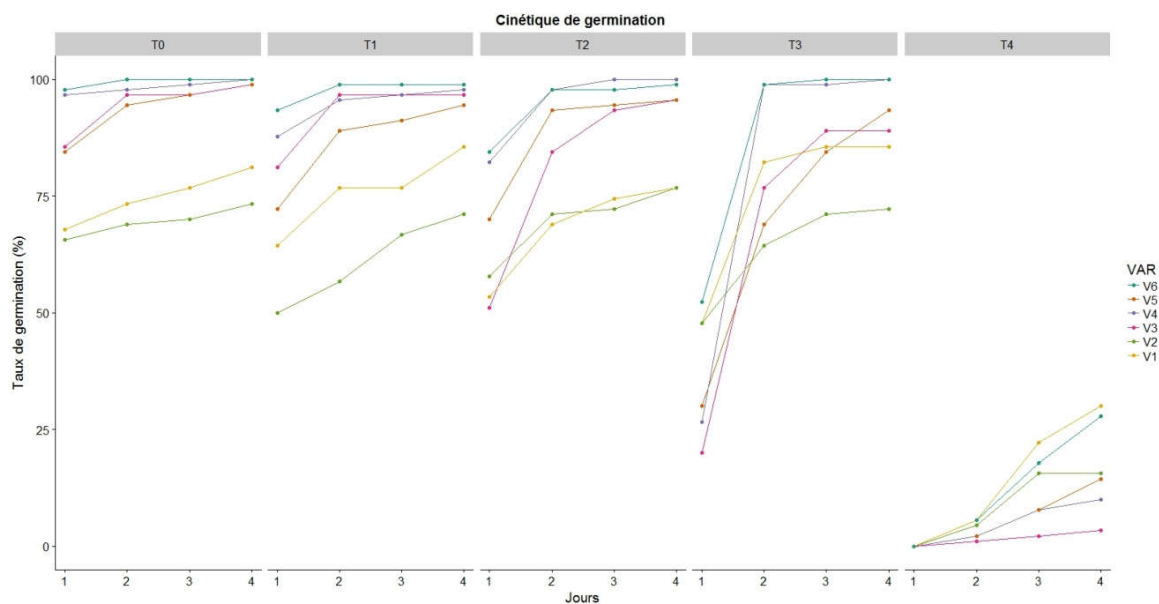


Fig. 28. Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination du quinoa.

1.1. 3. Longueur de la racicule (LRD)

L'analyse de variance pour la longueur de la racicule a permis de mettre en évidence des différences très hautement significatives pour les deux facteurs étudiés, ainsi que pour leur interaction (Tab.07).

Tab. 07 : Analyse de variance pour la longueur de la racicule.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	619	309	13.643	8.36e-09	***
Traitement	4	548	219	120.849	2,00E-16	***
Bloc	2	153	306	33.793	1.86e-10	***
VAR x TRT	20	84	168	1.851	0.0358	*
Résiduels	58	45	263			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer chaque traitement salin en un groupe distinct (Annexe 06), suggérant que chaque traitement salin a eu un effet différent sur les variétés de quinoa étudiées.

Concernant les variétés, le test de Newman et Keuls a fait ressortir deux groupes homogènes (Annexe05). Le premier groupe rassemble les variétés Q105 (V5), Q104 (V4), Santa Maria (V6), Q103 (V3), où nous avons enregistré les longueurs racinaires les plus importantes, alors que le deuxième groupe qui est composé des variétés Q102 (V2), Q101 (V1) rassemble les variétés qui ont données les valeurs les plus faibles.

Les résultats obtenus montrent que quelque soit la variété la longueur de la racine diminue progressivement au fur et à mesure que la concentration saline augmente.

Cependant la variété V3 (Q103) s'est distinguée par une longueur racinaire très faible (Fig. 29) sous l'effet d'une concentration saline très élevée (500 mM.l⁻¹).

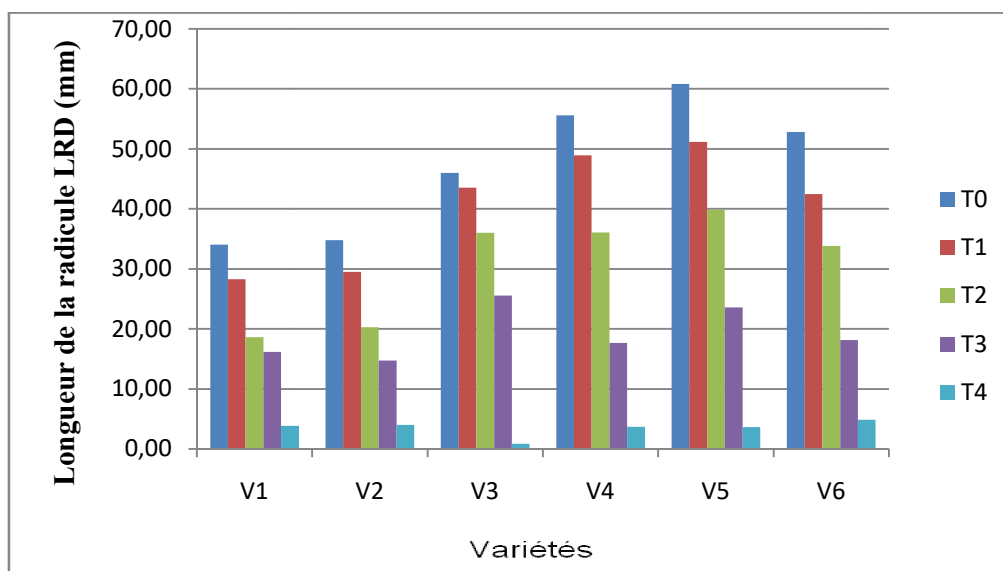


Fig. 29. Variation de la longueur de la racine chez six variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

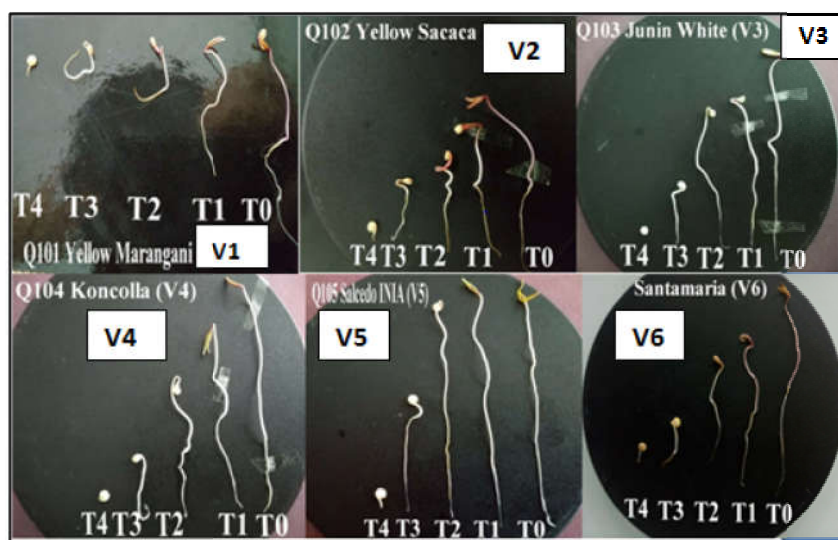


Fig. 30. Effet de salinité sur la longueur racinaire des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines (photo originale).

1.1.4. Cinétique de croissance racinaire (LRD)

Les courbes obtenues relatives à la croissance racinaire montrent clairement l'effet dépressif de l'augmentation de la concentration saline sur la cinétique de croissance de la racicule (Fig. 31). En effet la croissance racinaire évolue progressivement en fonction du temps mais cette évolution devient très négligeable une fois que la concentration saline atteint les 500 mM.l⁻¹ (T4).

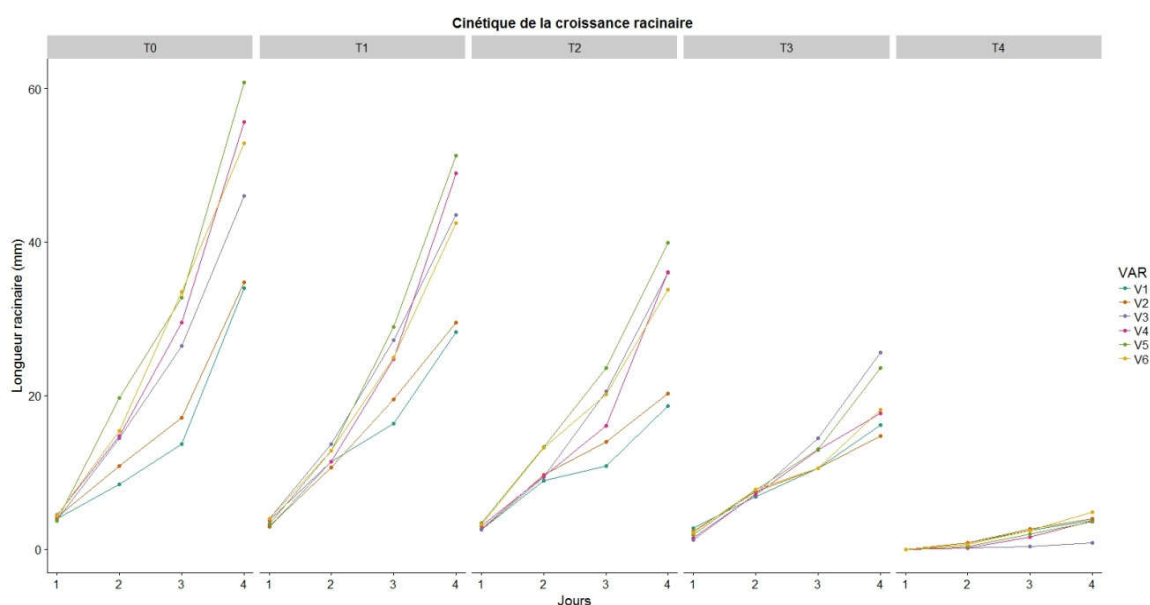


Fig. 31. Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de croissance racinaire du quinoa.

Lorsque les graines sont au contact de l'eau distillée (T0) la cinétique de croissance racinaire évolue sans contrainte et les différences enregistrées reflètent la variabilité qui existe entre les variétés étudiées. En effet, en absence de sel, les longueurs racinaires varient entre 62 mm chez V5 (Q105) et 33 mm chez V1 (Q101) (Annexe 07).

Quelques soit le traitement appliqué les variétés V1 et V2 ont toujours données la cinétique qui a la tendance la plus faible en comparaison avec les autres variétés. Par contre, à 500 mM.l⁻¹ (T4) il n'y a pas une grande différence entre les variétés.

1.1.5. La moyenne journalière de germination (MDJ)

Des différences très hautement significatives ont été mises en évidence par l'analyse de variance concernant les deux facteurs étudiés ainsi que pour leur interaction (Tab.08).

Tab. 08 : Analyse de variance de la moyenne journalière de germination.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.006	0.031	22.564	1.71e-12	***
Traitement	4	0.124	0.499	453.626	2,00E-16	***
Bloc	2	0.0007	0.001	2.772	0.0708	NS
VAR x TRT	20	0.001	0.021	3.969	2.04e-05	***
Résiduels	58	0.0002	0.015			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements salins en deux groupes différents (Annexe 09). Le premier groupe rassemble les traitements T0, T1, T2, T3 où nous avons observé que la moyenne journalière de germination est restée relativement stable avec un taux moyen journalier d'environ 23%. Le deuxième groupe est constitué uniquement du traitement T4 où nous avons observé que la moyenne journalière de germination a fortement baissé avec un taux moyen de l'ordre de 4%.

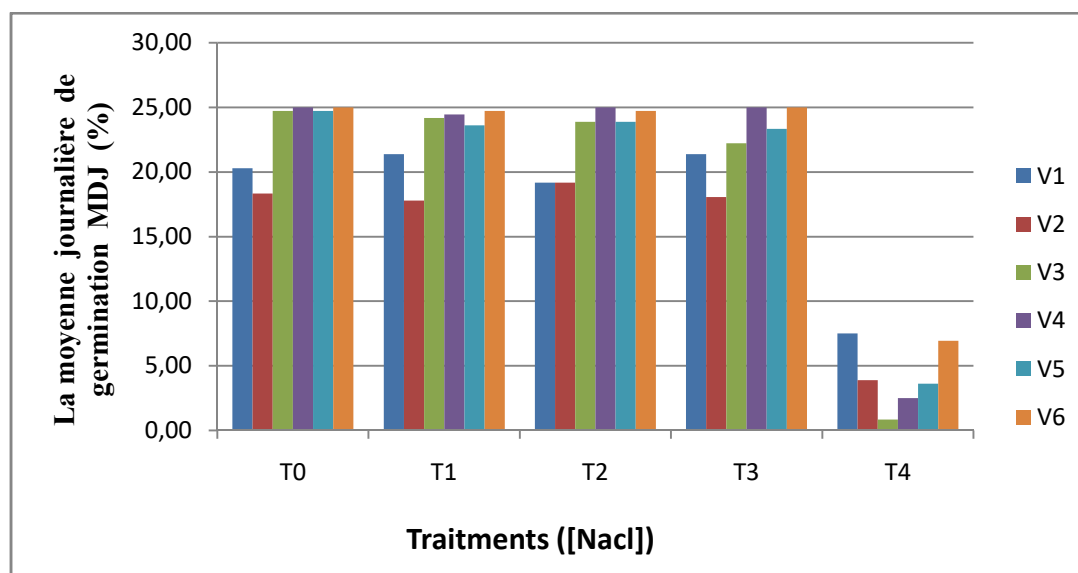


Fig. 32. Moyenne journalière de germination de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

Le test de Newman et Keuls appliqué sur les variétés a permis aussi de classer chaque variété dans un groupe séparé (Annexe 08). En effet, Le taux moyen journalier de germination varie

entre 21% chez la variété Santa Maria (V6) et 15 % chez la variété Q102 (V2). Cependant, la variété Q103 (V3) a été la plus touchée par la variation de la salinité avec une réduction du taux moyen journalier de germination allant jusqu'à 96% (Fig. 32).

1.1.6. Précocité de germination (PG)

L'analyse de variance pour la précocité de germination a permis de mettre en évidence un effet très hautement significatif pour les deux facteurs étudiés. L'interaction entre ces deux facteurs a aussi été très hautement significatif (Tab. 09).

Tab. 09 : Analyse de variance pour la précocité de germination.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.355	1.777	14.627	2.88e-09	***
Traitement	4	3.258	13.032	134.089	2,00E-16	***
Bloc	2	0.086	0.172	3.531	0.0357	*
VAR x TRT	20	0.088	1.768	3.638	6.25e-05	***
Résiduels	58	0.024	1.409			

La comparaison entre les moyennes des traitements par le test de Newman et Keuls a permis de mettre chaque traitement en un groupe distinct (Annexe11), suggérant que chaque concentration saline a eu un effet différent sur les variétés pour la précocité de germination.

Le test de Newman et Keuls appliqué aux variétés a permis de les regrouper en trois groupes homogènes (Annexe10). Le premier groupe est composé de la variété Santa Maria (V6) avec 65% de taux de germination suivie de la variété Q104 (V4) avec 58%. Le troisième groupe rassemble les variétés Q105 (V5), Q103 (V3), Q101 (V1), Q102 (V2) avec respectivement : 51% ,47% ,46% et 44%.

La comparaison entre les moyenne montre que quel que soit la variété, le taux de germination relevé après une journée de traitement diminue au fur et à mesure que la concentration saline augmente, à l'exception de T4 (500 mM.l-1) où aucune variété n'a réussi à germer (Fig.33).

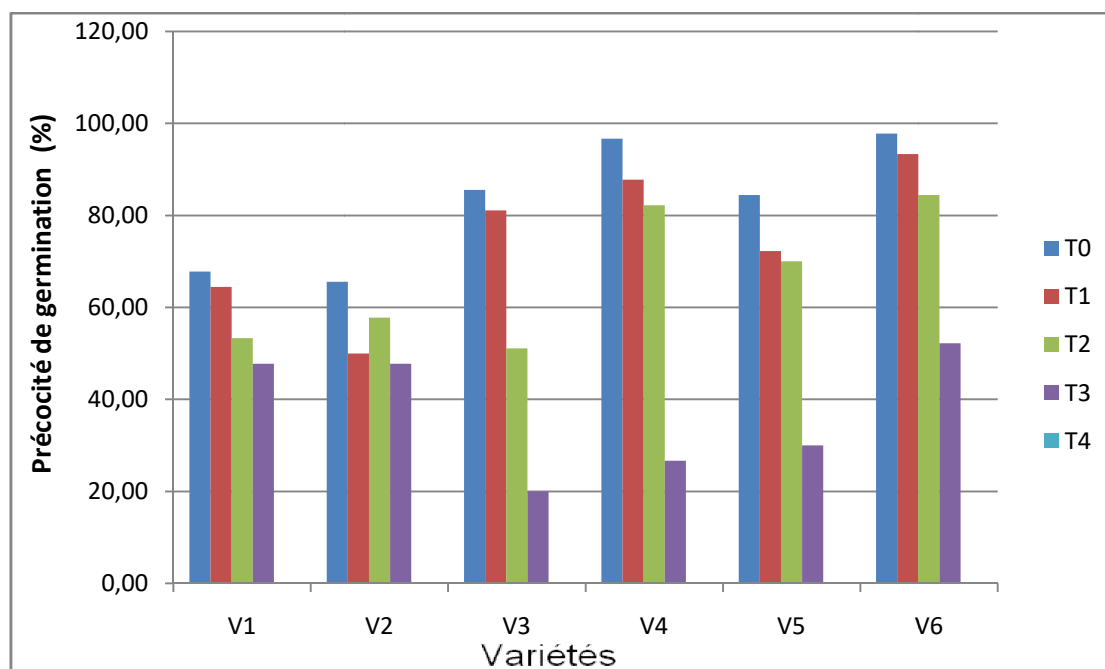


Fig. 33. Précocité de germination des graines de Quinoa étudiées en fonction de la concentration en NaCl.

1.1.7. Longueur de l'épicotyle (LEP)

L'analyse de variance pour la longueur de l'épicotyle a permis de faire ressortir des différences significatives entre les moyennes pour le facteur variété et très hautement significatives pour le facteur traitement salin. Par contre aucune interaction entre les traitements et les variétés n'a été révélée (Tab.10).

Tab. 10 : Analyse de variance pour la longueur de l'épicotyle.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	4.53	22.6	2.613	0.0337	*
Traitement	4	199.53	798.1	115.100	2,00E-16	***
Bloc	2	29.59	59.2	17.070	1.48e-06	***
VAR x TRT	20	2.87	57.4	1.655	0.0700	NS
Résiduels	58	1.73	100.5			

La comparaison entre les moyennes a permis de classer les traitements salins en trois groupes distincts. Le premier groupe concerne les traitements T0 et T1, le deuxième avec T2 et le troisième englobe les traitements T3 et T4 (Annexe 13).

La comparaison entre les moyennes des variétés a fait ressortir trois groupes homogènes (Annexe 12). Le premier groupe est composé de la variété Q101 (V1) avec 4.62 mm et Q102

(V2) avec 4.52 mm de longueur. Le deuxième contient seulement la variété Q104 (V4) avec 4.13mm, alors que le troisième groupe rassemble les variétés Q103 (V3), Santa Maria (V6) et Q105 (V5) avec respectivement : 3.54 mm, 3.46 mm, 3.14 mm de longueur.

Chez les variétés V3, V4, V5 et V6 la longueur de l'épicotyle diminue progressivement en fonction de l'augmentation de la concentration saline, mais aucune présence de l'épicotyle n'a été signalée pour les graines soumises aux concentrations 300 et 500 mM.l⁻¹. Par contre chez les variétés V1 et V2 on remarque que la longueur de l'épicotyle est contre toute attente plus élevée dans les concentrations T1 et T2 en comparaison avec T0 (Fig. 34).

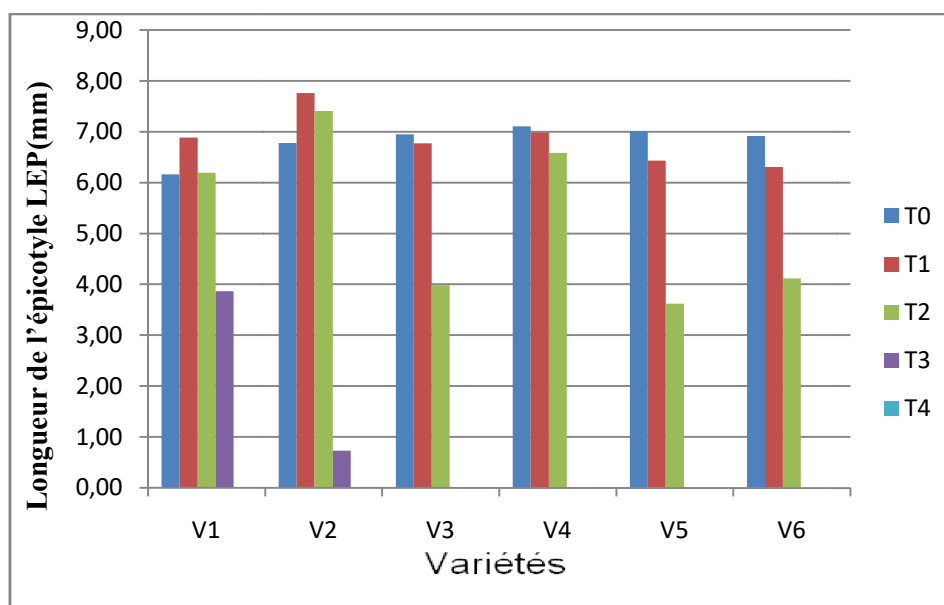


Fig. 34. La longueur de l'épicotyle en fonction de la concentration en NaCl.

1.1.8. Vitesse de germination (VG)

L'analyse de variance pour la vitesse de germination a permis de mettre en évidence des différences hautement significatives entre les variétés et très hautement significatives entre les traitements salins étudiés. Par contre aucune interaction entre les traitements et les variétés n'a été révélée (Tab.11).

Tab. 11 : Analyse de variance de la vitesse de germination.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	22.15	110.8	3.603	0.00704	**
Traitement	4	69.67	278.7	11.333	1.02e-06	***
Bloc	2	42.14	84.3	6.855	0.00225	**
VAR x TRT	20	8.67	173.3	1.410	0.15952	NS
Résiduels	53	325.8	6.15			

Le test de Newman et Keuls a permis de faire ressortir deux groupes homogènes concernant les traitements salins appliqués (Annexe 15). Le premier groupe englobe les traitements T0 et T1 et le deuxième groupe rassemble les traitements T2, T3 et T4.

La comparaison entre les moyennes a permis de classer les variétés en trois groupes homogènes (Annexe 14). Le premier groupe est composé de variété santa maria (V6 et la variété Q104 (V4)) avec respectivement 4.42% et 4.37%. Le deuxième groupe est composé exclusivement de la variété V5 (Q105) avec 2.56%. le troisième groupe rassemble les variétés Q102 (Yellow Sacaca ,V2) et Q103 (Junin White , V3), et Q101 (V1) avec respectivement : 1.89 %, 1.82% et 1.7%.

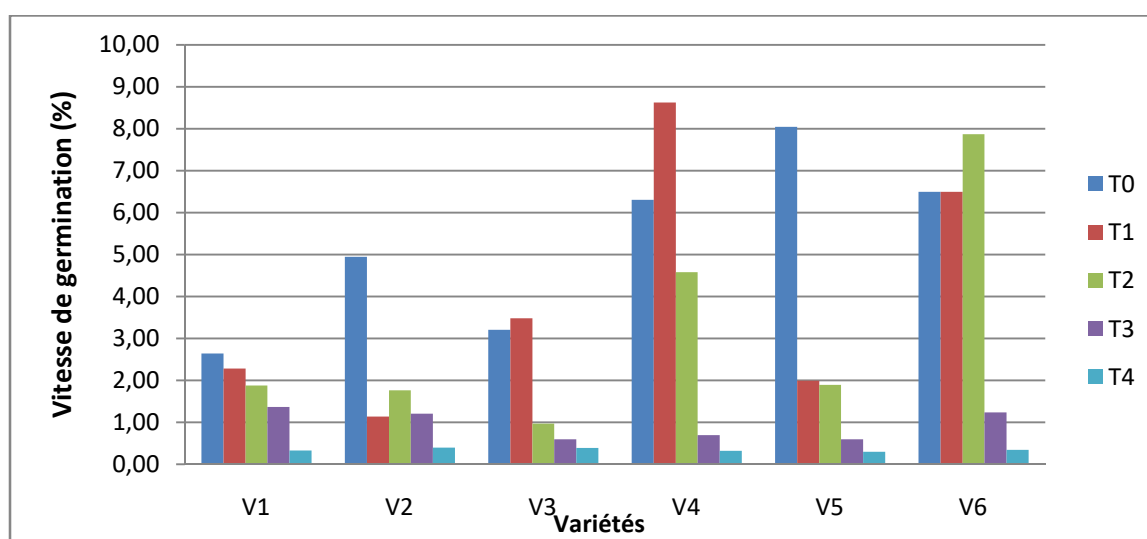


Fig. 35. la vitesse de germination en fonction des variétés de Quinoa et des traitements salins.

1.2. Résultats du deuxième essai

1.2.1. Analyse de variance

1.2.1.1. Paramètre morphologique

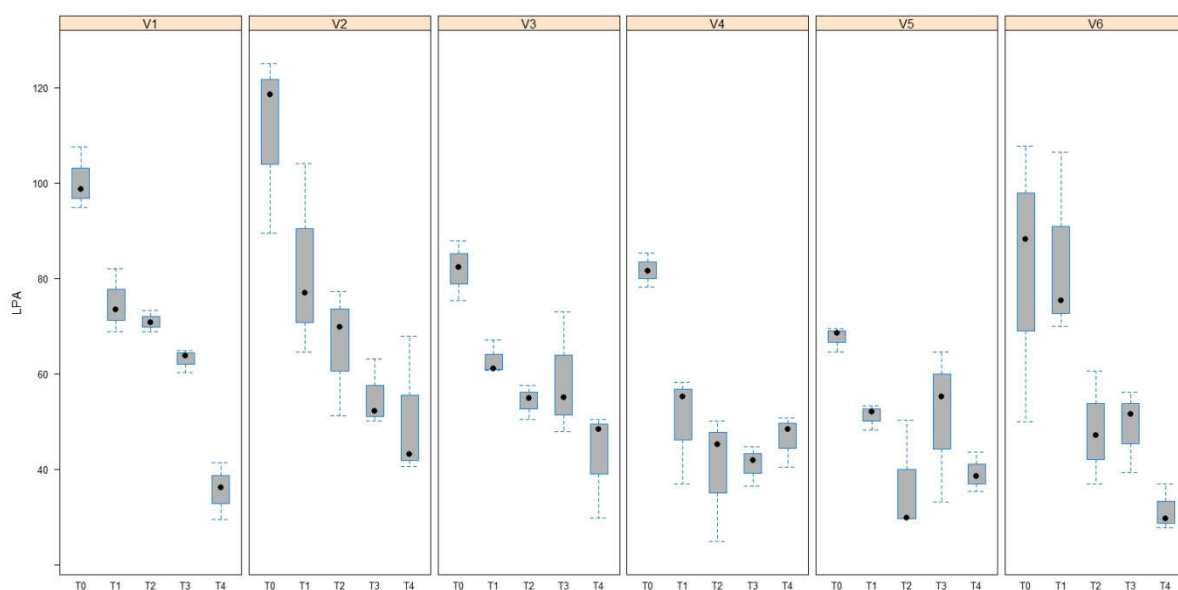
A .La longueur de la partie aérienne (LPA)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différents traitements salins appliqués pour le paramètre longueur de la partie aérienne, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs a aussi été significative (Tab.12).

Tab. 12 : Analyse de variance pour la longueur la partie arienne.

	DDL	S.C.E	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	6482.2	1296.4	10.2398	4.565e-07	***
Traitement	4	22850.2	5712.6	45.1203	2.2e-16	***
Bloc	2	690.8	345.4	2.7283	0.07372	NS
VAR x TRT	20	5017.1	250.9	1.9814	0.02260	*
Résiduels	58	7343.2	126.6			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements salins en quatre groupes distincts (Annexe 16). Les variétés sont groupées aussi en quatre groupes homogènes (Annexe 17). Le premier groupe est composé de la variété Q102 (V2) et Q101 (V1) avec 72.92 mm et 68.98 mm respectivement, suivie de la variété Q103 (V3) avec 60.14 mm. Le troisième groupe rassemble les variétés Santa maria (V6) avec 58.92 mm et Q104 (V4) avec 51.91 mm. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété V5 (Q105) avec 49.11mm.

**Fig. 36.** Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour la longueur foliaire (LPA).

Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées et ceci quelques soit le traitement salin appliqué (Fig.36). L'effet du stress salin a été très important sur ce paramètre et ceci pour toutes les variétés étudiées, avec des taux de réductions allant jusqu'à 32.65 % chez la variété Q105 (V5) (Annexe 17).

B .La longueur de partie racinaire (LPR)

Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées et ceci quel que soit le traitement salin appliqué (Fig.37). L'effet du stress salin a été très important sur ce paramètre et ceci pour toutes les variétés étudiées. En effet l'analyse de variance a montré des différences très hautement significatives entre les différents traitements salins appliqués pour le paramètre de la longueur racinaire. L'effet variétés a aussi été significatif alors que l'interaction entre les deux facteurs étudiés n'a pas été significative (Tab.13).

Tab. 13 : Analyse de variance pour la longueur de la partie racinaire.

	DDL	S.C.E.	C .M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	4872.2	974.4	3.0189	0.017258	*
Traitement	4	17530.9	4382.7	13.5780	7.142e-08	***
Bloc	2	3437.2	1718.6	5.3243	0.007535	**
VAR x TRT	20	7564.9	378.2	1.1718	0.310486	NS
Résiduels	58	18721.3	322.8			

Le test de Newman et Keuls pour la longueur de la partie racinaire a permis de regrouper les variétés en trois groupes homogènes (Annexe 19). Le premier groupe est composé de la variété Q102 (V2) avec 85.70 mm. Le deuxième groupe englobe les variétés Q101 (V1), Q103 (V3), Q104 (V4) et Q105 (V5), alors que le troisième est composé de la variété Santa maria (V6). Cette dernière a été la plus touchée par l'effet du sel avec un taux de réductions de 26.19 %.

Le test de Newman et Keuls appliqué aux traitements a permis de faire ressortir deux groupes homogènes, le premier rassemble les traitements T0, T1, T2 et T3 et le deuxième est composé du traitement T4 (Annexe 20).

Les résultats obtenus montrent que les traitements T0, T1, T2 et T3 n'ont pratiquement pas eu d'effet dépressif sur la longueur des racines contrairement au traitement T4 (500 mM.l⁻¹).

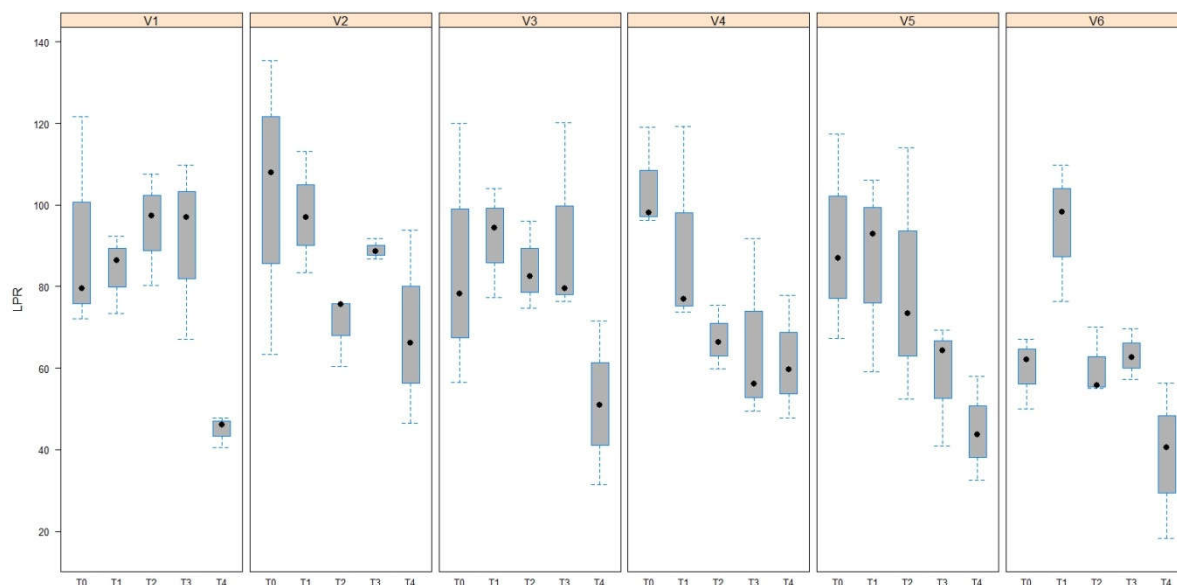


Fig. 37. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour la longueur de partie racinaire (LPR).

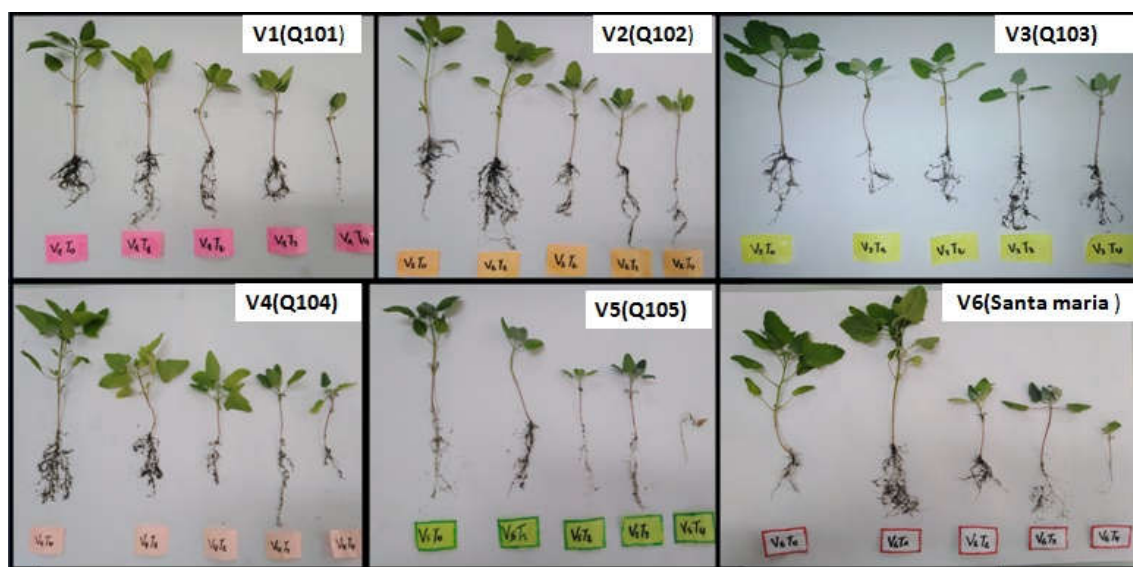


Fig. 38. Effet de la salinité sur la longueur de la partie racinaire et aérienne de six variétés de quinoa cultivées en pots (photo originale).

C. Nombre de feuilles par plante (NF)

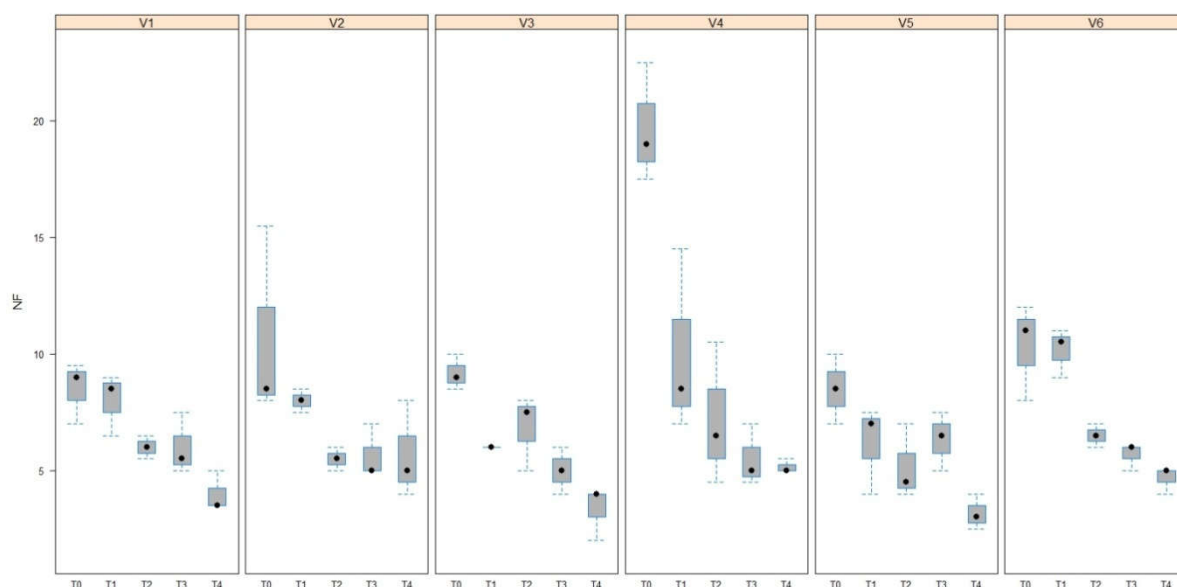
L'analyse de variance pour les nombres de feuilles par plante (NF) fait ressortir des différences très hautement significatives entre les moyennes des différentes variétés et un effet très hautement significatif pour le stress salin appliqué. Et il y a interaction entre les deux facteurs étudiés.

Tab. 14 : Analyse de la variance pour le nombre de feuilles par plante.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	26.525	132.63	10.5506	3.097e-07	***
Traitement	4	124.535	498.14	49.5349	2.2e-16	***
Bloc	2	13.008	26.02	5.1742	0.008556	**
VAR x TRT	20	10.851	217.03	4.3162	6.548e-06	***
Résiduels	58	2.514	145.82			

La comparaison entre les moyennes des variétés a fait ressortir deux groupes différents. La variété Q104 (V4) qui a donné le nombre le plus élevé en feuille (9.5) a formée à elle seul le premier groupe. Les autres variétés V6, V2, V1, V3 et V5 ont composées le deuxième groupe avec des valeurs qui varient entre 5.8 (V6) et 7.5 (V5) (Annexe 22). La comparaison entre les moyennes des différents traitements salins appliqués fait ressortir quatre groupes distincts (Annexe 23).

Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées et ceci quelques soit le traitement salin appliqué (Fig. 39).


Fig. 39. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le nombre de feuilles par plante (NF).

D .Nombre d'entre nœuds (NEN)

L'analyse de variance pour le nombre d'entre nœuds montre des différences significatives entre les six variétés de quinoa (Tab. 15), ce qui suppose une très grande variabilité génétique. En effet la comparaison entre les moyennes des variétés a permis de les regrouper en trois

groupes homogènes. Le groupe A rassemble les variétés Q104 (V4) et Santa maria (V6), alors que le groupe Ab concerne les variétés Q101(V1), Q102 (V2) et Q103 (V3). Le groupe B concerne seulement la variété Q105 (V5) (Annexe 25).

Tab. 15: Analyse de la variance pour le nombre d'entre nœuds.

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	1.889	9.447	2.4018	0.04775	*
Traitement	4	25.044	100.178	31.8354	4.885e-14	***
Bloc	2	0.602	1.206	0.7662	0.46941	NS
VAR x TRT	20	1.156	23.122	1.4696	0.12864	NS
Résiduels	58	0.786	45.628			

L'analyse de variance pour le facteur stress salin a fait ressortir un effet très hautement significatif et le test de Newman et Keuls a révélé quatre groupes homogènes (Annexe 26). L'effet du stress salin a été très important sur ce paramètre et ceci pour toutes les variétés étudiées, avec des taux de réductions allant jusqu'à 27.77 % chez la variété Santa maria (V6) (Annexe 25).

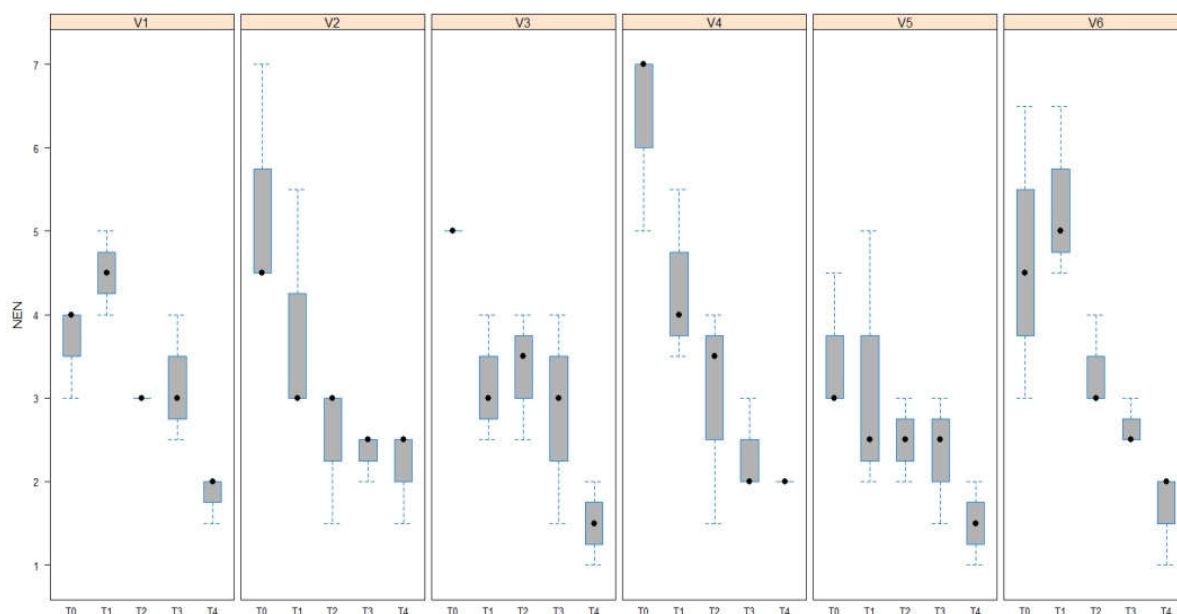


Fig. 40. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le nombre d'entre nœuds (NEN).

1.2.1.2. Paramètres de biomasse

A .Poids frais aérienne (PFA)

Pour le poids frais aérien l'analyse de variance n'a pas montrée de différences entre les moyennes des variétés de quinoa étudiées, par contre l'effet du stress salin a été très hautement significatif (Tab. 16).

Tab. 16 : Analyse de la variance pour le poids frais aérienne (PFA).

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.082	0.412	1.4033	0.2396306	NS
Traitement	4	1.411	5.646	24.0370	4.805e-11	***
Bloc	2	0.482	0.964	8.2093	0.0008416	***
VAR x TRT	19	0.111	2.125	1.9046	0.0361108	*
Résiduels	49	0.058	2.877			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements en trois groupes homogènes, le premier groupe est composé de T0, le deuxième groupe avec T1 et le dernier groupe rassemble les traitements T2, T3 et T4 (Annexe 29). Les résultats de l'effet de la contrainte saline sur la production en biomasses fraîches des parties aériennes sont compris entre 0.586 g enregistré chez la variété Q104 (V4) et 0.361 g chez la variété Q105 (V5) (Annexe 28).

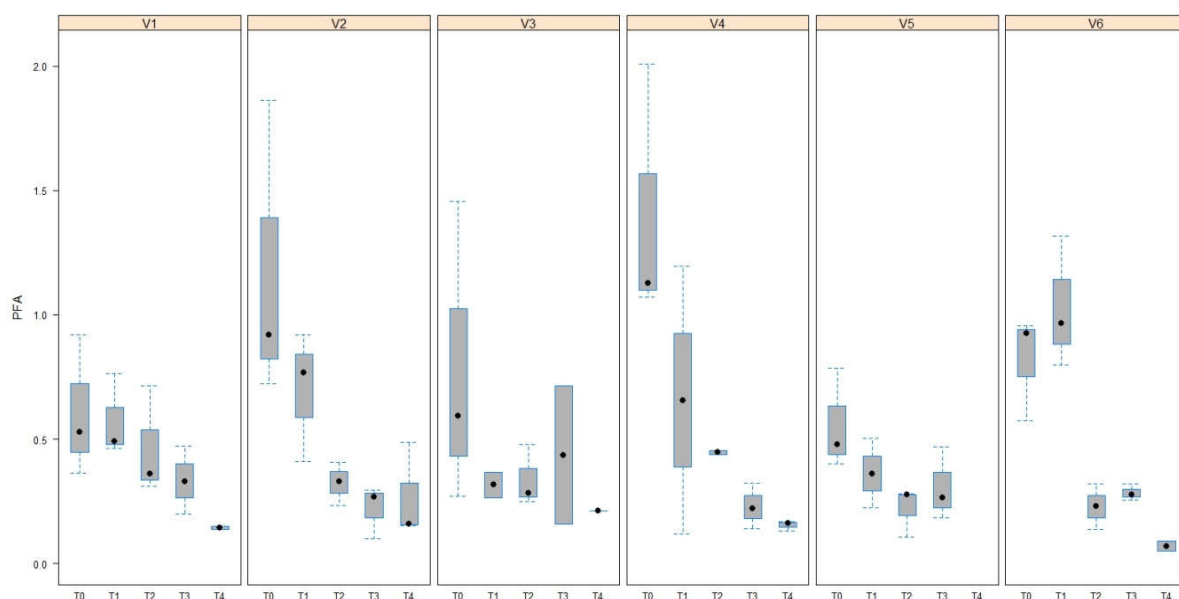


Fig. 41. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids frais aérien (PFA).

B .Poids frais racinaire (PFR)

L'analyse de variance pour le poids frais racinaires a montrée un effet significatif pour le facteur variété et un effet très hautement significatif pour le facteur traitement salin. L'interaction entre les deux facteurs a elle aussi été significatif (tab.17).

Tab. 17 : Analyse de la variance du poids frais racinaire (PFR).

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.007	0.037	2.8971	0.02159	*
Traitement	4	0.022	0.090	8.6704	1.684e-05	***
Bloc	2	0.010	0.020	3.9524	0.02490	*
VAR x TRT	20	0.004	0.098	1.8877	0.03283	*
Résiduels	55	0.002	0.143			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en trois groupes homogènes, le premier groupe est composé de la variété Q102 (V2) avec 0.086 g. Le deuxième groupe est composé de la variété (Q103) V3 avec 0.048 g, alors que le troisième groupe englobe les variétés V4(Q104), V1(Q101), V6 (Santa maria), V5(Q105) avec respectivement 0.039 g, 0.038 g, 0.028 g et 0.023 g (Annexe 31).

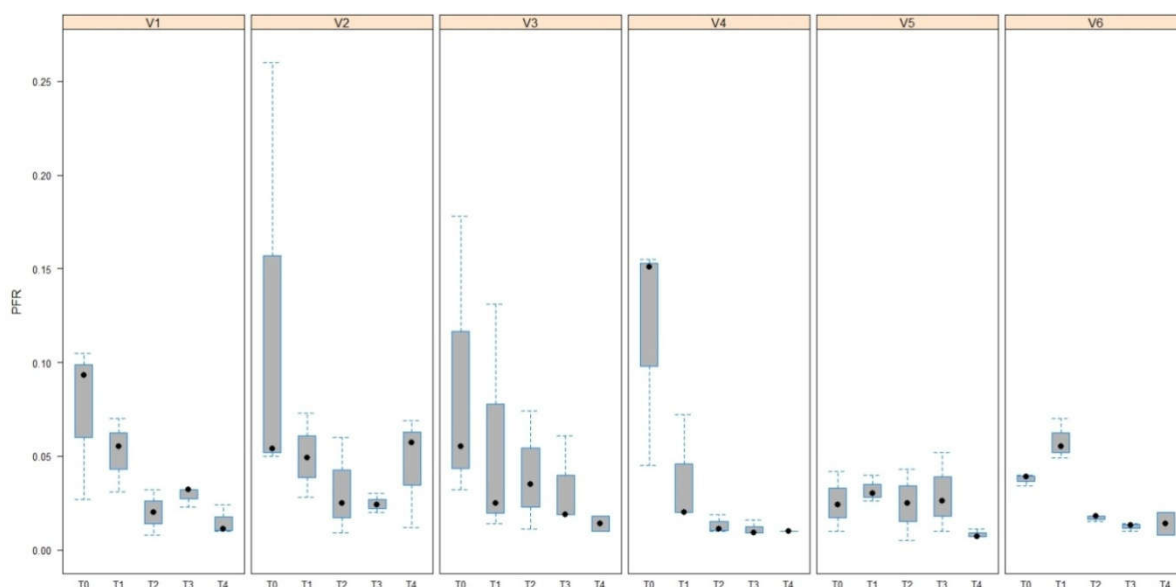


Fig. 42. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids frais racinaire (PFR).

La comparaison entre les moyennes permet de rassembler les traitements T0 dans un groupe et les traitements T1, T2, T3 et T4 dans un deuxième groupe distinct. La moyenne maximale est enregistrée chez le traitement T0 avec une valeur de 0.104g et la moyenne minimale est enregistrée sous le traitement T4 avec une valeur de 0.018g (Annexe 32).

Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées et ceci quel que soit le traitement salin appliqué.

C .Poids sec aérien (PSA)

Les analyses de variance relatives au poids sec aérien ont fait apparaître des différences significatives entre les moyennes relatives aux variétés. Des différences très hautement significatives entre les différents niveaux de stress salin appliqués ont aussi été révélées ainsi qu'une interaction hautement significative entre les deux étudiées (Tab. 18).

Tab. 18 : Analyse de la variance du poids sec aérien (PSA).

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.005	0.029	2.7038	0.029406	*
Traitement	4	0.057	0.229	26.4503	2.418e-12	***
Bloc	2	0.038	0.076	17.6806	1.117e-06	***
VAR x TRT	20	0.005	0.114	2.6494	0.002185	**
Résiduels	56	0.002	0.121			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en trois groupes homogènes. La variété Q104 (V4) avec 0.116 g a donné la moyenne la plus élevée et a formé le premier groupe. Les variétés V2 (Q102), V1(Q101), V6 (Santa Maria) et V3(Q103) ont formé le deuxième groupe avec des valeurs intermédiaires qui varient entre 0.105g et 0.094g. La valeur la plus faible a été enregistrée chez la variété V5 (Q105) avec 0.058 g et a composée à elle seule le troisième groupe (Annexe 34).

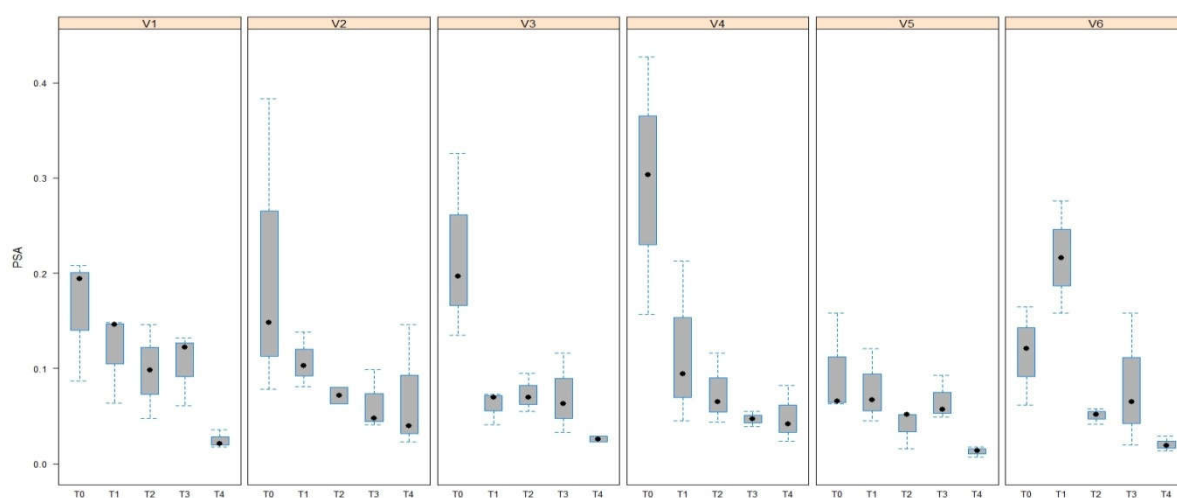


Fig. 43. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids sec aérien (PSA).

La comparaison entre les moyennes des différents traitements a fait ressortir trois groupes homogènes différents (Annexe 35). Les résultats obtenus sont compris entre 0.182 g pour le traitement T0 et 0.034 g pour le traitement T4.

D .Poids sec racinaire (PSR)

L'analyse de variance pour le poids sec racinaires (PSA) a fait apparaître un effet très hautement significatif pour le facteur variété, le facteur traitement ainsi que pour leur interaction (Tab.19).

Tab. 19 : Analyse de la variance du poids sec racinaire (PSR).

	DDL	S.C.E.	C.M	TEST F	PROBA	SIGN
Variété	5	0.0004	0.002	6.6497	0.0001213	***
Traitement	4	0.0006	0.002	9.5097	1.444e-05	***
Bloc	2	0.0011	0.002	16.5586	4.986e-06	***
VAR x TRT	19	0.0003	0.006	5.2652	3.686e-06	***
Résiduels	42	0.00006	0.002			

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en deux groupes homogènes. Le premier groupe est composé de la variété Q102 (V2) avec 0.028 g et le deuxième groupe rassemble les variétés Q101(V1), Q104(V4), V6 (Santa Maria), Q105(V5) et Q103(V3) avec respectivement 0.015g, 0.014g, 0.013g, 0.012g et 0.012g (Annexe 37).

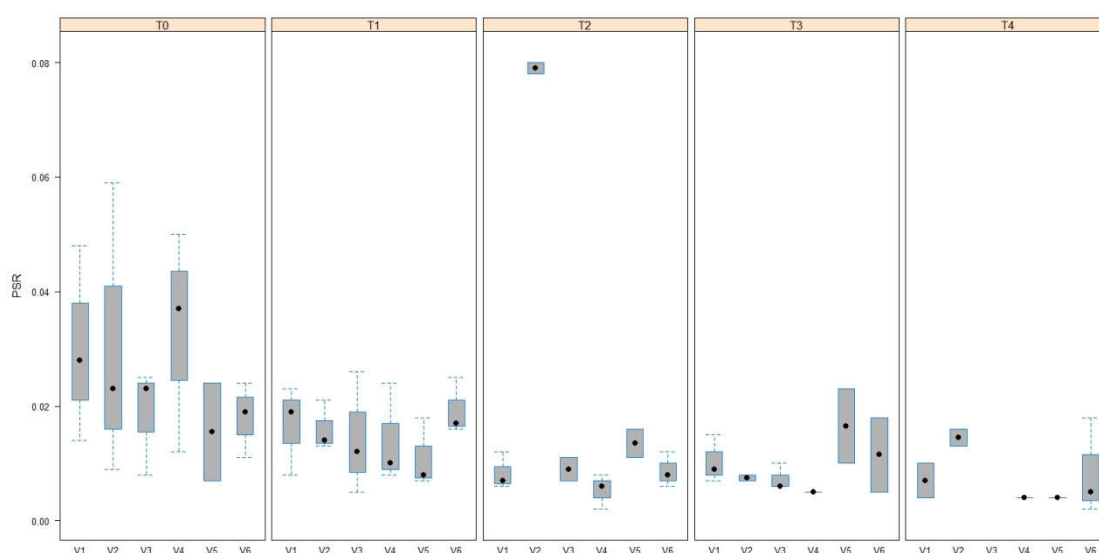


Fig. 44. Comportement des variétés de quinoa sous différentes concentrations salines pour le poids sec racinaire (PSR).

La comparaison entre les moyennes des différents traitements a fait ressortir quatre groupes homogènes différents (Annexe 38). Les résultats obtenus sont compris entre 0.024 g pour le traitement T0 et 0.008 g pour le traitement T4.

2.2.2. Matrice des corrélations

L'analyse des résultats des corrélations (Fig.45) permet de faire ressortir les informations suivantes :

Le poids frais arien (PFA) est corrélé positivement avec le poids sec arien (PSA), avec le nombre d'entre nœuds (NEN) et avec le nombre de feuilles. Ceci montre que les plantes qui développent un nombre d'entre nœuds et un nombre de feuilles élevé sont susceptibles de produire une biomasse aérienne fraîche très importante.

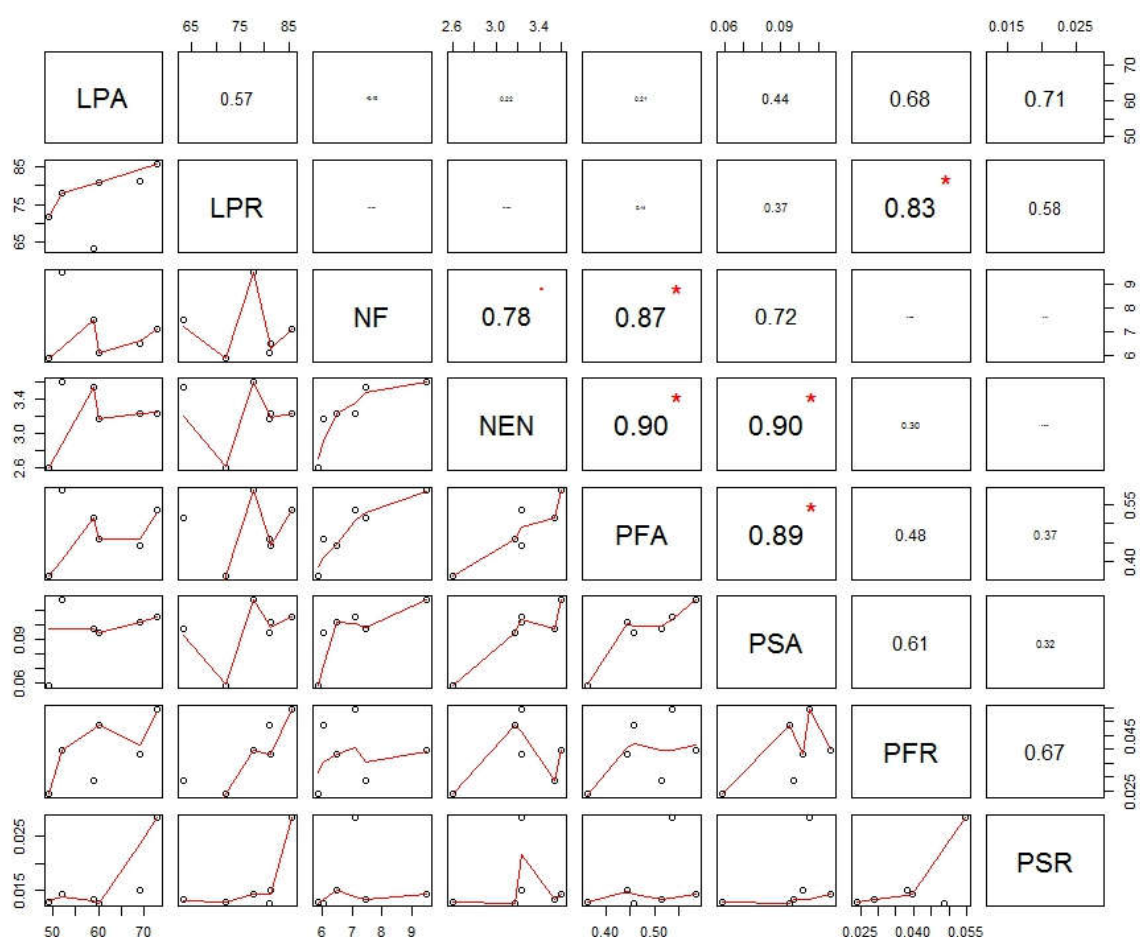


Fig. 45. Matrice des corrélations entre les différentes variables étudiées.

Des corrélations positives et significatives ont aussi été trouvées entre la longueur de la partie racinaire (LPR) et le poids frais racinaire (PFR) ($r=0,83^*$).

Le poids sec aérien (PSA) est corrélé positivement avec le poids frais aérien (PFA) et le nombre d'entre nœuds(NEN). Ceci implique que les plantes qui produisent une biomasse aérienne fraîche importante peuvent aussi produire une biomasse aérienne sèche assez importante.

2.2.3. Analyse en composante principale

Pour avoir une vue d'ensemble sur le comportement des variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd), nous avons réalisés une ACP sur les six variétés étudiées avec huit variables. Le but est de distinguer les variétés qui se comportent différemment de celles qui se ressemblent et d'établir des corrélations entre les variables.

Tab. 20 : Valeurs propres avec le pourcentage de variabilité et le pourcentage cumulé porté sur chaque axe.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Variance	4.187	2.651	0.568	0.493	0.1
% de variabilité	52.341	33.14	7.104	6.161	1.251
%de variance cumulée	52.341	85.48	92.588	98.749	100

Le plan principale est celui formé par l'axe 1 et 2 sur lesquels il y a le maximum d'informations (85.48% d'information générale).

2.2.3.1. Etude des variables

Les variables qui contribuent le plus à l'édification de l'axe 1 sur le cercle des corrélations sont (Tab. 21, Fig.46):

NEN, PFR, PFA, PSA.

Les variables qui contribuent le plus à l'édification de l'axe 2 sur le cercle des corrélations sont (Tab. 21, Fig. 46):

NF, NEN, LPR, LPA, PSR, PFR.

Tab. 21 : Qualité de représentation des variables étudiées.

	Dim.1	Dim.2
LPA	9.155	13.698
LPR	6.719	14.847
NF	8.680	19.121
NEN	12.976	14.088
PFA	18.191	7.771
PSA	19.801	3.637
PFR	13.612	13.467
PSR	10.866	13.371

2.2.3.2.Étude des graphes des individus

Les individus qui contribuent le plus à l'édification de l'axe 1 sur le graphe des individus sont les variétés V2 et V5, alors que les individus qui contribuent le plus à l'édification de l'axe 2 sont les variétés V2, V4 et V6 (Tab. 22, Fig. 46).

Tab. 22 : Qualité de représentation des individus (variétés) étudiées.

	Dim.1	Dim.2
V1	0.020	3.294
V2	31.225	32.348
V3	0.877	2.270
V4	11.177	37.255
V5	56.298	3.088
V6	0.403	21.743

Sur le cercle des corrélations nous trouvons que tous les paramètres qui contribuent à la formation de l'axe 1 (NEN, PFR, PFA, PSR, PSA) sont corrélés positivement. Sur l'axe 2 les deux variables LPR et LPA sont corrélées positivement, alors que cette corrélation a été négative avec la variable NF.

La variété Q102 (V2) est corrélées positivement à l'axe 1, contrairement à la variété Q105 (V5), qui est du côté négatif de l'axe. Sur l'axe 2 la variété Q102 (V2) est corrélée positivement avec cet axe alors que la variété Santa maria (V6) et la variété Q104 (V4) sont du côté négatif de l'axe.

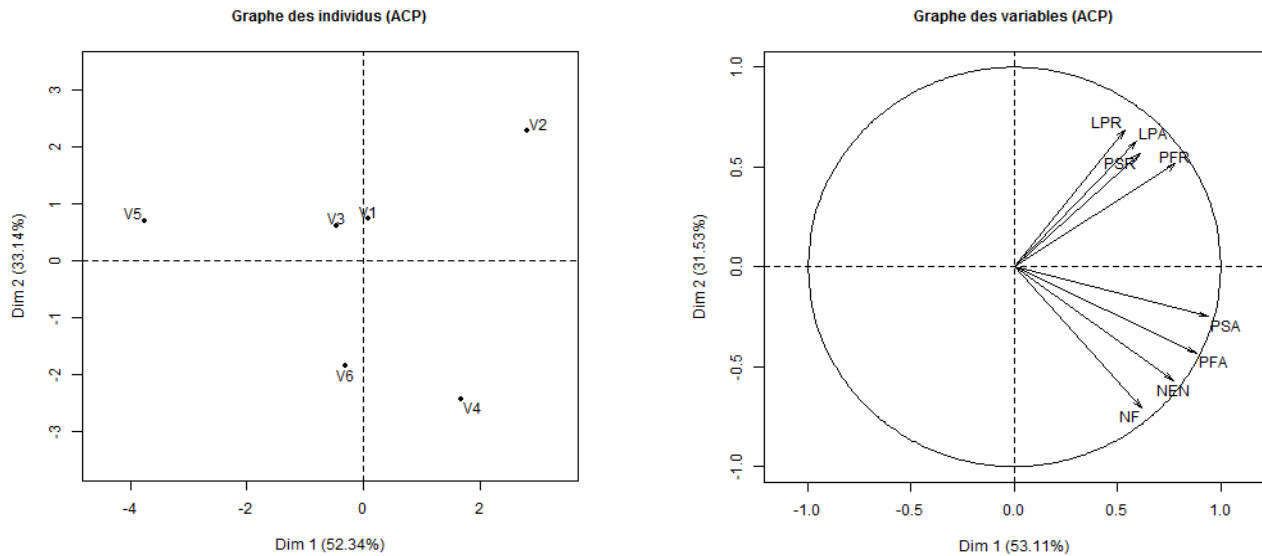


Fig. 46. Graphe des individus et cercle des corrélations du plan 1-2.

2.2.3.3. Superposition des variables et des individus

L'interprétation des résultats obtenus montrent que La variété Q102 (V2) se caractérise par un nombre d'entre nœuds par plant (NEN), par un poids frais arien (PFA), un poids frais racinaire (PFR), un poids sec aérien (PSA) et un poids sec racinaire (PSR) plus élevée, contrairement à la variété Q105 (V5) qui a donnée des résultats contraires.

Les variétés V4 (Q104) et V6 se sont caractérisées par un nombre de feuilles et un nombre d'entre nœuds élevés. Par contre la longueur de la partie racinaire et aérienne est plus faible en comparaison avec la variété V2 qui a donnée des résultats contraires.

Les variétés Q101 (V1) et Q103 (V3) ont tout le temps données des valeurs intermédiaires quelque soit le paramètre étudié.

2.2.4. La classification ascendante hiérarchique (CHA)

En vu d'avoir une vision globale, nous sommes passé à une autre analyse synthétique pour discerner les différentes variétés pour toutes les variables retenues. L'analyse du dendrogramme des variétés (fig.47) nous permet de distinguer 3 groupes différents, chaque groupe forme un ou plusieurs ensembles d'individus (les variétés étudiées).

- le groupe 1 concerne la variété Q101 (V1), la variété Q103 (V3) et La variété Q102 (V2).
- Le groupe 2 rassemble la variété Q104 (V4) et la variété Santa maria (V6).

- le groupe 3 concerne une seule variété qui est Q105 (V5).

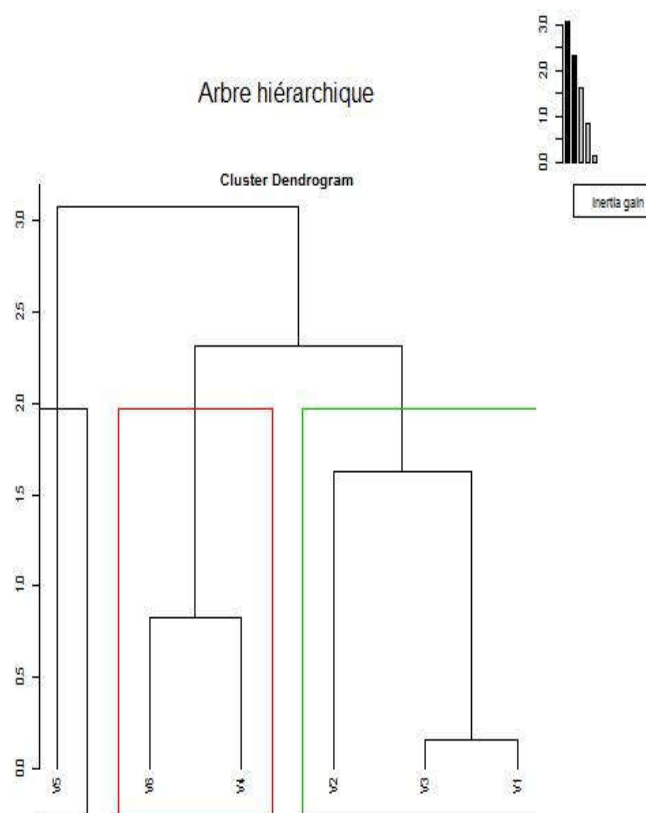


Fig. 47. La classification hiérarchique ascendante (CAH) pour les variétés de quinoa étudiées.

Discussion générale

Discussion générale

Dans l'objectif de disséquer la variabilité génétique existante chez quelques variétés (six) de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) soumises à un stress salin, un gradient de salinité a été appliqué avec des concentrations allant de 0 à 500 mM.l⁻¹. Le stress salin est appliqué sur deux phases complémentaires. Au début le stress salin est appliqué sur les graines en phase germination (1^{er} essai) pour ensuite être appliqué en phase plantule (2^{ème} essai).

L'analyse de variance pour les six variétés soumises ou non à une contrainte saline a révélée un effet significatif du traitement, du génotype et de leur interaction pour la plupart des caractères étudiés. Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées. En effet, dans les deux essais les réponses des six variétés de quinoa en présence de sel (NaCl) a différentes concentrations, sont révélatrices d'une grande variabilité génétique et d'un potentiel important de tolérance à la salinité.

Selon **Adolf, Shabala et al. (2012)**, bien que tous les génotypes de quinoa sont tolérants au sel, certains le sont plus que d'autres, soulignant la nécessité d'enquêter sur la biodiversité et de la conserver.

Pour les paramètres de germination, les résultats obtenus montrent que les graines de quinoa sont capables de germer dans un milieu enrichi en sel jusqu'à 300 mM.l⁻¹ (T3) mais la germination persiste (30 %) même avec 500 mM.l⁻¹ (T4). Pour le pois chiche par exemple, la germination est totalement inhibée à 15 g/l (**Hajlaoui, Denden et al. 2007**) .

Les résultats obtenus sont en accord avec **Brakez, El Brik et al. (2013)** qui cite que le quinoa peut germer dans des conditions de stress élevé. Cette capacité de germer en présence de sel a été expliquée par (**Koyro and Eisa 2008**) par le fait que la présence de péricarpe qui recouvre la graine joue le rôle d'une barrière pour éviter le passage des ions toxiques à l'intérieur de la graine.

Jusqu'à 300 mM.l⁻¹, la germination du quinoa n'a pas été très affectée par la salinité et le taux de germination est resté comparable à celui enregistré avec le témoin (T0). Toutefois le coefficient de vitesse était réduit même à des concentrations faibles de

salinité. Selon **Ungar and Khan (2001)** ; **Shahbazi, Nosrati et al. (2005)** . Les espèces halophytes montrent généralement un retard et une diminution du pourcentage de germination et du coefficient de vitesse sous conditions salines.

L'effet de la salinité s'est traduit par une chute progressive de la précocité de germination, de la longueur de la radicule (LRD) et de la longueur de l'épicotyle (LEP) qui atteint son maximum à 300 mM.l⁻¹. À 500 mM.l⁻¹ les résultats obtenus sont très affecté. En effet selon **Jacobsen et al.,(1998)** in **Mujica, Izquierdo et al. (2001)** la germination des graines de quinoa exposées à des concentrations salines engendre souvent quelques anomalies au cours du processus d'imbibition et de germination et principalement un retard dans la germination.

La mesure des paramètres morphologiques conduit à montrer que la salinité subie par les plantes de quinoa a modifié leur potentiel de croissance. Le traitement salin a affecté la hauteur de la partie aérienne (LPA) et la longueur de partie racinaire (LPR). Dans notre expérimentation, les concentrations 300 et 500 mM.l⁻¹ de NaCl ont entraîné une réduction très importante de la croissance en hauteur. Selon **Jacobsen, Quispe et al. (2001)** la hauteur est l'une des caractéristiques les plus sensibles à la salinité chez le quinoa .

Selon **Zhu (2003)** , la réduction de la croissance d'une plante en condition de stress s'explique par sa capacité adaptative nécessaire à la survie. Ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmentent jusqu'à un seuil ou les dommages seront irréversibles.

Dans cet essai le nombre de feuilles par plante (NF) et le nombre d'entre nœuds (NEN) à été plus élevée en situation non stressée qu'en situation de stress salin et plus la concentration de sel augmente plus le nombre diminue sensiblement. La réduction du nombre de feuilles et d'entre nœuds constitue une forme d'adaptation au stress salin. Cette réduction n'est pas diffère entre les variétés en fonction de l'intensité de stress.

selon **Jacobsen (1998)** les plantes cultivées dans des conditions salines montrent des feuilles carrées, des feuilles plus épaisses, des entre-nœuds plus courts , des feuilles de

couleur plus foncée, une diminution de la taille de la plante, de la panicule et du rendement de matière sèche et en grain .

Les résultats obtenus, ont montré aussi que les plantes non stressées ont produit une biomasse plus importante que celle des plantes stressées. En effet, dans un essai similaire sur le quinoa, **Hariadi, Marandon et al. (2010)** suggèrent que cette plante a un système très efficace pour assurer son ajustement osmotique en présence de sel ce qui lui permet d'avoir une croissance optimale de la biomasse surtout à 100 mM (10 dS/m).

Conclusion générale

Conclusion générale

La salinisation des sols constitue un problème majeur en Algérie. De ce fait, l'introduction d'espèces nouvelles, comme le quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), qui possède un potentiel très important de tolérance à la salinité, constitue une solution durable, notamment dans les régions à climats semi-aride et aride.

En Algérie, plusieurs variétés ont été introduites, dans le cadre d'un projet de coopération entre le Ministère de l'agriculture, du développement rural et de la Pêche et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Cette culture a fait l'objet de plusieurs essais expérimentaux, pratiqués au niveau de quatre fermes de démonstration et de production de semence (FDSP) appartenant à l'ITIDAS. Les résultats très encourageant qui ont été obtenus sur terrain, durant ces deux dernières années, nous ont encouragés à entamer des essais scientifiques au niveau du laboratoire du département d'agronomie de l'université de Msila, afin mieux comprendre le potentiel génétique que recèlent ces variétés en réponse à un stress salin appliqué.

Dans ce contexte deux essais ont été élaborés. Le premier essai porte sur l'effet du stress salin sur la germination, alors que le deuxième essai concerne l'effet du stress salin en phase plantule. Six variétés de quinoa (Q101, Q102, Q103, Q104, Q105, Santa Maria) ont été étudiées en les soumettant à quatre traitements différents correspondants aux concentrations suivantes : T0 (0 mM.l⁻¹), T1 (100 mM.l⁻¹), T2 (200 mM.l⁻¹), T3 (300 mM.l⁻¹), T4 (500 mM.l⁻¹).

Dans le premier essai (test de germination) les résultats obtenus permettent de faire ressortir les conclusions suivantes :

L'aptitude à la germination reste pratiquement stable pour l'ensemble des variétés jusqu'à la concentration 300 mM.l⁻¹ en comparaison avec le témoin, bien que des variétés V1 et V2 ont données les taux les plus faibles.

Tous les paramètres étudiés (Taux de germination final (TGF), Cinétique de germination, Longueur de la radicule (LRD), Cinétique de croissance racinaire, La moyenne journalière de germination (MDJ), Précocité de germination, Longueur de l'épicotyle (LEP), Vitesse de germination) ont été affectés par le stress salin et la réponse des graines à la salinité dans les premiers stades de développement diffère

d'une variété à une autre. Les solutions 100 mM.l^{-1} , 200 mM.l^{-1} , 300 mM.l^{-1} en NaCl sont tolérées par la majorité des variétés alors que la concentration de 500 mM.l^{-1} semble discriminante pour la plupart des variétés.

Certaines variétés (Santa Maria (V6) et Q104 (V4)) se caractérisent par un très bon potentiel de germination qui s'est manifesté par une précocité de germination, une vitesse de germination une moyenne journalière de germination et un taux de germination final plus élevé par rapport aux autres variétés (V2 et V1).

D'autres variétés (V5) développent des racines (LRD) plus longues mais se caractérisent par un épicotyle (LEP) plus court et vice versa.

En conclusion pour ce premier essai, la Variété V4 semble la plus stable, puisque elle garde des valeurs élevées pour tous les paramètres étudiés, ce qui fait d'elle la variété la plus appropriée en condition de stress salin au stade germination.

Dans le deuxième essai (phase plantule) les résultats obtenus permettent de faire ressortir les conclusions suivantes :

le stress salin a exercé un effet dépressif sur toutes les variétés étudiées et ceci pour tous les paramètres étudiés, mais toutes les variétés ne réagissent pas de la même manière à l'effet du sel. En effet, le stress salin appliqué a révélé des différences de comportement très hautement significatives entre les variétés étudiées, ce qui a permis de révéler une grande variabilité génétique entre ces variétés.

Les résultats obtenus ont permis de décrire la réponse de chaque variété en réponse au stress salin appliqué. En effet, La variété Q102 (V2) se caractérise par un nombre d'entre nœuds par plant (NEN), par un poids frais arien (PFA), un poids frais racinaire (PFR), un poids sec aérien (PSA) et un poids sec racinaire (PSR) plus élevée, contrairement à la variété Q105 (V5) qui a donné des résultats contraires. Les variétés Q104 (V4) et Santa Maria (V6) se sont caractérisées par un nombre de feuilles et un nombre d'entre nœuds élevés. Par contre la longueur de la partie racinaire et aérienne est plus faible en comparaison avec la variété Q102 (V2) qui a donné des résultats contraires.

Donc de cette expérience, nous pouvons distinguer trois groupes différents :

- le groupe 1 concerne la variété Q102 (V2) qui a donnée les meilleures performances suivie des variétés Q101 (V1) et Q103 (V3).
- Le groupe 2 rassemble la variété Q104 (V4) et la variété Santa maria (V6) qui ont données des valeur moyennes.
- le groupe 3 concerne une seul variété qui est Q105 (V5) qui s'est caractérisé par sa sensibilité au sel.

Les résultats obtenus aux stades germination et plantule, peuvent permettre de mieux choisir les variétés qui possèdent un potentiel suffisant pour leur permettre de mieux s'adapter aux sols salins et ainsi permettre de recoloniser ces sols en déperdition.

Ces résultats préliminaires sont intéressants par ce qu'ils permettent de comprendre d'avantage le comportement des graines des variétés de quinoa en situation de stress salin. Cela permettra d'élaborer une classification des variétés disponible et de les répertorier en fonction de critères importants en relation avec leur comportement en situation de stress salin.

En perspective et vu l'importance de la culture du quinoa en tant que plante cultivée, il serait primordiale de poursuivre ces recherches a des stades plus avancés, afin de voir l'effet du stress salin sur la production en graine.

Aussi il serait préférable d'entreprendre des essais similaires dans des conditions naturelles (champs affectés par la salinité) où d'autres facteurs environnementaux aussi importants comme les hautes températures et le stress hydrique interviennent en même temps. Les résultats obtenus sur terrain peuvent être comparé avec ceux que nous avons obtenus et sortir avec les bonnes décisions, notamment, la faisabilité de son utilisation comme alternative aux cultures céréalières dans les zones touchées par la salinité ou bien les intégrés dans un programme de mise en valeur des zones arides et semi arides en Algérie.

Références bibliographiques

- Abugoch LE, Romero N, Tapia CA, Silva J, Rivera M (2008) Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) protein isolates. *J Agric Food Chem* 56(12): 4745–4750.
- Adolf, V. I., Shabala, S., Andersen, M. N., Razzaghi, F., & Jacobsen, S.-E. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil*, 357(1-2), 117-129.
- Ahamed, N. T., Singhal, R., Kulkarni, P., Kale, D., & Pal, M. (1996). Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films. *Carbohydrate Polymers*, 31(3), 157-160.
- Alem, C., & Amri, A. (2005). Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 4(1), 20-31.
- Apse, M. P., & Blumwald, E. (2007). Na⁺ transport in plants. *FEBS letters*, 581(12), 2247-2254.
- Aragno, M. (1981). Responses of microorganisms to temperature *Physiological Plant Ecology I* (pp. 339-369): Springer.
- Ashraf, M., & Harris, P. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166(1), 3-16.
- Ayala G., Ortega L., Moron C., 2001. Valor nutritivo y usos de la quinua. *Quinua* (*Chenopodium*).
- Belkhodja, M., & Bidai, Y. (2004). La réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4), 331-335.
- Benmahioul, B., F. Daguin, et al. (2009). Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies* 332(8): 752-758.
- Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W. J., Lambert, C., Savio, C., . . . Cellier, F. (2003). Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal*, 22(9), 2004-2014.
- Bhargava A, Shukla S, Ohri D (2006) *Chenopodium quinoa* –an Indian perspective. *Ind Crop Prod* 23(1):73–87.

- Bhargava A, Shukla S, Ohri D (2006a) *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial*
- Bhargava A, Shukla S, Ohri D (2006b) Karyotypic studies on some cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Genet Res Crop Evol* 53:1309–1320.
- Bhargava, A. and D. Ohri (2016). Origin of genetic variability and improvement of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Gene Pool Diversity and Crop Improvement*, Springer: 241-270.
- Bhargava, A., S. Shukla, et al. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products* 23(1): 73-87.
- Blumwald, E., Aharon, G. S., & Apse, M. P. (2000). Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1465(1-2), 140-151.
- Blumwald, E., Grover, A., & Good, A. G. (2004). Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. Paper presented at the New directions for a diverse planet”. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia.
- Bois, J.-F., T. Winkel, et al. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy* 25(4): 299-308.
- Bouchoukh, I. (2010). Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin.
- Boyko, A., & Kovalchuk, I. (2011). Genome instability and epigenetic modification—heritable responses to environmental stress? *Current opinion in plant biology*, 14(3), 260-266.
- Brakez, M., El Brik, K., Daoud, S., & Harrouni, M. C. (2013). Performance of *Chenopodium quinoa* under salt stress *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation* (pp. 463-478): Springer.
- Brock, T. D. (1978). *The habitats Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperatures* (pp. 12-38): Springer.
- Burrieza, H. P., H.-W. Koyro, et al. (2012). High salinity induces dehydrin accumulation in *Chenopodium quinoa* Willd. cv. Hualhuas embryos. *Plant and Soil* 354(1-2): 69-79.

- Cardozo, A. and M. Tapia (1979). "Valor nutritivo." Quinoa y Kaniwa. Cultivos Andinos. Serie libros y Materiales educativos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogota, Columbia 49: 149-192.
- Cornejo, G. 1976. Hojas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fuente de proteína. En: Convención Internacional de Chenopodiaceas. 2da.Potosí, Bolivia. 26-29 abril. IICA. Serie informes de conferencias, cursos y reuniones. No. 96. Bolivia. pp. 177-180.
- Cusack D (1984) Quinoa: grain of the Incas. *Ecologist* 14:21–31
- Del Castillo C, Winkel T, Mahy G, Bizoux JP (2007) Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genet Res Crop Evol* 54:897–905.
- Debez, A., Hamed, K. B., Grignon, C., & Abdelly, C. (2004). Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant and soil*, 262(1-2), 179-189.
- Del Castillo, C., G. Mahy, et al. (2008). "La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable". BASE.
- Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Shanker, A. K., Devi, D. D., & Bangarusamy, U. (2006). Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant and Soil*, 284(1-2), 363-373.
- Douaoui, A. and T. Hartani (2007). "Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du BasChéliff ". Troisième atelier régional du projet Sirma, Cirad.
- Elgeti, D., S. D. Nordlohne, et al. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal of Cereal Science* 59(1): 41-47.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. Under-utilized Andean food crops. Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, FAOSTAT Database, FAO. (1 December 2016; www.fao.org/faostat).
- FAO, 1970. Teneur des aliments en acides aminés et données biologiques sur les protéines, Rome. <http://www.fao.org/docrep/005/ac854t/AC854T00.HTM>.
- FAO. (2013). FAO Statistical Yearbook: World Food and Agriculture: FAO.
- FAO/WHO/UNU, Food and Agriculture Organization of the United States/World Health

- FAOSTAT, F. (2010). "Disponível em:< <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>." Acessado em setembro.
- Feillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. Editions INRA.
- FISCHER, Christiane, 2013. Lutte contre la spéculation. Ex aequo [en ligne]. Mars 2013. N°41 [Consulté le 20.02.2016]. Disponible à l'adresse : http://www.mdm.ch/sites/default/files/exaequo/ex_aequo_41.pdf.
- Flowers, T., & Yeo, A. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Functional Plant Biology*, 22(6), 875-884.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2011) Faostat for worldwide grown surface and production of quinoa. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>.
- Föste, M., Nordlohne, S. D., Elgeti, D., Linden, M. H., Heinz, V., Jekle, M., & Becker, T. (2014). Impact of quinoa bran on gluten-free dough and bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 239(5), 767-775.
- Fuentes F, Bhargava A (2011) Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *J Agron Crop Sci* 197:124–134.
- Fuentes, F., Bazile, D., Bhargava, A., & Martinez, E. A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science*, 150(6), 702-716.
- Gallardo, M., J.A. Gonzalez and G. Ponessa, 1997. Fruit and seed morphology of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa). *Fundacion Miguel Lillo, Areade de Botanica, Miguel Lillo.*, 251: 39(1): 71-80.
- Galwey NW (1992) The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification: a review. *Ind Crop Prod* 1(2–4):101–106.
- Galwey, N. (1995). Quinoa and relatives. *Evolution of crop plants*, Longman, Harlow, UK: 41-46.
- Galwey, N.W. 1993. The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products* 1: 101-106.
- Gaucher, G., & Burdin, S. (1974). Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés: contribution aux techniques d'amélioration des terrains salés (Vol. 5): Presses universitaires de France.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Condori, O., Mamani, J., Miranda, R., . . . Vacher, J. (2008). Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium*

quinoa Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? *Agricultural Water Management*, 95(8), 909-917.

- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C., 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Eur. J. Agron.* 28, 427–436.
- GIUSTI, L. (1970). "El género *Chenopodium* en Argentina: I. Números de cromosomas." *Darwiniana*: 98-105.
- Gómez-Caravaca AM, Segura-Carretero A, Fern A, Caboni MF (2011) Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) by a liquid chromatography-diode array detection-electrospray ionization-time-of-flight mass spectrometry methodology. *J Agric Food Chem* 59:10815–10825.
- González, J., M. Bruno, et al. (2011). Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *Journal of agronomy and crop science* 197(2): 81-93.
- 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.
- Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S.-E., & Shabala, S. (2010). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of experimental botany*, 62(1), 185-193.
- Harra NM, Lemm T, Smith C (2011). Quinoa flour is an acceptable replacement for all purpose flour in a peanut butter cookie. *J Am Diet Assoc* 111:SA45.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.-K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M., & Kaid-Harche, M. (2008). Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *Eur. J. Sci. Res*, 23(1), 61-69.
- Hillel, D. (2000). *Salinity management for sustainable irrigation: integrating science, environment, and economics*: The World Bank.
- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*: De Boeck Supérieur.

- <http://www.fao.org/docrep/005/ac854t/AC854T00.HTM>. In: Wickens GE, Haq N, Day P (eds) New crops for food and industry. Chapman and Hall, New York.
- Izquierdo Fernández J.I. et al., 2001. Cultivos andinos, Version 1.0. [CD-ROM]. Santiago: FAO, <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/pubs.html>.
- Jabnoute, M. (2008). Adaptation des plantes au stress salin: caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz. Manuscrit de thèse.
- Jacobsen SE, Monteros C, Christiansen JL, Bravo LA, Corcuera LJ, Mujica A (2005) Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *Eur J Agron* 22:131–139.
- Jacobsen S-E, Sørensen M, Pedersen SM, Weiner J (2013) Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity. *Agron Sust Dev* 33:651–662. doi:10.1007/s13593-013-0138-9.
- Jacobsen, S. (1995). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A novel crop for European agriculture.
- Jacobsen, S., P. Hollington, et al. (2002). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a potential new crop for Pakistan. *Prospects for Saline Agriculture*, Springer: 247-249.
- Jacobsen, S., Quispe, H., & Mujica, A. (1999). Scientists and farmer—partners in research for the 21st century. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. CIP Program Report, 2000, 403-408.
- Jacobsen, S., Quispe, H., & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. *Scientists and Farmer—Partners in Research for the 21st Century*.
- Jacobsen, S., Quispe, H., Christiansen, J., & Mujica, A. (2000). What are the mechanisms responsible for salt tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)? Paper presented at the Crop Development for the Cool and Wet Regions of Europe: achievements and Future Prospects, Crop development for the cool and wet regions of Europe: achievements and future prospects: COST Action 814: proceedings, Pordenone, 2000.
- Jacobsen, S.-E. (1998). Developmental stability of quinoa under European conditions. *Industrial crops and products* 7(2-3): 169-174.
- Jacobsen, S.-E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food reviews international* 19(1-2): 167-177.

- Jacobsen, S.-E. and O. Stølen (1993). Quinoa-morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe." *European Journal of Agronomy* 2(1): 19-29.
- Jacobsen, S.-E., C. Monteros, et al. (2005). "Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22(2): 131-139.
- Jacobsen, S.-E., F. Liu, et al. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae* 122(2): 281-287.
- Johnson R., Aguilera R. (1980). Processing Varieties of Oilseeds (Lupine and Quinoa), In: Report to Natural Fibers and Foods Commission of Texas, 1978- 1980 (Reported by D. Cusack, 1984, *The Ecologist*, vol. 14, pp. 21-31.
- joint FAO/WHO/UNU meeting. WHO. Geneva: FAO/WHO/UNU. <http://www.fao.org/DOCREP/003/AA040E/AA040E00.HTM>
- Kabar, K. (1987). Alleviation of salinity stress by plant growth regulators on seed germination. *Journal of Plant Physiology*, 128(1-2), 179-183.
- Keller, F., & Ludlow, M. (1993). Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Experimental Botany*, 44(8), 1351-1359.
- Khan, M. A., & Abdullah, Z. (2003). Salinity–sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa*) under dense soil conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 49(2), 145-157.
- Koyro, H.-W., & Eisa, S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*, 302(1-2), 79-90.
- Kozioł, M. (1992). "Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)." *Journal of food composition and analysis* 5(1): 35-68.
- Lahlou, M., Badraoui, M., & Soudi, B. (1998). SMSS: un logiciel de simulation du mouvement de sels dans le sol. *Etude et Gestion des sols*, 5, 247-256.
- Lahlou, M., Badraoui, M., & Soudi, B. (2000). Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. Séminaire «Intensification agricole et qualité des sols et des eaux», Rabat, 2-3.
- Läuchli, A., & Grattan, S. (2007). Plant growth and development under salinity stress advances, 1-32 p. Jenks MA et al.

- Lebonvallet, S. (2008). Quinoa establishment and simulation of its culture on the Bolivian Aaltiplano, AgroParisTech.
- Leclerc, J. (1999). Écophysiologie végétale—Publication de l'Université de Saint-Étienne. Saint Étienne, 67-84.
- Leopold, A. (1984). Evidence for toxicity effects of salt on membranes. Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement, 67-76.
- Levitt, J. (1972). Water deficit (or drought) stress. In 'Responses of plants to environmental stresses'. (Ed. J Levitt) pp. 322–352: Academic Press: New York.
- Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses., 2nd edn (Academic Press: New York).
- Levitt, J., & Levitt, J. (1987). Responses of plants to environmental stresses (Vol. 2): Academic Press New York.
- Lim, T. (2013). Chenopodium quinoa. Edible medicinal and non-medicinal plants, Springer: 115-131.
- Lorenz K, Coulter L, Johnson D (1995) .Functional and sensory characteristics of quinoa in foods. Dev Food Sci 37:1031–1041.
- Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment. Journal of the irrigation and drainage division, 103(2), 115-134.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of biochemistry and biophysics, 444(2), 139-158.
- Maillard, J. (2001). Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride: Risques et Recommandations. Handicap International.
- Marlet, S., & Job, J.-O. (2006). Processus et gestion de la salinité des sols.
- Marlet, S., B. Vincent, et al. (2005). Gestion de l'eau et de la salinité et redistribution des sels dans les périmètres irrigués.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd. Edn. Academic Pres.
- Maughan J, Bonifacio A, Jellen E, Stevens MR, Coleman CE, Ricks M, Mason SL, Jarvis DE, Gardunia BW, Fairbanks DJ (2004) A genetic linkage map of quinoa (Chenopodium quinoa) based on AFLP,
- Maughan, P., Turner, T., Coleman, C., Elzinga, D., Jellen, E., Morales, J., . . . Bonifacio, A. (2009). Characterization of Salt Overly Sensitive 1 (SOS1) gene homoeologs in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Genome, 52(7), 647-657.

- McNeil, S. D., Nuccio, M. L., & Hanson, A. D. (1999). Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance. *Plant Physiology*, 120(4), 945-949.
- Mermoud, A. (2006). Cours de physique du sol: Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23.
- Mujica A., Canahua A., 1989. Fases fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). In: Curso Taller, Fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. Salcedo, 7-10 agosto, INIAA, EEZA-ILLPA, PICA, PISA. Puno, Perú. p. 23-27.
- Mujica, Á., Izquierdo, J., Marathee, J. P., & Capítulo, I. (2001). Origen y descripción de la quinua. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Editores. Mujica, A., Jacobsen, SE, Izquierdo, J., Marathee, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, 9-29.
- Munns, R. (2002). "Comparative physiology of salt and water stress." *Plant, cell & environment* 25(2): 239-250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist*, 167(3), 645-663.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Munns, R., Greenway, H., & Kirst, G. (1983). Halotolerant eukaryotes *Physiological Plant Ecology III* (pp. 59-135): Springer.
- Muñoz, L., Monteros, C., & Montesdeoca, P. (1990). A cocinar con quinua. EE. Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. Publ. Miscel, 55, 7-120.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Pearsall, D.M. 1992. The origins of plant cultivation in South America. In, *The origins of agriculture: an international perspective* (eds. C. Wesley Cowan & P.J. Watson). Smithsonian Institution Press, pp. 173-206.
- Pinto M.V., 2002. Análisis de la variabilidad genética del germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) circundante al lago Titicaca. Thesis: Facultad de Agronomía, Universidad mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia).
- Prego I., Maldonado S. & Otegui M., 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Ann. Bot.*, 82, 481-488.

- Rea J., 1969. Morfología de la quinua. In: Observaciones sobre la biología floral y estudios de saponinas en *Chenopodium quinoa* Willd. Serie Técnica n°3. La Paz: Ministerio de Agricultura, Departamento de Experimentación, 15-17.
- Reinhardt, D., & Rost, T. (1995). On the correlation of primary root growth and tracheary element size and distance from the tip in cotton seedlings grown under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 35(4), 575-588.
- Rhoades, J. (1997). Sustainability of irrigation: An overview of salinity problems and control strategies. US Salinity Laboratory, Riverside, California.
- Risi, C. and N. Galwey (1989). *Chenopodium* grains of the Andes: a crop for temperate latitudes. *New crops for food and industry*/edited by GE Wickens, N. Haq, P. Day.
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (2010). Granos andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Biodiversity International. <http://www.proinpa.org/tic/pdf/Quinua/Varios%20quinua/pdf35.pdf>.
- Rosa, M., Hilal, M., González, J. A., & Prado, F. E. (2009). Low-temperature effect on enzyme activities involved in sucrose–starch partitioning in salt-stressed and salt-acclimated cotyledons of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seedlings. *Plant physiology and biochemistry*, 47(4), 300-307.
- Ruales, J. and B. M. Nair (1993). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Food Chemistry* 48(2): 131-136.
- Ruas PM, Bonifacio A, Ruas CF, Fairbanks DJ, Anderson WR (1999) Genetic relationships among 19 accessions of six species of *Chenopodium* L. by random amplified polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica* 105:25–32.
- S. E., Izquierdo, J., Marathee, J. P. et FAO (eds). CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos,
- Schlick G, Bubenheim DL (1996) Quinoa- candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. *Progress in new crops* (J. Janick, ed.) USA, Arlington (VA). p. 632-640.
- Servant, J. (1975). Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes: l'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

- Shabala, S., & Cuin, T. A. (2008). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 651-669.
- Shahbazi, A., Nosrati, K., & Zehtabian, G. R. (2005). investigation of seed germination characteristics and recovery of germination in the haloxylon aphyllum under different temperature and salinity conditions. *desert*, 10(1), 29-35.
- Stikic R, Glamoclija D, Demin M et al (2012) Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *J Cer Sci* 55:132–138. 16:98–105.
- Tan, M. and S. Temel (2017). Studies on The Adaptation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Eastern Anatolia Region of Turkey.
- Tapia M.E. et al., 1979. La quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Serie Libros y Materiales Educativos 49. Bogota: IICA, CIID.
- Tapia M.E., 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.
- Tapia, M. (1999). Zonificación agroecológica del cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) In: Primer taller internacional sobre quinua: recursos geneticos y sistemas di produccion. Regional Office for Latin America and the Caribbean, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Santiago, Chile. Lima, Perú.
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189-2203.
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527.
- Tremblin, G. (2000). Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des Sebkhass de l'Ouest algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(2), 109-116.
- Ungar, I. A. (1978). Halophyte seed germination. *The Botanical Review*, 44(2), 233-264.
- Ungar, I. A. (1996). Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (*Chenopodiaceae*). *American Journal of Botany*, 83(5), 604-607.

- Ungar, I. A., & Khan, M. A. (2001). Effect of bracteoles on seed germination and dispersal of two species of *Atriplex*. *Annals of Botany*, 87(2), 233-239.
- Valcárcel-Yamani, B. and S. d. S. Lannes (2012). Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods. *Food and Public Health* 2(6): 265-275.
- Veloso, A. d. C. (2016). Impacts de l'essor international du quinoa, Haute école de gestion de Genève. version 1.0. Santiago, Chile.
- Villacorta, S. and V. Talavera (1976). Anatomía del Grano de Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Wild.). *Anales Científicos UNA*.
- Weretilnyk, E. A., Bednarek, S., McCue, K. F., Rhodes, D., & Hanson, A. D. (1989). Comparative biochemical and immunological studies of the glycine betaine synthesis pathway in diverse families of dicotyledons. *Planta*, 178(3), 342-352.
- Wilson, C., Read, J. J., & Abo-Kassem, E. (2002). Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition*, 25(12), 2689-2704.
- Wright, K., O. Pike, et al. (2002). "Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds." *Journal of Food Science* 67(4): 1383-1385.
- Yan, W., & Hunt, L. (1999). An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, 84(5), 607-614.
- Yeo, A., & Flowers, T. (1983). Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. *Physiologia Plantarum*, 59(2), 189-195.
- Zhu, J.-K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in plant science*, 6(2), 66-71.
- Zhu, J.-K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current opinion in plant biology*, 6(5), 441-445.

Annexes

Annexes 01 : Séquence les pots dans 3 bloc

Bloc 01 :

V1T0	V1T0	V2T0	V2T0	V3T0	V3T0	V4T0	V4T0	V5T0	V5T0	V6T0	V6T0
V2T2	V2T2	V3T2	V3T2	V4T2	V4T2	V5T2	V5T2	V6T2	V6T2	V1T2	V1T2
V3T1	V3T1	V4T1	V4T1	V5T1	V5T1	V6T1	V6T1	V1T1	V1T1	V2T1	V2T1
V4T3	V4T3	V5T3	V5T3	V6T3	V6T3	V1T3	V1T3	V2T3	V2T3	V3T3	V3T3
V5T4	V5T4	V6T4	V6T4	V1T4	V1T4	V2T4	V2T4	V3T4	V3T4	V4T4	V4T4

Bloc 02:

V5T4	V5T4	V6T4	V6T4	V1T4	V1T4	V2T4	V2T4	V3T4	V3T4	V4T4	V4T4
V4T3	V4T3	V5T3	V5T3	V6T3	V6T3	V1T3	V1T3	V2T3	V2T3	V3T3	V3T3
V3T1	V3T1	V4T1	V4T1	V5T1	V5T1	V6T1	V6T1	V1T1	V1T1	V2T1	V2T1
V2T2	V2T2	V3T2	V3T2	V4T2	V4T2	V5T2	V5T2	V6T2	V6T2	V1T2	V1T2
V1T0	V1T0	V2T0	V2T0	V3T0	V3T0	V4T0	V4T0	V5T0	V5T0	V6T0	V6T0

Bloc 03:

V3T1	V3T1	V4T1	V4T1	V5T1	V5T1	V6T1	V6T1	V1T1	V1T1	V2T1	V2T1
V2T2	V2T2	V3T2	V3T2	V4T2	V4T2	V5T2	V5T2	V6T2	V6T2	V1T2	V1T2
V1T0	V1T0	V2T0	V2T0	V3T0	V3T0	V4T0	V4T0	V5T0	V5T0	V6T0	V6T0
V4T3	V4T3	V5T3	V5T3	V6T3	V6T3	V1T3	V1T3	V2T3	V2T3	V3T3	V3T3
V5T4	V5T4	V6T4	V6T4	V1T4	V1T4	V2T4	V2T4	V3T4	V3T4	V4T4	V4T4

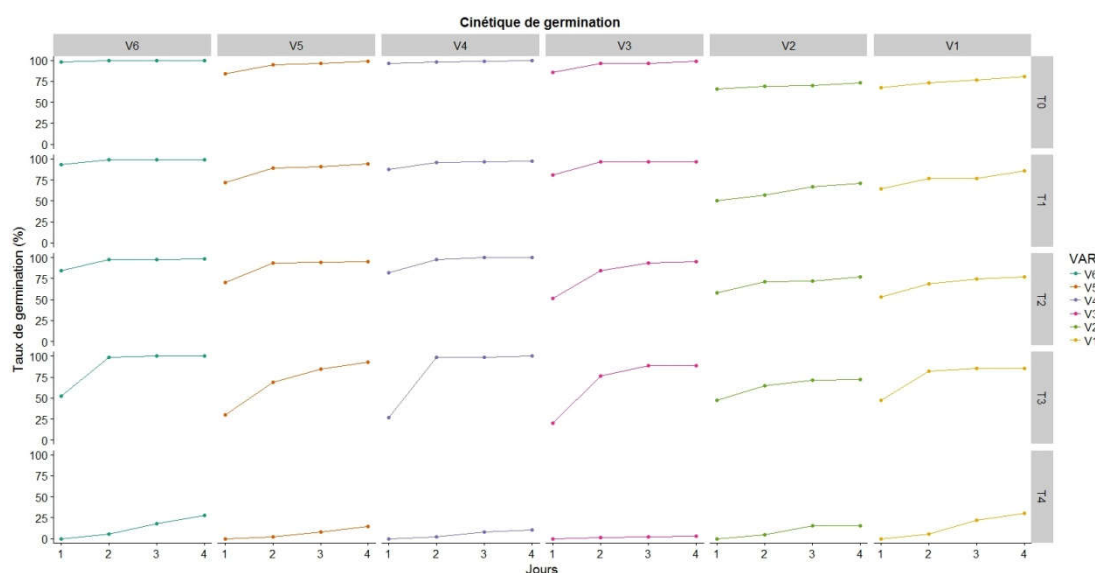
Annexes 02 : Groupes homogènes des variétés pour Taux de germination final (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V6	0,851	a
V4	0,815	a
V5	0,793	b
V3	0,766	b
V1	0,718	c
V2	0,618	d

Annexes 03 : Groupes homogènes des traitements pour Taux de germination final (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0,921	a
T2	0,906	a
T1	0,906	a
T3	0,900	a
T4	0,168	b

Annexes 04 : Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination de quinoa.



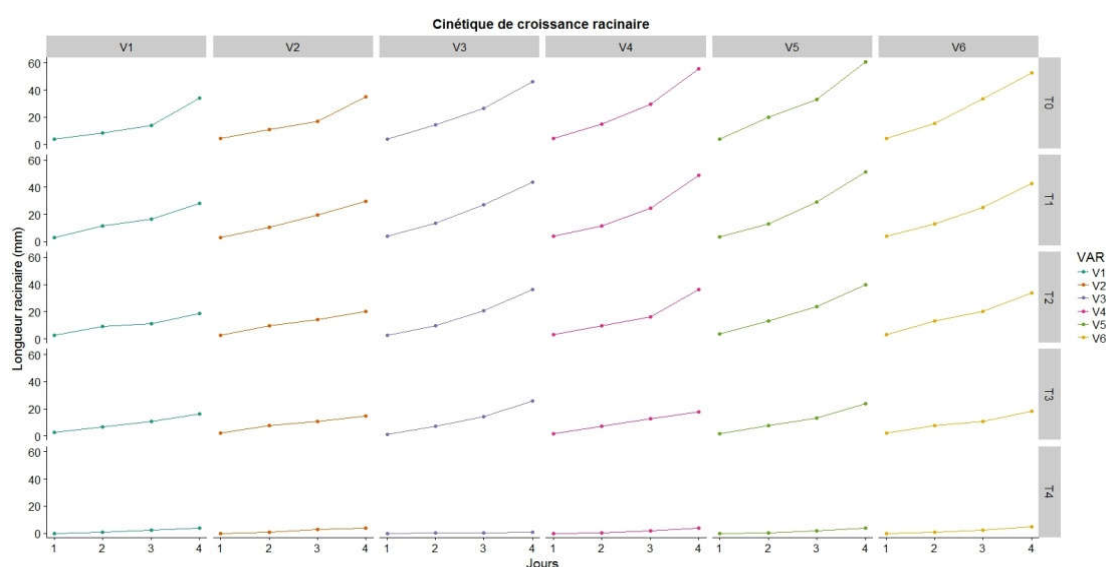
Annexe 05 : Groupes homogènes des variétés pour longueur de la racicule (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V5	35.800	a
V4	32.383	a
V6	30.423	a
V3	30.391	a
V2	20.645	b
V1	20.177	b

Annexes 06 : Groupes homogènes des traitements pour longueur de la racicule (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	47.340	a
T1	40.643	b
T2	30.781	c
T3	19.300	d
T4	3.456	e

Annexes 07 : Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de croissance raculaire du quinoa.



Annexe 08 : Groupes homogènes des variétés pour moyenne journalière de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V6	0.212	a
V4	0.204	ab
V5	0.198	b
V3	0.191	bc
V1	0.180	c
V2	0.156	d

Annexe 09 : Groupes homogènes des traitements pour moyenne journalière de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.231	a
T1	0.226	a
T2	0.226	a
T3	0.226	a
T4	0.043	b

Annexe 10 : Groupes homogènes des variétés pour la précocité de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V6	0.656	a
V4	0.587	b
V5	0.513	c
V3	0.474	c
V1	0.466	c
V2	0.442	c

Annexe 11 : Groupes homogènes des traitements pour la précocité de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.828	a
T1	0.748	b
T2	0.664	c
T3	0.373	d
T4	0.000	e

Annexe 12 : Groupes homogènes des variétés pour la longueur de l'épicotyle (LEP) (LSD .test F)

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V1	4.621	a
V2	4.529	a
V4	4.135	ab
V3	3.540	b
V6	3.468	b
V5	3.412	b

Annexe 13 : Groupes homogènes des traitements pour la la longueur de l'épicotyle (LEP) (LSD .test F)

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T1	6.857	a
T0	6.821	a
T2	5.316	b
T3	0.760	c
T4	0.000	c

Annexe 14 : Groupes homogènes des variétés pour vitesse de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V6	4.425	A
V4	4.376	A
V5	2.565	Ab
V2	1.890	B
V3	1.826	B
V1	1.700	B

Annexe 15 : Groupes homogènes des traitements pour vitesse de germination (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	5.202	A
T1	3.857	A
T2	3.159	A
T3	0.932	B
T4	0.347	B

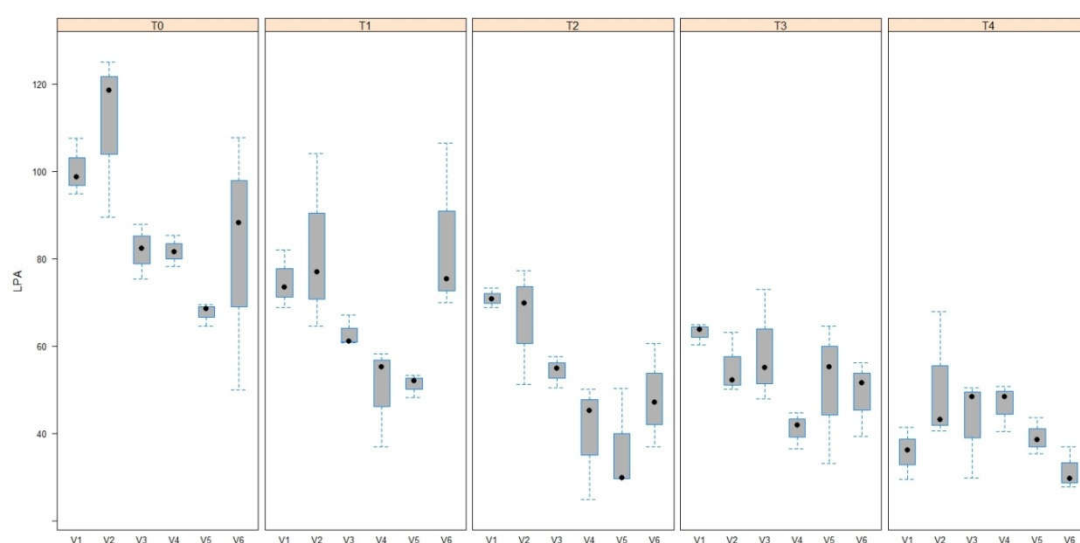
Annexe 16 : Groupes homogènes des traitements pour la longueur la partie arienne (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	87.435	A
T1	67.493	B
T3	52.973	C
T2	52.727	C
T4	41.054	D

Annexe 17: Groupes homogènes des variétés pour la longueur la partie arienne (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V2	72.927	A
V1	68.986	A
V3	60.148	B
V6	58.924	Bc
V4	51.918	Bc
V5	49.116	C

Annexe 18 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour la longueur foliaire (LPA).



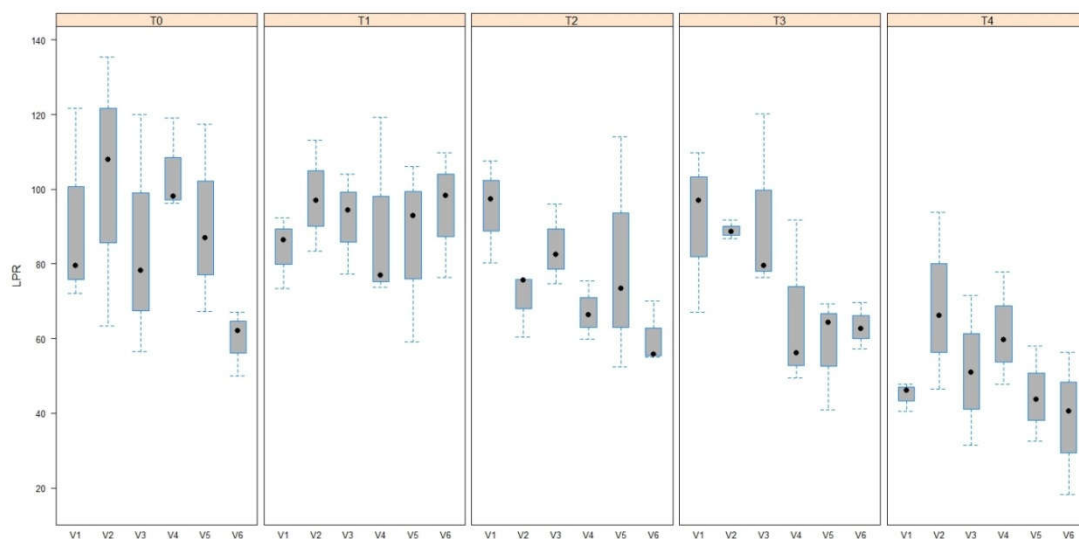
Annexe 19 : Groupes homogènes des variétés pour la longueur partie racinaire (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V2	85.709	A
V1	81.246	Ab
V3	80.896	Ab
V4	77.843	Ab
V5	71.879	Ab
V6	63.250	B

Annexe 20 : Groupes homogènes des traitements pour la longueur de partie racinaire (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T1	90.744	A
T0	88.831	A
T3	76.572	A
T2	76.260	A
T4	51.612	B

Annexe 21 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour la longueur de partie racinaire (LPR).



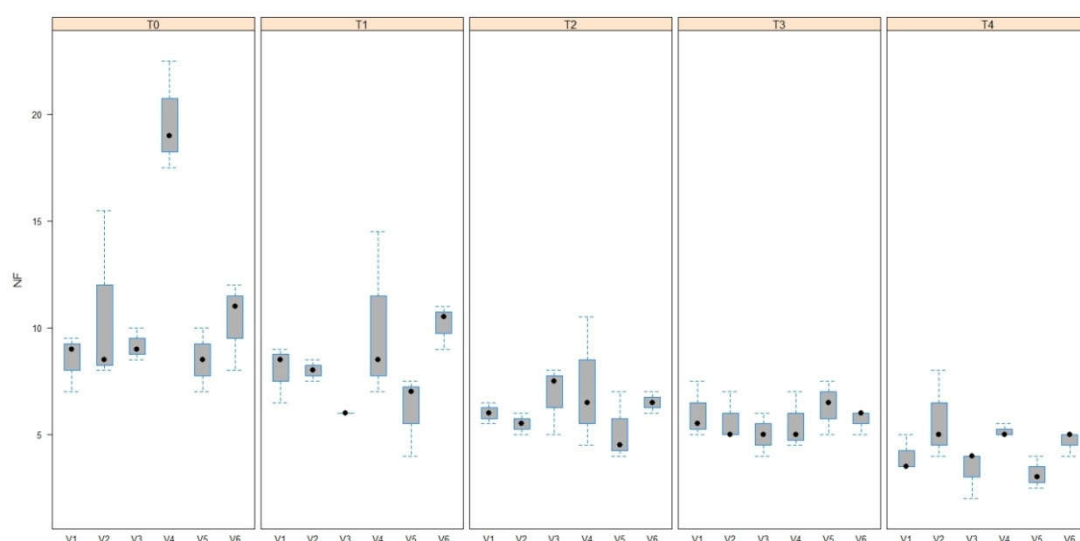
Annexe 22 : Groupes homogènes des variétés pour le nombre de feuilles par plante.
(Test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V4	9.500	A
V6	7.466	B
V2	7.100	B
V1	6.500	B
V3	6.066	B
V5	5.866	B

Annexe 23 : Groupes homogènes des traitements pour le nombre de feuilles par plante. (Test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	11.138	A
T1	8.055	B
T2	6.194	C
T3	5.694	C
T4	4.333	D

Annexe 24 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour le nombre de feuilles par plante (NF).



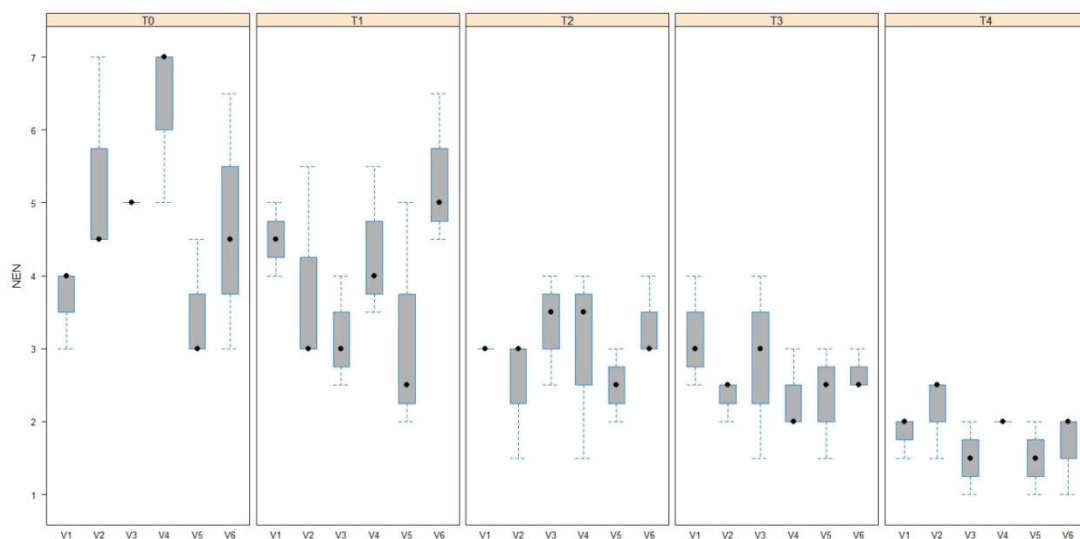
Annexe25 : Groupes homogènes des variétés pour le nombre d'entre noeuds. (Test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V4	3.600	A
V6	3.533	A
V1	3.233	Ab
V2	3.233	Ab
V3	3.166	Ab
V5	2.600	B

Annexe 26 : Groupes homogènes des traitements pour le nombre d'entre noeuds. (Test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	4.750	A
T1	4.055	B
T2	2.944	C
T3	2.611	C
T4	1.777	D

Annexe 27 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour le nombre d'entre nœuds (NEN).



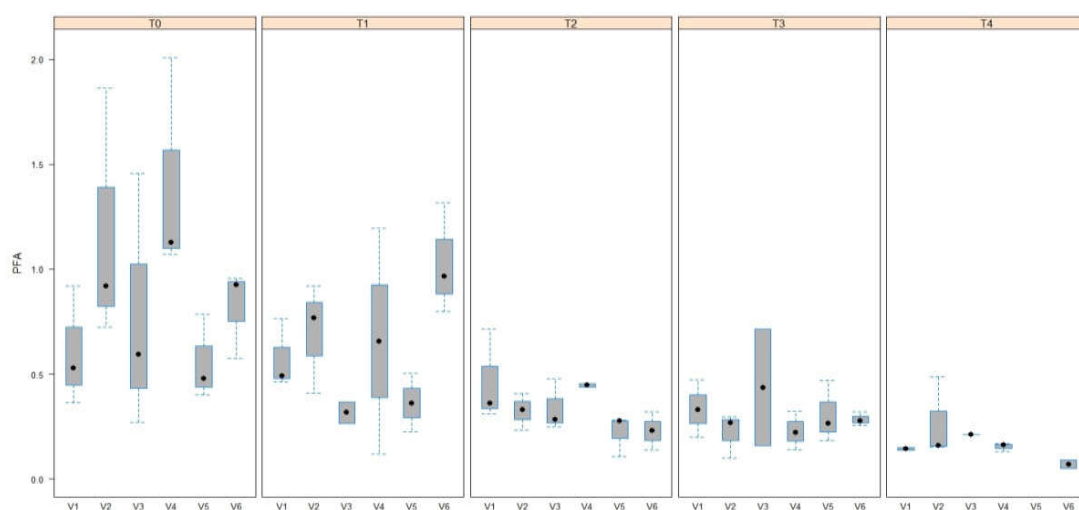
Annexe 28 : Groupes homogènes des variétés pour poids frais aérienne (PFA) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V4	0.586	A
V2	0.535	A
V6	0.515	A
V3	0.458	A
V1	0.442	A
V5	0.361	A

Annexe 29 : Groupes homogènes des traitements pour poids frais aérienne (PFA) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.886	A
T1	0.622	B
T2	0.330	C
T3	0.293	C
T4	0.172	C

Annexe 30 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour le poids frais aérienne (PFA).



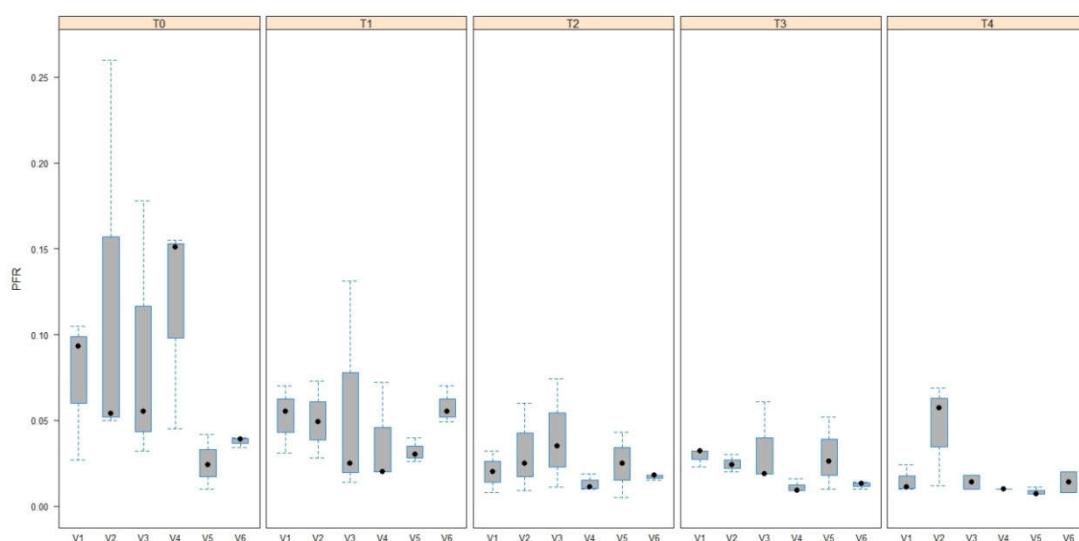
Annexe 31 : Groupes homogènes des variétés pour poids frais racinaire (PFR) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V2	0.086	A
V3	0.048	Ab
V4	0.039	B
V1	0.038	B
V6	0.028	B
V5	0.023	B

Annexe 32 : Groupes homogènes des Traitements pour poids frais racinaire (PFR) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.104	A
T1	0.047	B
T2	0.024	B
T3	0.023	B
T4	0.018	B

Annexe 33 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour le poids frais racinaire (PFR).



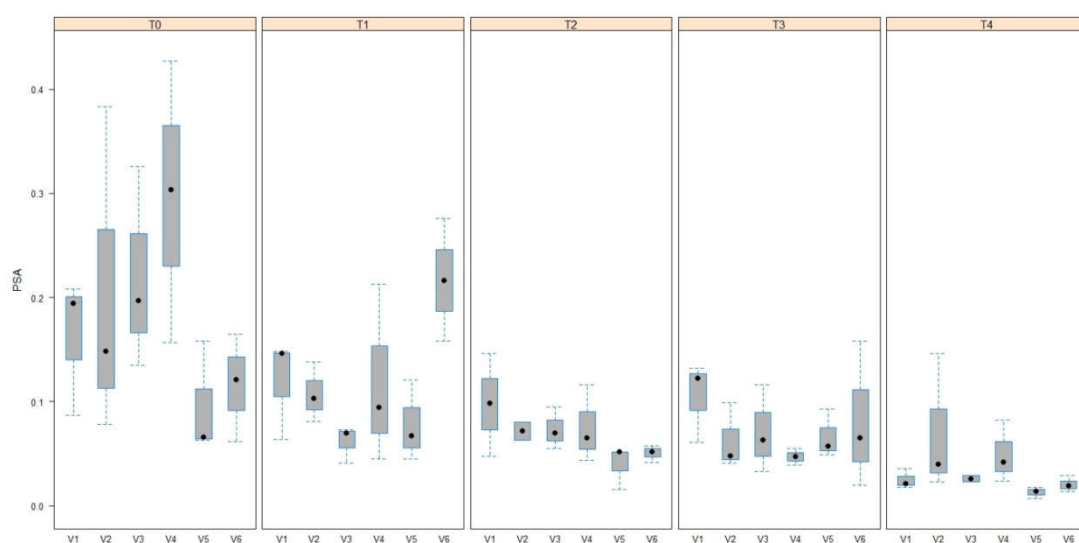
Annexe 34 : Groupes homogènes des Variété pour poids sec aérien (PSA) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V4	0.116	A
V2	0.105	Ab
V1	0.101	Ab
V6	0.097	Ab
V3	0.094	Ab
V5	0.058	B

Annexe 35 : Groupes homogènes des Traitements pour poids sec aérien (PSA) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.182	A
T1	0.116	B
T3	0.072	C
T2	0.067	C
T4	0.034	C

Annexe 36 : Comportement de chaque variété de quinoa dans différentes concentrations salines pour le poids sec aérienne (PSA).



Annexe37 : Groupes homogènes des Variétés pour poids sec racinaire (PSR) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Variété	Moyenne	Groupe homogènes
V2	0.028	A
V1	0.015	B
V4	0.014	B
V6	0.013	B
V5	0.012	B
V3	0.012	B

Annexe 38 : Groupes homogènes des Traitements pour poids sec racinaire (PSR) (test de Newman et Keuls au seuil 5%).

Traitement	Moyenne	Groupe homogènes
T0	0.024	A
T2	0.018	B
T1	0.015	Bc
T3	0.009	C
T4	0.008	C

Résumé

Effet de la salinité sur la germination et la croissance de quelques variétés de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) introduites et cultivées en Algérie

La salinité constitue un problème environnemental mondial qui affecte les productions des cultures. En Algérie et afin d'exploiter les terres affectées par la salinité l'introduction du quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) connu pour sa tolérance à la salinité, représente une alternative très prometteuse.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de six variétés de quinoa introduites (Q101, Q102, Q103, Q104, Q105, Santamaria) en les soumettant à des concentrations croissantes en NaCl (0, 100, 200, 300, 500 Mm). Plusieurs paramètres en relation avec la germination (taux de germination, la vitesse de germination...etc), et la croissance (paramètres morphologiques et biomasse) ont été retenus pour déterminer l'effet du stress salin.

Les résultats obtenus ont montrés une très grande variabilité génétique entre les variétés étudiées en réponse au stress salin appliqué. Tous les paramètres étudiés ont été affectés par le stress salin. Pour la germination la variété Q104 ressort comme la plus tolérante pour la quasi-totalité des paramètres étudiés alors que dans la phase croissance c'est la variété Q102 qui s'est distinguées.

Mots-clés : Quinoa, variétés, stress salin, germination, croissance.

Summary

Effect of salinity on the germination and growth of some varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) introduced and grown in Algeria

Salinity is a global environmental problem that affects crop production. In Algeria and in order to exploit the lands affected by salinity, the introduction of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), Known for its tolerance to salinity, represents a very promising alternative.

The objective of this work is to study the effect of salinity on the germination and growth of six introduced quinoa varieties (Q101, Q102, Q103, Q104, Q105, Santamaria) by subjecting them to increasing concentrations of NaCl. (0, 100, 200, 300, 500 Mm). Several parameters related to germination (germination rate,

germination velocity, etc.) and growth (morphological parameters and biomass) were used to determine the effect of salt stress.

The results obtained showed a great genetic variability between the varieties studied in response to the salt stress applied. All parameters studied were affected by salt stress. For germination, the Q104 variety emerged as the most tolerant for almost all the studied parameters, whereas in the growth phase it was the Q102 variety that distinguished itself.

Keywords: Quinoa, varieties, salt stress, germination, growth.

المخلص

تأثير الملوحة على الإنباتية و نمو بعض أصناف الكينوا (*Chenopodium quinoa Willd*) المدخلة و المزروعة في الجزائر

الملوحة تشكل مشكلة على المستوى العالمي و تؤثر أيضا على الإنتاج الزراعي في الجزائر و بغرض الاستفادة من الأراضي المتضررة و التي تعاني من الملوحة تم إدخال نبتة الكينوا (*Chenopodium quinoa Willd*) النبتة المعروفة بمقاومتها للملوحة و التي تمثل بديلا واعدة جدا لهذه الأراضي.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الملوحة على إنباتية البذور و على نموها لستة (06) أصناف من الكينوا المدخلة حديثا بالجزائر و هي (Q101 - Q102 - Q103 - Q104 - Q105 - Santamaria)

و التي عرضت إلى تراكيز متزايدة من محلول كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)، (0، 100، 200، 300، 500 مم)، وقد تم تسجيل العديد من الخصائص المتعلقة بالإنباتية (نسبة الإنباتية سرعة الإنبات إلخ) و النمو الخصائص البنوية (الشكلية) و الكتلية الخضرية و تم تسجيلها لتحديد تأثير الإجهاد الملحي.

النتائج المتحصل عليها أبانت عن اختلاف جيني كبير بين الأصناف المدروسة مع تجاوب مع الإجهاد الملحي المطبق و جميع الخصائص التي تمت دراستها تأثرت بالإجهاد الملحي المطبق.

بالنسبة للإنباتية فصنف (Q104) أعطى أكبر تحمل لأغلبية الخصائص المدروسة أما في مرحلة النمو فصنف (Q102) هي التي أبرزت تحمل أكبر.

الكلمات المفتاحية: كينوا، أصناف، الإجهاد الملحي، الإنباتية، النمو.