



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Réf:.....

Présenté et soutenu par :

Adjal Izdihar et Cherr Cheyma

Le : Mercredi 30 septembre 2020

Thème

Le quinoa en conditions de stress thermique

Jury :

Mme. Rima ABSI	M.C.A Université de Biskra	Président
Mme. Hafida BELKHARCHOUCHE	M.C.B Université de Biskra	Rapporteur
Mme. Yamina BOUATROUS	M.C.A Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, Alhamdo li Allah.

Je voudrais remercier du fond du cœur Mme BELKHARCHOUCHE qui a encadré cette étude au quotidien. En particulier lorsque je me suis confronté au doute, je lui suis reconnaissant pour : sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.

Je voudrais remercier Mr. Amir Ceux qui m'a aidé dans l'analyse statistique, pour leur simplicité et leur générosité, qui sont la preuve de leur qualité humaine. J'adresse mes plus vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres de' I.T.D.A.S (L'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne) de BISKRA. Surtout Mme Halima et Yassine.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département des sciences de la Nature et de la Vie.

Dédicace

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Ma maman que j'adore.

A ma très chère maman

Au meilleur des pères

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A mes Amis

A tous ceux qui me sont chers

Table des matières

Titres	Pages
Liste des Tableaux.....	I
Liste des Figures.....	II
Liste des abréviations	III
Introduction.....	1
Première partie Synthèse bibliographique	
Chapitre 1 : Le quinoa	
1. Le Quinoa.....	5
1.1. Définition.....	5
1.2. Origine et historique.....	5
1.2. Classification botanique et description des caractères morphologiques	6
1.2.1. Classification scientifique de quinoa	6
1.2.2. Description morphologique de la plante.....	7
1.2.2.1. Caractères végétatifs.....	7
Les racines.....	7
La Tiges	7
Ramification.....	7
1.2.2.2. Caractères floraux.....	7
Les feuilles	7
La fleur	8
Les fruits et les graines	8
1.3. Phénologie du quinoa.....	9
1.3.1. Stade levée.....	9
1.3.2. Stade deux feuilles vraies	9
1.3.3. Stade quatre feuilles	10
1.3.4. Six feuilles	10
1.3.5. Ramification	10
1.3.6. Début de formation de la panicule	10
1.3.7. Panicule	10
1.3.8. Début de floraison	10
1.3.9. Grain laiteux.....	11
1.3.10. Grain pâteux	11

1.3.11. Maturité physiologique	11
1.4. Valeur nutritionnelle des graines	11
1.5. Utilisations de Quinoa.....	13
1.5.1. Alimentation humaine	13
1.5.2. Industrie alimentaire.....	13
1.5.3. Alimentation animale	13
1.5.4. Utilisations médicinales	13

Chapitre 2 : Généralités sur le stress thermique

2. Stress thermique	15
2.1. Définitions du stress.....	15
2.2. Différents types de stress	15
2.2.1. Stress hydrique	15
2.2.2 Stress salin	15
2.2.3. Stress thermique	16
2.3. Effets de contrainte thermique sur les plantes	16
2.3.1. Au niveau de stade germinatif.....	16
2.3.2 .Effet osmotique.....	16
2.3.3. Au niveau de stade végétatif	17
2.4. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques extrêmes.....	17
2.4.1. Résistance à la sécheresse	17
2.4.2. Résistance au froid	17
2.5. Les différents mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques de la résistance du quinoa à la sécheresse et au froid	17

Deuxième partie : Partie Expérimental

Chapitre 3 Matériels et méthodes

3. Matériel expérimentale	23
3.1. Matériel végétal	23
3.2. Mise en place de l'expérimentation et dispositif expérimental	25
Test de germination	25
3.3. Les paramètres étudiés	25
3.3.1. Taux de germination final	25
3.3.1. Cinétique de germination	25
3.4. Analyse statistique.....	25

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1. Présentation des résultats	27
4.1.1. Taux de germination.....	27
4.1.2 Cinétique de germination	30
4.2 Discussions	32
Conclusion.....	36
Bibliographie.....	37
Annexes	

Liste des Tableaux

Tableau	Page
Tableau 1.1 : Classification scientifique du quinoa	6
Tableau 1.2 : Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autre aliments (g/100g de poids sec).....	11
Tableau 1.3 : Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100 g	12
Tableau 2.1 : Mécanisme de résistance et de tolérance et du quinoa a la sécheresse	18
Tableau 2.2 : Mécanisme de résistance et de tolérance du quinoa au froid	20
Tableau 1.1 : Le matériel utilisé dans la présente expérimentation.....	23
Tableau 4.1 : Analyse de variance (ANOVA) a deux facteurs contrôlés du taux de germination.....	28
Tableau 4.2 : Classification des Température appliquée sur les différentes variétés du quinoa étudiées en groupes homogène, selon le test de SNK, pour le paramètre "Taux de germination".....	29
Tableau 4.3 : Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre "Taux de germination"	30

Liste des figures

Figure	Page
Figure 1.1 : <i>Chenopodium quinoa</i> -structure interne de la graine (section médiane longitudinale).....	9
Figure 3.1 : Les graines du quinoa de différente variété étudiée	24
Figure 4.1 : Variation du taux de germination, des différentes variétés de quinoa , en fonctionde l'intensité du stress thermique	28
Figure 4.2: Effets de différentes températures sur la cinétique de germination des six variétés de Quinoa étudiés.....	31

Liste des abréviations

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

Tmin : la température minimale ou de base.

Topt : la température optimale.

Tmax : la température maximale.

Introduction générale

Introduction

De nos jours, la santé humaine et la sécurité alimentaire sont devenues des préoccupations mondiales de plus en plus importantes. Au cours des prochaines années, les écosystèmes devraient connaître des bouleversements climatiques tels qu'ils mettront en danger la production alimentaire fiable (Perez *et al.*, 2010). D'ici 2050, la population mondiale devrait augmenter à plus de 9 milliards, augmentant ainsi la demande alimentaire entre 70 et 100% (Tilman *et al.*, 2002 ; Godfray *et al.*, 2010).

Aujourd'hui, environ 1 individu sur 8 souffre déjà de sous-alimentation chronique (FAO, IFAD, WFP, 2014), tandis que le diabète, l'obésité et autres troubles métaboliques ont atteint des proportions épidémiques mondiales (Nguyen et Lau, 2012 ; Zimmet *et al.*, 2014). En outre, l'âge médian de la population devrait également connaître une hausse progressive (31,1 prévu en 2050 contre 26,6 en 2000 (Lutz *et al.*, 2008), entraînant vraisemblablement une augmentation de la prévalence des troubles liés à l'âge comme les maladies cardiovasculaires.

Dans ce contexte, l'alimentation apparaît comme une solution abordable pour lutter contre la faim, la malnutrition et la dégradation de la santé humaine. Afin de promouvoir la capacité du quinoa à améliorer les moyens d'existence des diverses communautés à travers le monde, l'amélioration de l'accès et la prise de conscience de la valeur du quinoa pour la santé sont déterminantes.

Encore limitée à certaines zones, la production de quinoa n'est pas en mesure de répondre à la demande croissante du monde entier. Une des stratégies est l'expansion de la culture du quinoa dans les autres continents, en particulier les régions d'Afrique et d'Asie où la production alimentaire est menacée par le changement climatique et la désertification. Une deuxième stratégie consiste en la diffusion des informations concernant la valeur du quinoa sur la santé, les utilisations, la biodiversité et les méthodes de culture durables (Graf *et al.*, 2015).

Le quinoa devient de plus en plus populaire et sa culture est parmi les plus rapides dans le monde, ce qui lui permet de contribuer significativement à la sécurité alimentaire et à la nutrition dans les régions du Proche-Orient et d'Afrique du Nord. Étant, une plante alternative aux céréales sans gluten, cette espèce végétale est considérée aujourd'hui comme un aliment sain à haute valeur nutritionnelle (Carmen Rosa Del Castillo Gutierrez, 2008).

Cette espèce végétale est dotée d'un historique très important, il était adoré et d'ailleurs appelé « Chisyamama » ce qui signifiait « la mère de tous les graines », aussi est constituait un aliment de base des populations entre 3000 et 5000 an avant J.-C., c'est une

culture d'origine des Andes en Amérique du sud (région du lac Titicaca), principalement au Pérou et en Bolivie. (Bazile *et al.*, 2016).

Le quinoa est un grain ayant une valeur nutritionnelle exceptionnelle ; Ça a été cultivé pour les 5000-7000 dernières années dans la région andine de la Bolivie et Pérou. L'année 2013 a été déclarée par les Nations Unies Année du quinoa comme reconnaissance de son potentiel significatif.

Cette plante a des concentrations élevées de protéines, tous les acides aminés essentiels, les acides gras insaturés et un faible indice glycémique (GI) ; il contient également vitamines, minéraux et autres composés bénéfiques, et est sans gluten par nature. Le quinoa est facile à cuisiner et polyvalent en préparation. (Gordillo-Bastidas *et al.*, 2016).

La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournis par les aliments en grain, dont 95% sont produits par les cultures céréalières (Bonjean et Picard, 1990). Dans ce cadre, le quinoa est une pseudo-céréale considérée comme une culture alternative majeure pour répondre aux pénuries alimentaires de ce siècle (Ruiz *et al.*, 2014).

En dépit de l'accroissement rapide de la population mondiale, laquelle dépassera les 9 milliards en 2050, et du changement climatique qui menace les ressources terrestres et en eau de plusieurs régions du monde, cette planète doit produire suffisamment de nourriture pour tous ses habitants (Herbillon, 2015).

Par ailleurs, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) soulignant son efficacité dans la lutte contre la désertification.

D'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride où il pourrait même donner des rendements acceptables (Bazile *et al.*, 2016).

Cependant, le plus grand problème pour l'agriculture au cours des dernières décennies est l'augmentation de la température qui, conformément aux prévisions climatiques, continuera d'augmenter de 1,5 ° C à 6 ° C jusqu'à la fin du XXIe siècle (GIEC, 2018), augmentant l'incidence du comportement phénologique et physiologique des principales cultures agricoles et la disponibilité de la nourriture dans le monde (García-Parra, M., *et al.*, 2020). De multiples enquêtes affirment que les oscillations fréquentes des températures élevées et basses pendant des périodes de temps plus courtes et en combinaison avec des périodes de sécheresse plus longues, des problèmes de salinité dans les sols et / ou des inondations, mettraient en danger la production de nourriture et, par conséquent, la sécurité de la nourriture dans le monde (Hinojosa *et al.*, 2018).

La température est un facteur environnemental qui varie selon les saisons et subit des fluctuations quotidiennes. Le gel et les hautes températures affectent le développement de la céréale tout long de son cycle (Bouzerzour et Monneveux, 1992).

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède 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 contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

Le quinoa est une plante qui, selon son origine, présente une capacité d'acceptation variable à chauffer (Jacobsen, 2017). Cependant, les zones de latitudes inférieures sont celles où la production de quinoa est plus importante et sont également les zones les plus sensibles à la chaleur (Lamaoui et al. , 2018). ont démontré que la combinaison de différents niveaux de températures (8-18 ° C et 20-25 ° C) respectivement, et avec trois (3) types d'irrigation (irrigation complète, irrigation déficiente et irrigation à séchage alterné) ont indiqué des changements dans le développement physiologique du quinoa, générant des variations dans la production de biomasse, le rendement en grains et le comportement phénologique décrivent conjointement les changements dans l'activité photosynthétique, la taille et la densité stomatique lorsqu'ils sont combinés avec les concentrations salines dans le sol . (García-Parra, M., et al. , 2020).

Il a été reconnu que l'augmentation de la température pendant la phase de croissance du quinoa est considérée comme l'un des facteurs abiotiques les plus pertinents de cette espèce. (Selon Hinojosa et al. , 2018).

Les effets du changement climatique ont mis en péril la sécurité alimentaire dans différentes parties du monde et il est prévu que, dans le cas du quinoa, sa production soit davantage affectée par les fortes variations de températures pendant la journée et la nuit (Hinojosa, Matanguihan et Murphy, 2019).

De ce fait, l'introduction du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement, en raison de l'adaptation de cette espèce végétale associée aux céréales à différents climats. Du fait, qu'il croit sur des températures différentes, le quinoa pourrait également être cultivé au Sud de l'Algérie où ce genre de sols occupe de grandes étendues.

Notre travail est divisé en quatre parties distinguées :

- La première partie : est consacrée à un système bibliographique concernant le thème du travail, généralité sur l'espèce étudiée (Quinoa).
- La deuxième partie : généralité sur le stress thermique.
- La troisième partie : est réservée à une étude expérimentale comporte la présentation des méthodes de travail utilisées pour analyser les échantillons.
- La quatrième partie : présente les résultats de différents paramètres de l'espèce étudiée et l'interprétation de ces résultats.

La conclusion.

Première partie

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Le quinoa

1. Le Quinoa

1.1. Définition

Le quinoa (*Chenopodium quinoa*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Chenopodiaceae. C'est une pseudo-céréale, étroitement liée à des espèces telles que la betterave, l'épinard et l'amarante.

Cette plante traditionnelle est cultivée depuis plus de 5 000 ans sur les hauts plateaux d'Amérique du Sud. Comme le haricot, la pomme de terre, le maïs. Il était à la base de l'alimentation des civilisations précolombiennes, mais, contrairement à ces dernières, il n'a pas retenu l'attention des conquérants espagnols à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe de ses graines non écorcées, et du fait que la farine qui en est tirée n'est pas panifiable en raison de l'absence de gluten.

Dans les années 1970, les pays industrialisés enquêtent d'une alimentation plus saine découvrent les qualités nutritionnelles du quinoa qui est désormais distribué dans la plupart des grandes surfaces, notamment dans les magasins de produits issus de l'agriculture biologique et du commerce équitable (Mujica, 1992).

1.2. Origine et historique

Le quinoa, est une plante herbacée annuelle, avec une large dispersion géographique, il présente des caractéristiques particulières dans sa morphologie, sa coloration et son comportement dans différentes zones agro-écologiques où il est cultivé, il a été utilisé comme aliment depuis des temps immémoriaux, il est calculé que sa domestication s'est produite plus de 7 000 ans avant Jésus-Christ, il présente d'énormes variations et plasticité pour s'adapter aux différentes conditions environnementales. Il est cultivé du niveau de la mer à 4 000 m d'altitude, des zones arides, aux zones humides et tropicales, des zones froides aux zones tempérées et chaudes ; très tolérant aux facteurs abiotiques indésirables tels que la sécheresse, le gel, la salinité du sol et d'autres qui affectent les plantes cultivées (Mujica et al., 2001).

1.2. Classification botanique et description des caractères morphologiques

1.2.1. Classification scientifique de quinoa

Chenopodium quinoa fait partie de la famille des Chenopodiaceae, qui comprend également l'épinard ou la betterave. Il appartient au genre *Chenopodium* qui contient environ 250 espèces. On connaît environ 1800 variétés de quinoa. (Sophie Foucaul, 2014)

Le quinoa est une plante dicotylédone angiosperme de la famille des Chenopodiaceae. Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) range le quinoa dans la famille des Amaranthaceae, mais nous continuerons de nous référer à la classification de Cronquist (**Tableau 1**).

Tableau 1.1 : Classification scientifique du quinoa (Herbillon, 2015).

Classification de Cronquist(1981)	
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsidae
Classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	<i>Chenopodium</i>
Classification APG III (2009)	
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd., 1798	

1.2.2. Description morphologique de la plante

1.2.2.1. Caractères végétatifs

Les racines

Quinoa a une racine pivotante vigoureuse et profondément enracinée. En raison d'un manque de dormance des semences dans l'un des cultivars de quinoa connus, l'émergence des semis, y compris l'allongement des racines, se produit rapidement en présence d'une humidité adéquate du sol. Juste en dessous du cou. (Jacobsen et Stolen, 1993).

La Tiges

Au-dessous du col, la tige est cylindrique, tandis qu'au-dessus elle devient angulaire avec des positions alternées des feuilles, provenant des quatre côtés à leur tour. À l'intérieur de la tige, il y a une moelle sans fibre, blanche à crème, qui, au début de la croissance, est massive et molle, mais qui devient creuse et spongieuse à l'approche de la maturité. En revanche, le cortex est ferme et compact. (Jacobsen et Stolen, 1993).

Ramification

Les branches proviennent des aisselles de chaque feuille sur la tige. Leur longueur peut varier de quelques à la même longueur que la tige principale, selon le cultivar et les conditions environnementales. (Jacobsen et Stolen, 1993).

1.2.2.2. Caractères floraux

Les feuilles

Les feuilles d'une même plante sont nettement polymorphes, celles de la tige principale étant plus longues que celles des ramifications. Les feuilles, alternes, ont un limbe en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou onduleux, charnu et tendre (celles de jeunes plantes se consomment comme légume. (Del Castillo *et al.* , 2008).

La fleur

Les fleurs, petites, incomplètes (apétales) et sessiles, sont de la même couleur que les sépales. Elles peuvent être hermaphrodites, pistillées ou androstériles. Elles sont composées de cinq étamines à filaments courts soutiennent des anthères basifixes ; le style a deux ou trois stigmates plumeux (FAO, 1994).

Les fruits et les graines

Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, à savoir de l'extérieur vers l'intérieur : périgone, péricarpe et épisperme. Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille sont variables (Herbillon ,2015). (**Figure 1.1**).

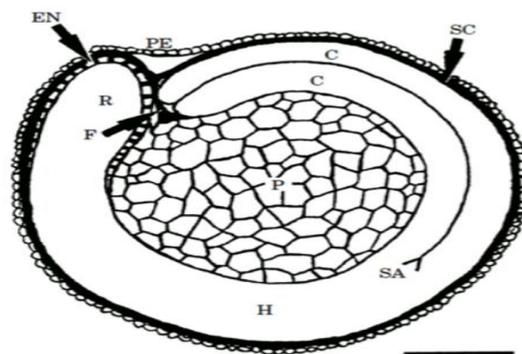


Figure 3.1 : *Chenopodium quinoa* -structure interne de la graine (section médiane longitudinale)

Le péricarpe (PE) entoure la graine. L'embryon consiste en un axe hypocotyle-radicule (H) et deux cotylédons (C). L'endosperme (EN) est présent dans la région micropylaire. (F) : Funicule ; (P) : Périsperme ; (PE) : Péricarpe ; (R) : Radicule ; (SA) : Apex ; Echelle = 500µm (Herbillon, 2015)

1.3. Phénologie du quinoa

La phénologie est les changements externes visibles du processus de développement des plantes, qui sont le résultat des conditions environnementales, le quinoa présente des phases phénologiques bien marquées et différenciables, qui permettent d'identifier les changements intervenus au cours du développement des plantes (El Bachiller et *al.* , 2014)

1.3.1. Stade 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.

1.3.2. Stade deux feuilles vraies

Les deux premières feuilles vraies apparaissent 15 à 20 jours après le semis, conjointement à une croissance rapide des racines. Elles sont de forme rhomboïdale au contraire des feuilles cotylédonaires.

1.3.3. Stade quatre feuilles

La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaires sont toujours vertes.

1.3.4. Six feuilles

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

1.3.5. 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.

1.3.6. 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.

1.3.7. 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.

1.3.8. 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.

1.3.9. 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.

1.3.10. Grain pâteux

L’intérieur des fruits devient d’une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche, 130 à 160 jours après le semis

1.3.11. Maturité physiologique

Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en eau inférieure à 15%. Pendant le remplissage des grains depuis la floraison. (Lebonvallet, 2008).

1.4. Valeur nutritionnelle des graines

Le quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), est une culture alimentaire traditionnelle de famille des chenopodiaceae. Autrefois connu des Incas comme leur «grain mère», le quinoa est aujourd'hui connu pour sa haute teneur en protéines et sa précieuse source de micronutriments. (Wright et al, 2002).

Tableau 1.2 : Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autre aliments (g/100g de poids sec) (Koziol M. 1992).

	Quinoa	Blé	Riz	Mais	Haricot
Energie (Kcal/100g)	399	392	372	408	367
Protéines	16 ,5	14,3	7,6	10, 2	28
Lipides	6,3	2,3	2,2	4,7	1,1
Glucides	69	78,4	80,4	81,1	61,2

Tableau 1.3 : Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100 g (Souci Fachmann et Kraut, 2008).

Apport énergétique	
Joules	1415 KJ
Calories	334 Kcalas
Principaux composants	
Protides	14,8g

Lipides	5,04 g
Saturés	504,7 mg
Oméga – 3	200 mg
Oméga-6	2430mg
Oméga – 9	1300mg
Eau	12,7 g
Glucides	58,5 g
Fibres alimentaires	6,64 g
Cendres Totales	3,33 g
Minéraux et Oligo – éléments	
Fer	8,0mg
Magnésium	275mg
Manganèse	2,8 mg
Phosphore	328mg
Potassium	804 mg
Sodium	9,6mg
Zinc	5,5 mg
Bore	0,800 mg
Calcium	80 mg
Chlore	105 mg
Cobalte	0,0031 mg
Cuivre	0,787 mg
Vitamines	
Vitamine B1	0,170 mg
Vitamine B3(ou PP)	0,450 mg
Vitamine E	4,0 mg

1.5. Utilisations de Quinoa

Les principales utilisations du quinoa peuvent être résumées comme suit : (Touati, 2018).

1.5.1. Alimentation humaine

On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche).

1.5.2. Industrie alimentaire

Les grains et la farine de quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie de la farine.

1.5.3. Alimentation animale

La plante entière sert de fourrage vert.

1.5.4. Utilisations médicinales

Les feuilles, tiges et graines de quinoa servent à diverses applications médicinales grâce à leurs propriétés cicatrisantes, anti-inflammatoires, analgésiques (mal de dents) et désinfectantes des voies urinaire. Il est utilisé par les personnes allergiques au gluten, car le Quinoa est sans gluten (Alvarez-Jubete, 2010).

Chapitre 2 : Généralités sur le stress thermique

2. Stress thermique

2.1. Définitions du stress

Le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant (Levitt, 1980 in Ben Kaddour, 2014).

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement. Le stress est fondamentalement un concept mécanique défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet en réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (Hopkins, 2003).

Il y a deux types de stress :

-biotique : imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).

-abiotique : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité... (Vincent, 2006).

2.2. Différents types de stress

2.2.1. Stress hydrique

Le stress hydrique est un stress qui est provoqué par un déficit en eau constituant un menace permanent 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).

2.2.2 Stress salin

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, à un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe. (NULTSH, 1998).

2.2.3. Stress thermique

La température est l'un des principaux facteurs qui conditionne la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans des régions désertiques et dans des régions cultivées semi-arides sont soumises à des températures élevées en même temps qu'à des niveaux de radiations élevées, à des faibles humidités du sol et à des intensités potentiellement élevées de la transpiration. (Hopkins, 2003).

2.3. Effets de la contrainte thermique sur les plantes

2.3.1. Au niveau de stade germinatif

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. (Hajlaoui *al.* , 2007), La germination des graines est affectée par différents facteurs environnementaux, la température étant l'un des plus importants pour réussir la germination. La température influence la germination des graines par son impact à la fois sur les processus physico-chimiques (par exemple l'absorption d'eau) et les processus métaboliques (par exemple les réactions catalysées par les enzymes). (González et *al.* , 2017).

2.3.2 .Effet osmotique

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes pendant un temps suffisant qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Les plantes peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures élevées du jour ou de nuit, par l'air chaud ou par les températures élevées du sol. Montrent que l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau, et à les utiliser, au rythme imposé par le stress thermique. (Benderradji L. 2013).

2.3.3. Au niveau de stade végétatif

Pendant les stades végétatifs des plantes, les températures élevées peuvent endommager des composants de l'appareil photosynthétique des feuilles, réduisant ainsi les taux d'assimilation d'anhydride carbonique comparés aux environnements ayant des températures optimales. La sensibilité de la photosynthèse à la chaleur principalement, peut être due aux dommages des composants du PSII situé dans les membranes des thylakoides et aux propriétés des chloroplastes et des membranes (Alkhatib et Paulsen, 1999).

2.4. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques extrêmes

2.4.1. Résistance à la sécheresse

Le quinoa est une plante hautement résistante à la sécheresse puisqu'elle tolère des températures élevées allant jusqu'à 35°C et présente de faibles besoins en eau (Oelke et *al.*1992). Toutefois, la sécheresse a plusieurs conséquences sur la plante et l'effet ne sera pas le même selon l'intensité et la durée de l'épisode sec. (Mujica et *al.*, 2001).

2.4.2. Résistance au froid

Il existe plusieurs cultivars de quinoa qui se sont adaptés aux basses températures (Mujica et *al.*, 2001). L'effet du gel sur la plante diffère selon son intensité et sa durée, mais aussi selon les phases de développement où il se produit, l'humidité relative de l'air et le génotype. (Bois et *al.* , 2006).

2.5. Les différents mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques de la résistance du quinoa à la sécheresse et au froid

La large distribution géographique de quinoa témoigne de la grande faculté d'adaptation de cette espèce qui a dû développer divers mécanismes de décence afin de résister à la sécheresse fréquente, au sel, au gel, au vent (Herbillon, 2015).

Tableau 2.1 : Mécanisme de résistance et de tolérance et du quinoa a la sécheresse (d'après Mujica et al. , 2001)

Types de mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques.	<input type="checkbox"/> Réduction de taille des plantes entières ou des feuilles. <input type="checkbox"/> Réduction de la surface foliaire par perte de feuilles.
Physiologiques	<input type="checkbox"/> Plus grande résistance stomatique. <input type="checkbox"/> Récupération rapide des capacités photosynthétiques après une période de sécheresse Faible taux de transpiration.
Anatomiques	<input type="checkbox"/> Plus grand développement racinaire (en densité et profondeur). <input type="checkbox"/> Réduction du nombre et de la taille des stomates.
Phrénologiques	<input type="checkbox"/> Développement racinaire plus rapide dans les premières étapes de croissance. <input type="checkbox"/> Asynchronisme dans la phase de floraison.
Biochimiques	<input type="checkbox"/> Présence d'oxalate de calcium dans les feuilles, tiges et panicule <input type="checkbox"/> Thermo stabilité des cellules sécheresse.

Tableau 2.2 : Mécanisme de résistance et de tolérance du quinoa au froid (d'après Mujica et al , 2001).

Type des mécanismes	Caractéristiques
---------------------	------------------

Chapitre 2 : Généralités sur le stress thermique

Morphologiques	<input type="checkbox"/> Chute de feuilles. <input type="checkbox"/> Réduction de la taille des feuilles. <input type="checkbox"/> Réduction de la taille de la plante.
Physiologiques	<input type="checkbox"/> Mouvements des feuilles et de la tige. <input type="checkbox"/> Osmoregulation de la formation de glace dans l'apoplaste <input type="checkbox"/> résistance au sous refroidissement
Anatomiques	<input type="checkbox"/> Stomates moins nombreux et plus grands.
Phrénologiques	<input type="checkbox"/> Phases phrénologiques plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phrénologiques.
Biochimiques	<input type="checkbox"/> Accumulation de métabolites (sucres solubles, proline et protéines).

Deuxième partie :
Partie Expérimentale

Chapitre 3

Matériels et méthodes

3. Matériel expérimentale

Tableau 2.1: Le matériel utilisé dans la présente expérimentation

Matériel de laboratoire	Matériel Végétale	Verreries	Réactifs
- Etuve - Boites de pétri - Papier filtre - Incubateur pour culture végétale	- Six variétés de quinoa : Q101 (<i>Amanillamarangare</i>) Q102 (<i>Amanillascaca</i>) Q105 (<i>Salcedo</i>) QUINOA NOIR SANTA MARIA GIZO2	- Bécher (250 ml) - Tubes à essai	- Phéno1 (5%) - Eau distillée.

3.1. Matériel végétal

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

Ces variétés sont : Q101, Q102, Q105, QUINOA NOIR, SANTA MARIA et GIZO2 (**Figure3.1**).

D'origine : Département de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA).



Figure 3.1 : Les graines du quinoa des différentes variétés étudiées.

Les essais ont été conduits au laboratoire de biologie de l'université Mohamed Kheider de Biskra El-Hidjeb.

3.2. Mise en place de l'expérimentation et dispositif expérimental

Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes de la température sur la germination des graines de quinoa de six variétés introduites.

Les tests de germination ont été effectués sous différentes températures.

Test de germination

-Pour chaque variété, les graines au nombre de 25 ont été stérilisées par immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 2% pendant 7 min puis rincées à l'eau distillée répétitivement.

-Elles ont ensuite été mises à germer dans des boîtes de Pétri (5cm) de diamètre contenant deux feuilles de papier filtre humidifiées avec 5 ml d'eau distillée.

-Chaque traitement est effectué trois fois.

-Les tests de germination ont été menés à l'obscurité dans un incubateur pour les cultures végétales réglé à différentes températures (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40) pour une période de 8 Jours.

-Les graines germées ont quotidiennement été comptées, enregistrées, en utilisant comme critère la saillie de la radicule de 2 mm (Prado et al. 2000).

3.3. Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

3.3.1. Taux de germination final

Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (Mrani Alaoui et al. 2013).

3.3.1. Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des Variétés étudiés, le nombre de graines germées ont été compté quotidiennement jusqu'au 7^{ème} jour de l'expérience. (Mrani Alaoui et al. 2013).

3.4. Analyse statistique

L'analyse de variance (ANOVA) est effectuée par la comparaison des moyennes est faite par le test (S-N-K) Student-Newman-Keuls basée sur la plus petite différence significative au seuil 5 % de probabilité d'erreur à l'aide de XLSTAT-Excel 2010.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1. Présentation des résultats

4.1.1. Taux de germination

Le Taux de germination, dans des conditions de stress thermique, évolue avec des valeurs différentes selon les variétés étudiées.

Tout d'abord, il faut souligner que quelles que soient les conditions de stress thermique, les variétés de quinoa ont la capacité de germer.

Alors :

-La variété Q102 montre des taux de germination dépassant 80 % Sous l'influence des différentes températures 10C°,15C°,20C°,25C, °30C, °35C, °40C°.

-Dans les températures 10C°et 15C°les variétés Q101 et Q105 et GIZO 2 et QUINOA NOIR montrent des taux de germination entre 75% et 82%.

-Dans les températures 20C°et 25C°les variétés Q101 et Q105 et GIZO 2 montrent des taux de germination dépassant 77%.

-Lorsque l'intensité du stress est élevée entre 30C°et 35C°, les variétés Q101 et Q105 et GIZO2 et QUINOA NOIR, montrent des réponses de capacité germinative qui oscille entre 76% et 82%.

-Lorsque la température atteint 40C° les variétés Q101 et Q105 et GIZO2 et QUINOA NOIR, montrent des taux de germination faibles moins de 65%, ce qui reflète une diminution de la capacité germinative.

-Il faut signaler que la variété Q102 est la plus résistante au stress thermique, elle montre un taux de germination dépassant 80 % de qui dépasse de loin le reste de l'ensemble des variétés étudiés dans ces conditions de stress thermique.

-Pour la variété Santa maria

-Dont nous avons enregistré le taux de germination le plus bas à différentes températures par exemple : les températures 20C° et 25C°le taux de germination moins est de 10%.

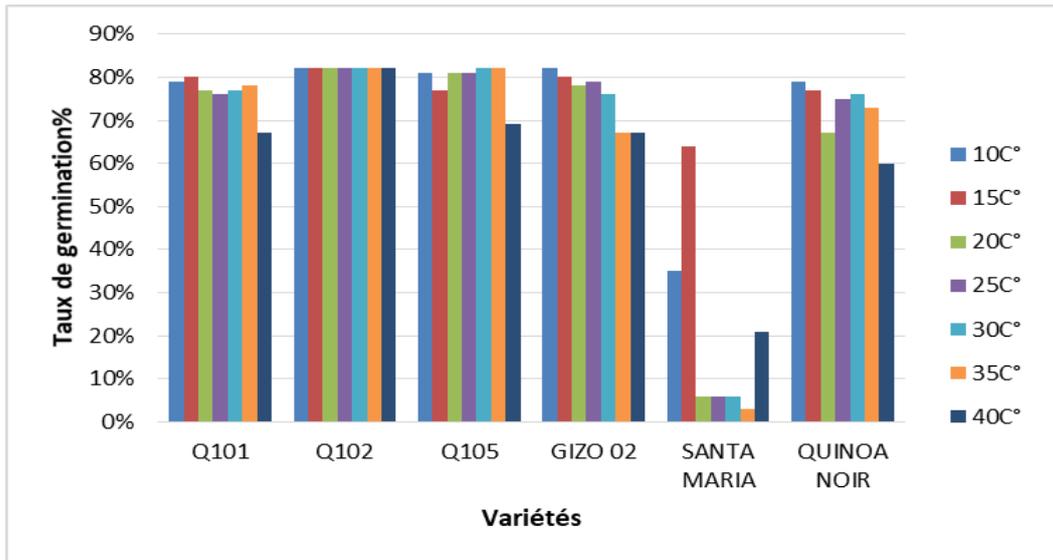


Figure 4.1 : Variation du taux de germination, des différentes variétés de quinoa , en fonction de l'intensité du stress thermique

L'analyse ANOVA des résultats appliqué avec un seuil de probabilité d'erreur $\alpha=0.05$. Cette analyse montre qu'il y a un effet hautement significatif des deux facteurs sur le taux de germination. Comme il est illustré sur le (tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Analyse de variance (ANOVA) a deux facteurs contrôlés du taux de germination.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	7647,944	186,535	443,461	< 0,0001
Erreur	84	35,333	0,421		
Total corrigé	125	7683,278			

La classification par SNK des variables du facteur d'effet de la température (tableau 4.2) A révélé quatre groupes homogènes, dont le groupe A comprenait les taux de germination estimés des températures de 10 ° C et 15 ° C. Ce qui indique qu'il semble être accepté par toutes les variétés.

Par rapport au groupe témoin, les scores pour 25 ° C, 30 ° C, 35 ° C, 20 ° C et 40 viennent dans les groupes B, C et respectivement. Cela reflète un effet inversement proportionnel des changements de température sur les moyens des taux de germination.

Tableau 4.2 : Classification des Température appliquée sur les différentes variétés du quinoa étudiées en groupes homogène, selon le test de SNK, pour le paramètre “Taux de germination”.

Modalité	Moyenne	Groupes		
15° C	21,333	A		
10° C	21,278	A		
30° C	20,333		B	
25° C	20,222		B	
35° C	20,111		B	
20° C	19,444			C
40° C	19,000			C

Comparer les capacités de germination des différentes formulations entre les variétés de quinoa étudiées et les différentes températures appliquées. Nous avons analysé la variance de la réaction mentionnée dans le (**tableau 4.3**).

Nous notons que l'extraordinaire potentiel de germination du variété Q102 a permis de classer même le taux de germination enregistré dans le groupe A. Cela indique la grande tolérance de cette variété à toutes les températures. Les variétés ont continué à être distinguées.

Classe Q105 dans le groupe B. et variété GIZO2 dans le groupe C. et les deux variétés QUINOA NOIR et Q101 sont dans le groupe D. Et SANTA MARIA est dans le groupe E.

Tableau 4.3 : Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre "Taux de germination"

Modalité	Moyenne	Groupes homogène				
Q102	25,000	A				
Q105	23,095		B			
GIZO 02	22,095			C		
QUINOA NOIR	20,810				D	
Q101	20,714				D	
SANTA MARIA	1,952					E

Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre « Taux de germination ».

Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre « Taux de germination ».

4.1.2 Cinétique de germination

La figure exprime la cinétique de germination étudiée des six graines de quinoa sous l'influence des niveaux de changement de température en fonction du temps. Là où on remarque que la germination de toutes les variétés et niveaux de température commence le premier jour, où les deux variétés Q105 et Q102 ont enregistré les taux de germination les plus élevés en termes de jours, tandis que le cultivar SANTA MARIA avait le pourcentage le plus bas, tandis que les cultivars Q101 et GIZO 2, QUINOA NOIR a enregistré des taux de germination variables du troisième jour à aujourd'hui. Septième 0 Le pourcentage de germination diminue et augmente selon les jours de chaque variété en fonction de sa composition et de l'atmosphère qui l'aide On remarque que le pourcentage complet est de 100% pour le type Q102 avec tous les niveaux de température étudiés.

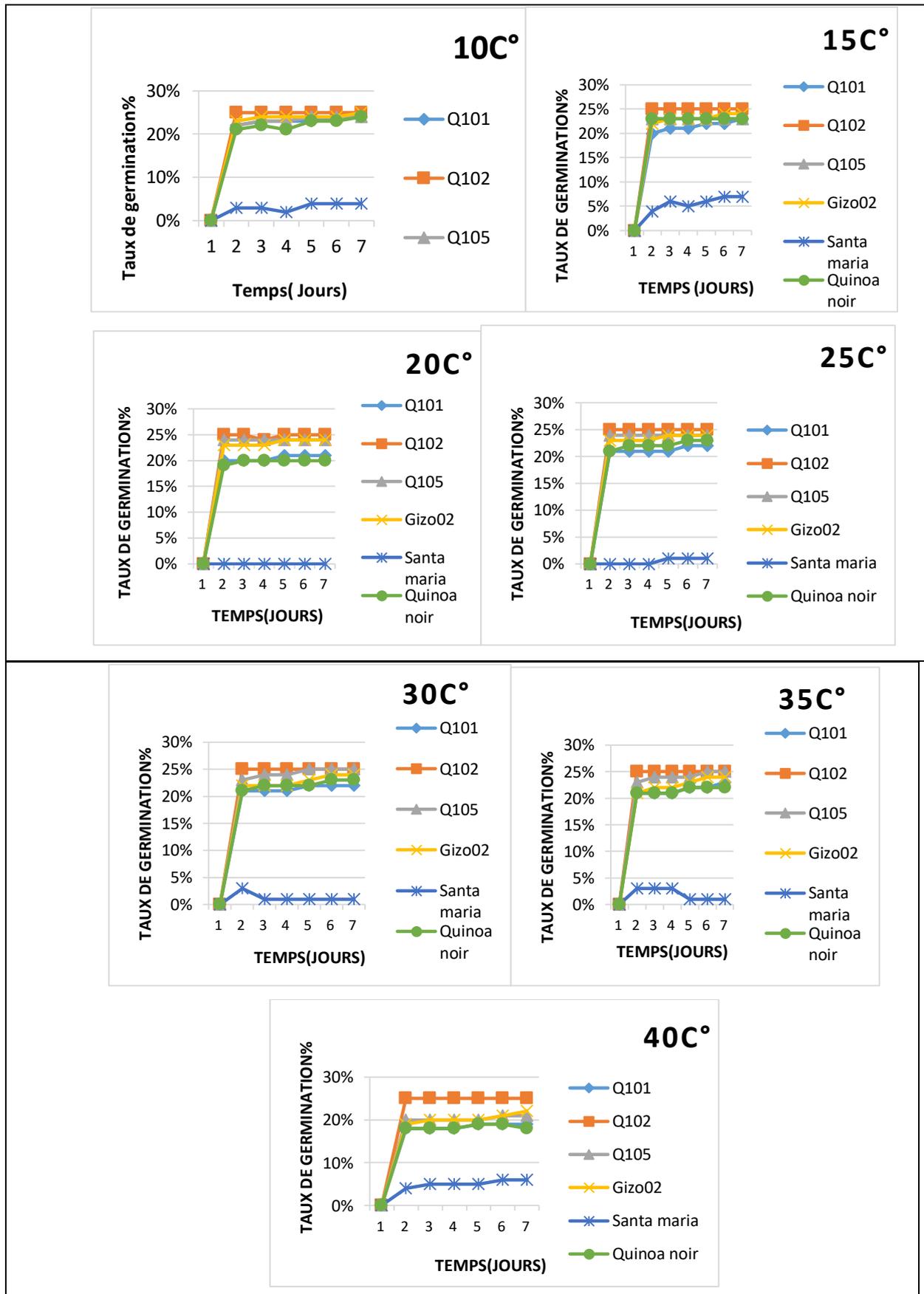


Figure 4.4: Effets de différentes températures sur la cinétique de germination des six variétés de Quinoa étudiés.

4.2 Discussions

La germination des graines est affectée par différents facteurs environnementaux, étant la température l'un des plus importants pour atteindre une germination réussie (Bewley et Black, 1994) la température joue un rôle critique dans la régulation des processus vitaux des plantes comme la germination des graines (Bare et *al.*, 1978). Les informations sur les températures cardinales pour la germination sont importantes pour prédire les zones de distribution des espèces végétales (Singh et *al.*, 2008). L'exposition à toute température au-delà de la plage de température optimale pour la germination peut avoir un effet négatif sur la germination des graines.

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

Quinoa peut germer à basse température. C'est un avantage pour cette espèce végétale germer avant d'autres compétitifs espèces, ils réussiraient donc à concurrence avec les usines voisines (Kamkar et *al.*, 2012). Tel observations suggère l'efficacité d'utilisation des températures cardinales pour prédire les réponses des plantes à facteurs environnementaux. Ceci est également utilisé pour la prédiction des zones géographiques où une espèce ou un géotype peut germer et s'établir avec succès. Un autre comportement intéressant de cultivars de quinoa était leurs larges températures optimales. Ces résultats suggèrent que les cultivars de quinoa peuvent atteindre leur germination maximale sous diverses températures environnementales. Une condition optimale pour la germination de *C. quinoa* peut varier d'un environnement tempéré (18-23 °C) à une température du sol relativement chaude (35-40 °C) (Arash et *al.*, 2017).

Informations sur cardinal les températures de germination sont importantes pour prédire les zones de répartition des espèces végétales (Singh et *al.*, 2008). Exposition à n'importe quelle température au-delà de la plage de température optimale car la germination peut affecter négativement germination des graines.

Il est difficile de s'accorder sur les températures cardinales dans la bibliographie, car les références sont d'une part peu nombreuses, d'autre part variables d'une variété à l'autre.

Les températures de base du développement s'étalent ainsi sur une gamme comprise entre -2°C et +10°C (Bertero et *al.*, 1999a ; 2000 ; Bois et *al.*, 2006), selon les origines des variétés et les conditions expérimentales. Pour notre, nous avons fixé +10°C, ce qui correspond à ce qui avait été utilisé par Germain (2004) et par Bois et Germain (2004).

Concernant les températures maximales, elles oscillent également, entre 23°C (Germain, 2004, Bois, communication personnelle) et 35°C (Jacobsen et Stolen, 1993) ; nous l'avons fixée à 25°C pour le développement et la croissance, elle sera déterminée par optimisation pour le remplissage des grains. Le plateau optimal de photosynthèse a été déterminé entre 18°C et 25°C, ce qui est en accord avec les résultats de (Bertero ; 1999b), de Germain (2004) et de Bois *et al.* , (2006). Différent dans la réponse de germination à température, un modèle identique n'était pas convenable pour décrire le taux de germination.

Les résultats obtenus sont en accord avec (Bois *et al.*, 2006), et (Arash *et al.*, 2017) assurant que le pourcentage de germination le plus élevé s'est produit entre 15 et 35 ° C, tandis que le pourcentage de germination le plus faible a été observé entre 10 ° C et 40 ° C.

Par conséquent, pour chaque variété, un spécial modèle a été utilisé. (Saeidnejad *al.*, (2012) ont rapporté diverses réponses Cultivars de *Bunium persicum* à température et ensuite suggéré que la différence est principalement liée à les disparités génétiques entre les cultivars.

Modifiés et en forme de dent ont été utilisés à six températures constantes pour décrire le taux de germination température relations, dans le but de identifier les températures cardinales (Parmoon *et al.* , 2015).

Les graines sont sensibles aux conditions physiques dans le lit de semences. La température et l'humidité sont généralement les facteurs les plus importants, en particulier si le climat est très variable pendant la période de semis avec des conditions défavorables fréquentes, telles que le froid, ou la sécheresse empêchant l'imbibition des graines. Ils vont jouer à la fois sur la germination et sur l'élongation de l'hypocotyle, les ralentissant ou les arrêtant complètement

La température moyenne, le nombre maximal de jours possibles entre imbibition et germination avant le début des manques à la germination à la température moyen considérée.

Les études pour améliorer la germination et l'émergence du quinoa en champ sont pourtant encore très peu nombreuses. En conditions andines, la contrainte essentielle à la germination est la sécheresse (Bonifacio, 1988).

Au contraire d'autres Chénopodiacées telle que la graine d'Amaranthe (Aufhammer, 1998), la lumière n'a pas d'influence sur le taux de germination du quinoa (Jacobsen *et al.* , 1997). En revanche, l'époque de récolte de la semence, la teneur en eau du grain à la récolte et surtout la température ont un effet sur le nombre de graines qui germent. Ainsi, à 20°C le taux de germination moyen est de 99%.

Nos résultats sont en accord avec de nombreux travaux confirmant que :

Le quinoa est très sensible aux conditions défavorables pendant la germination, en raison en partie de la petite taille de ses graines, ce qui conduit à une différence importante entre les taux de germination observés en laboratoire et ceux obtenus au champ (Jacobsen *et al.*, 1994 ; Sigstad et Prado, 1999). Des problèmes de germination ont ainsi été observés autant en conditions andines qu'en conditions européennes. Le problème vient également fréquemment de la qualité des graines, beaucoup présentant une capacité germinative très faible ;(Canahua (1994) estime par exemple qu'il serait possible de doubler les rendements avec des graines de meilleure qualité. L'établissement d'une culture de quinoa à une densité définie est donc difficile à réaliser, sachant que la densité de levée n'excède parfois pas 40% (Kaul *et al.*, 2002).

Conclusion

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. De ce fait, l'introduction d'espèces nouvelles, comme le quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) les résultats très encourageant.

L'étude effectuée au laboratoire nous a permis l'évaluation de l'effet de la température sur la germination de six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) : SANTA MARIA, Q101, Q102, Q105, QUINOA NOIR, GIZO2.

Les résultats montrent que le stress thermique affecte la totalité des paramètres de germination examinés chez les différentes variétés étudiées : taux de germination final, cinétique de la germination, vitesse de germination, moyenne journalière de germination.

Grâce à des travaux expérimentaux, nous avons montré que le quinoa a la capacité de germer même sous un stress thermique.

Par suite la présente étude nous a permis de classer les variétés étudiées en groupes significativement différents, en comparant plusieurs paramètres de germination.

Le premier groupe est formé par les variétés qui est sont la plus tolérante au stress thermique.

Le deuxième groupe renferme par les variétés moyennement tolérantes.

Le troisième groupe contient les variétés qui sont les plus sensibles au stress thermique.

Il faut se référer à SANTA MARIA , où nous avons enregistré le taux de germination le plus bas, ce que nous expliquons par l'influence de la variété par des facteurs externes et un mauvais stockage, car selon d'autres études cette variété a montré une résistance à divers stress, dont le stress thermique.

Enfin, les variétés de quinoa étudiées ont montré une tolérance variable au stress thermique, il est recommandé de les cultiver dans les milieux contraignants où la température est élevée.

Bibliographie

1. Bare C. E., Tooke V. K. & Gentner W. A. (1978). Temperature and light effects on germination of *Papaver bracteatum*, *P. orientale* and *P. somniferum* L. *Planta Medica*, 34, 135-143.
2. Alkhatib, K., G.M., Paulsen. 1999. High-temperature effects on photosynthetic processes in temperate and tropical cereals. *Crop Sci.* 39, 119-125.
3. Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230(3), 437.
4. Araus, J. L., Villegas, D., Aparicio, N., Garcia del Moral, L. F., El Hani, S., Rharrabti, Y., Ferrio, J. P., Royo, C. (2003) Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crops Science*, 43: 170-180.
5. Bazile D., Jacobsen S.-E., Verniau A. The global expansion of quinoa : Trends and limits. *Front. Plant Sci.* 2016 ; 7:622. doi : 10.3389/fpls.2016.00622. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
6. Ben Kaddour M. 2014. Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse de doctorat 3ème cycle, université badjimokhtar – Annaba, 74 p
7. Benderradji L. 2013. Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*triticum aestivum* L.). Thèse de doctorat, Université Constantine -1, 139 p.
8. Bertero H.D., King R.W., Hall A.J., 1999b. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 63:19-34.
9. Bertero H.D., King R.W., Hall A.J., 2000. Photoperiod and temperature effects on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Aust. J. Plant Physiol.* 27:349-356.
10. Bertero H.D., King R.W., Hall, A.J., 1999a. Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 60:231-243.
11. Bewley J. d. Black M. 1994. *Seeds : Physiology of development and Germination*, second ed. Plenum Press, New York, USA.
12. Bois J. F., Winkel T., Lhomme J. P., Raffailac J. P., Rocheteau A. 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) to tempera-

- ture :effects on germination, phenology, growth and freezing. European Journal of Agronomy 25 : 299-308.
13. Bois J.F., Germain N., 2004. Generacion del area foliar en variedades de quinua del altiplano boliviano, consecuencias en termino d'acumulacion de biomasa. In "Congreso Febrero 2004 sobre los Cultivos Andinos", Bolivia, Cochabamba.
 14. Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P., Raffailac J.P., Rocheteau A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature :Effects on germination, phenology, growth and freezing. European Journal of Agronomy. 25:299-308.
 15. Bouzerzour et Monneveux P (1992). Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. Les colloque 1992 ; Vol. 64, pp 205-15
 16. Canahua A., 1994. Influencia de la calidad de semilla a la productividad de cultivos andinos ; papa, quinua, kañiwa y tuberculos monoes. VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos, Valdivia, Chili. Agro-Sur. 22:22.
 17. DEL CASTILLO C., GREGORY M. ET WINKEL T. 2008. Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente "bio- équitable "Biotechnol. Agron .Soc Environ, 12(4) :421-435.
 18. El Bachiller., Roger Dominguez Mendoza., 2014. Caracterización agromorfológica de progenies autofecundadas S2, de cruza dobles genéticamente distantes y cercanas en quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) bajo condiciones de invernadero. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA., pp.09.
 19. FAO, 1994. Cultures marginalisées 1492 : Une autre Perspective. Production végétale et protection des plantes. n°26, pp : 141-145.
 20. FAO, 2011. Quinoa : An ancient crop to contribute to world food security. Latin America and the Caribbean, pp : 20.
 21. Gandarillas, H., 1979. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) : Genética y origen. In : La Quinoa y la Kaniwa cultivos andinos. Tapia, ME. Ganaarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A.
 22. Germain N., 2004. Producción potencial de biomasa de quinua en el altiplano boliviano : simulaciones exploratorias. In "Congreso Febrero 2004 sobre los Cultivos Andinos". Bolivia, Cochabamba

23. González J. A., Eisa S., hussin S., Prado F. E. 2015. Quinoa : an IncanCrop to Face Global Changes in Agriculture. In : Murphy, K.S., Matanguihan, J. (Eds.). Quinoa :Improvement and Sustainable Production. wiley-Blackwell, hoboken, NJ, USA, pp. 1-18.
24. González, Juan A.1*; Sebastián E. Buedo1 ; Marcela Bruno1 ; Fernando E. Prado2 ; 2017. Cuantificación de las temperturas cardinales en cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa*), Vol 54 (2), pp 179–194.
25. Graf B.L., Rojas-Silva P., Rojo L.E., Delatorre-Herrera J., Baldeón M.E., Raskin I. 2015. Innovations in health value and functionalfooddevelopment of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Compr. Rev. Food Sci. F., DOI : 10.1111/1541-4337.12135.
26. Hajlaoui H., Denden M. et Bouslama M., 2007. Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. Tropicultura, Vol 25 (3), Pp 168-173.
27. Herbillon M., 2015. Le Quinoa : Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse doctorat en pharmacie. Université de Rouen u.f.r de médecine et de pharmacie. France, pp : 27-50.
28. Hinojosa, L., González, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., & Murphy, K. (2018). Quinoa Abiotic Stress Réponses : A Review. *Plants*, 7(4), 106. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>
29. Hinojosa, L., Matanguihan, J. B., & Murphy, K. M. (2019). Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seedyield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(1), 33–45. <https://doi.org/10.1111/jac.12302>
30. Hopkins W. G., 2003. Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles : 61- 476
31. Jacobsen S.E., Jørgensen I., Stølen O. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) undertemperateclimatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science*. 122 :47-52.Espagne, Cordoba. p. 195-196.
32. Jacobsen S.E., Stolen O.1993. Quinoa : morphology, phénology and propects for its production as a new crop in Europe.European journal of agronomy, 2:19-29.
33. Jacobsen SE, Bach AP. 1998. The influence of temperature on seedgerminationratein quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *SeedSci Tech* 26:515–523.

34. Jacobsen, S. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 603–613. <https://doi.org/10.1111/jac.12228>
35. Kamkar, B., Al-Alahmadi, M. J., Mahdavi-Damghani, A. & Villalobos, F. J. (2012). Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium popu (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35, 192-198.
36. Kaul H.P., Kubler E., Aufhammer W., 2002. Sowing date and crop density effects on grain amaranth and quinoa in south-west Germany. In "VII Congress of the European Society for Agronomy",
37. Koziol M. 1992 Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 5, 35-68.
38. Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., & Bekkaoui, F. (2018). Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation. *Frontiers in Chemistry*, 6(26), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026>
39. Lebonvallet S., 2008. Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano bolivien. Thèse de doctorat, Agro Paris Tech, France'.
40. LECLERC J.C., 1999 – Ecophysiologie végétale – publications de l'univ. saint
41. Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature. Academic Press., New York, USA. 607 pages
42. Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
43. Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. (2008). The coming acceleration of global population ageing. *Nature*, 451, 716-719.
44. M.A. García-Parra¹, D.F. Roa-Acosta², R. Stechauner-Rohringer¹, F. García Molano³, D. Bazile⁴, N. Plazas-Leguizamón³. 2020. Effect of temperature on the growth and development of quinoa plants (*Chenopodium quinoa* Willd.) : A review on a global scale.
45. Mrani Alaoui M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., et Hmyene A. 2013. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *J. Mater. Environ. Sci*. 4 (6) : 997-1004

46. Mujica A., Izquierdo J., Marathe J.P., 2001. Origen y descripción de la quinua. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) : ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.
47. Mujica, A. 1992. Granos y leguminosas andinas. In : J. Hernandez, J. Bermejo y J. Leon (eds).
48. Oukarroum, A. (2007) Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse de doctorat, Université de Genève, 2007, 196 pages. <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:488>.
49. Perez C., Nicklin C., Dangles O., Vanek S., Sherwood S., Halloy S., et al. (2010). Climate change in the high Andes : implications and adaptation strategies for small-scale farmers. *Int. J. Environ. Cult. Econ. Soc. Sustain.*, 6(5), 71-88
50. Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Richards, R.A., Farquhar, G.D. (2002) Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Science*, 42: 739 – 745.
51. Risi J., Galwey N. w. 1984. The Chenopodium grains of the Andes : Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology* 10 : 145-216.
52. Ruiz-Carrasco K., Antognoni F., Coulibaly A.K., Lizardi S., Covarrubias A., Martínez E.A., Molina-Montenegro M.A., Biondi S., Zurita-Silva A. Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiol. Biochem.* 2011 ; 49:1333–1341. doi : 10.1016/j.plaphy.2011.08.005. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
53. Sigstad E.E., Prado F.E., 1999. A microcalorimetric study of *Chenopodium quinoa* Willd. seed germination. *Thermochimica Acta.* 326:159-164.
54. Singh, S. K., Kakani, V. G., Brand, D., Baldwin, B. & Reddy, K. R. (2008). Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen-based parameters. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 225-236.
55. Sophie Foucault A., 2014. Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : Application clinique. Thèse Doctorat Médecine humaine et pathologie. AgroParisTech. Français, p : 112.

56. Source : Souci, Fachmann, Kraut : La composition des aliments. Tableaux des valeurs nutritives, 7ème édition, 2008, MedPharmScientific .Publishers /Taylor & Francis, ISBN 978-3-8047-50388.
57. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
58. TOUATI Ilham. 2018. Etude de potentiel de croissance et de production de plusieurs variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) sous les conditions arides de sud de l'Algérie (Cas de Ouargla). Universitékasdimerbahouargla, Département science agronomique.pp :8-12.
59. Vincent R., 2006. Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *laminariadigitata*. Thèse de doctorat, Université de Rennes1, 237p.
60. Wright, K. H., Pike, O. A., Fairbanks, D. J., & Huber, C. S. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of food science*, 67(4), 1383-1385.

Annexes

Annexe 1. L'analyse de la variance pour le taux de germination

1.1. Variété

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	7647,944	186,535	443,461	< 0,0001
Erreur	84	35,333	0,421		
Total corrigé	125	7683,278			

1.2. Variation du taux de germination, des différentes variétés de quinoa , en fonction de l'intensité du stress thermique

	Q 101	Q102	Q105	GIZO02	SANTA MARIA	QUINOA NOIR
10C°	79%	82%	81%	82%	35%	79%
15C°	80%	82%	77%	80%	64%	77%
20C°	77%	82%	81%	78%	6%	67%
25C°	76%	82%	81%	79%	6%	75%
30C°	77%	82%	82%	76%	6%	76%
35C°	78%	82%	82%	67%	3%	73%
40C°	67%	82%	69%	67%	21%	60%

Annexe 2. L'analyse de la variance pour la cinétique de taux de germination

2.1. Variété

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	7499,373	182,912	404,331	< 0,0001
Erreur	84	38,000	0,452		
Total corrigé	125	7537,373			

Résumés

الاهتمام بإدخال الكينوا (*Chenopodium quinoa willd.*) في الجزائر هو تكيف نبات الكينوا مع إمكانية استخدامه كمحصول جديد يساهم في تنوع الأطعمة وتعميم المحاصيل التي تتأثر بدرجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة.

توضيح تأثير الإجهاد الحراري على إنبات البذور من أصناف الكينوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) ، تم إجراء دراسة مخبرية على ستة أنماط وراثية: Q101 (Amanillamarangare)، Q102 (Amanillasacaca)، Q105 (Salcedo)، Gizo 02، Quinoa Noir و Santa Maria حيث تعرضت حبوب أصناف الكينوا لدرجات حرارة مختلفة (10) درجة مئوية، (15) درجة مئوية، (20) درجة مئوية، (25) درجة مئوية، (30) درجة مئوية، (35) درجة مئوية، (40) درجة مئوية. في هذا السياق، تمت دراسة بعض المتغيرات المورفولوجيا والفسيوولوجية في مرحلة الإنبات، معدل الإنبات، حركية الإنبات.

أظهرت النتائج المتحصل عليها لمقاومة الإجهاد الحراري لوحظت بشكل متغير من نوع إلى آخر لكننا وجدنا أن الصنف Q 102 قادر على تحمل درجات الحرارة المختلفة المذكورة أعلاه.

الكلمات الرئيسية: الكينوا، الإجهاد الحراري، الإنبات، درجة الحرارة.

L'intérêt de l'introduction du quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) En Algérie est l'adaptation de la plante de quinoa avec la possibilité de l'utiliser comme nouvelle culture qui contribue à la diversité des aliments et à la généralisation des cultures qui sont affectées par des températures basses ou élevées.

Afin d'illustrer l'effet du stress thermique sur la germination des graines de variétés de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), Une étude en laboratoire sur six a été réalisée Génotypes : Q101 (Amanillamarangare), Q102 (Amanillasacaca), Q105 (Salcedo) GIZO 2, QUINOA NOIR et SANTA MARIA, où les fèves des variétés de quinoa ont été exposées à différentes températures. (10C°), (15C°), (20C°), (25C°), (30C°), (35C°), (40C°). Dans ce contexte, certains paramètres morphologiques et physiologiques ont été étudiés au stade de germination : taux de germination, cinétique de germination.

Les résultats obtenus ont montré que la résistance au stress thermique était observée de manière variable d'un type à l'autre, mais nous trouvons que la variété Q 102 est capable de résister aux différentes températures mentionnées précédemment

Mot-clé : Quinoa, stress thermique, germination, température.

The interest of the introduction of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) In Algeria is the adaptation of the quinoa plant with the possibility of using it as a new crop ,which contributes to the diversity of foods and to the generalization of crops that are affected by high or low temperatures.

To illustrate the effect of heat stress on seed germination of varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), One in five laboratory studies have been performed (06) Genotypes: Q101 (Amanillamarangare), Q102 (Amanillasacaca), Q105 (Salcedo) GIZO, QUINOA NOIR and SANTA MARIA, where the beans of the quinoa varieties have been exposed to different temperatures. (10C °), (15C °), (20C °), (25C °), (30C °), (35C °), (40C °). Int his context, certain morphological and physiological paramets were studied at the stage of germination: germination rate, germination kinetics.

The results obtained showed that the resistance to thermal stress was observed in a variable way from one type to another, but we find that the variety Q 102 is able to withstand the different temperatures mentioned above.

Keywords : Quinoa, heat stress, germination, température.