



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn-Khaldoun TIARET

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de biologie

MEMOIRE

Présenté par

LAGRAA Israa

MAKHLOUFI Kaouther

Pour obtenir le

DIPLÔME DE MASTER

Option : Génétique moléculaire et amélioration des plantes

Effet du stress hydrique sur la Germination de quelques variétés de Quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd) introduites et cultivées en Algérie

Soutenu publiquement le:

Membres de jury:

Président : M. BOUBKER AZIZ

Encadreur : M. ADDA Ahmed.

Co-encadreur: M. LAGRAA Bouamama

Examineur : Mme SOUALMI Nadia

Année universitaire : 2020 - 2021

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre professeur encadrant, **M. Adda Ahmed**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Nous remercions particulièrement notre Co-encadreur, **M. Lagraa Bouamama**, pour son soutien constant ainsi que ses précieux conseils tout au long de notre démarche.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail :

Nous remercions Monsieur **BOUBKER AZIZ**, Professeur à l'Université de Tiaret, d'avoir aimablement accepté de présider ce jury. Qu'il me soit permis de lui témoigner mon sincère et profond respect.

Nous tenons à remercier également Monsieur **BOUFARES**, Professeur à l'Université de Tiaret, qui me fait l'honneur de participer à mon jury pour examiner ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers l'ensemble des techniciens du Laboratoire biotechnologie végétale spécialement **M. MADJID, M. HOUARI, Mme HADJIRA, M'Elle ATIKA, AICHA, IBTISSAM, SARA, et ASMAA**. Nous avons apprécié la qualité de votre travail, votre bonne humeur.

Nous remercions le docteur **ASSIA BOUZID** d'avoir été à nos côtés durant plusieurs étapes pratiques, ainsi que l'étudiant **HADJ REGGAD** pour son aide.

Nous remercions les chères copines **IKRAM, FATIMA, et NINA**.

Dédicace

Je tiens à dédier cette mémoire :

À ma très chère Mère, à mon cher Père, et à mamie, en témoignage et en gratitude de leur dévouement, de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.

À mon mari qui m'a accompagné et encouragé durant tout mon parcours.

À mon frère et sœurs :

Djawid, Djoumana, Kaouter, et notre princesse « Amina ».

À mes chères tantes, et à ces enfants.

À mes cousine ASSIA, et MAISSA.

À ma copine KAOUTER MAKHLOUFI

Une dédicace à ma grande famille universitaire et mes meilleurs amis.

Israa Lagraa

Dédicace

Je dédie Modeste travail à la source de tendresse et de bonheur a ceux qui ont consacré toute leur vie pour moi ; mes très chers parents : ZAHIRA et M'HAMED

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le respect que j'ai toujours eu pour vous

A mon cher frère MOHAMED ABDELMADJID et toute ma famille

A mon binôme ISRAA LAGRAA

A mon très chère copine IKRAM KADA

A tous mes collègues de la promotion amélioration des plantes

Kacouther Makhloufi

ملخص

الهدف من هذا البحث هو تقييم تأثير الإجهاد المائي على عملية إنبات بذور الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd).

تعتبر الكينوا محصولا استراتيجيا في الجزائر. ومع ذلك، فإن إنبات هذا المحصول محدود بسبب نقص المياه. تعد مرحلة إنبات من أكثر المراحل حساسية لتأثيرات هذه الضغوط.

يتعامل المقدم هنا مع تأثيرات عجز المياه تم انشاؤه بشكل مصطنع باستخدام PEG6000 ، والذي يتم التعبير عنه من خلال تقليل الإمكانيات المائية للوسط في المراحل الرئيسية للإنبات. تم اعتماد خمسة مستويات من الجهد التناضحي الناجم عن محاليل مع عنصر التحكم في وسط إنبات البذور، والتي هي أربعة أنماط وراثية من أصل محلي ومستورد.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن انخفاض الجهد التناضحي يقلل بشكل كبير من إنبات البذور ، ومتوسط المحتوى المائي والنمو في طول الجذر.

كلمات مفتاحية: الإجهاد المائي، الانتاش، كينوا.

Résumé

Cette recherche a pour objectif d'évaluer l'effet du stress hydrique sur le processus de germination des graines de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.).

Le quinoa est considéré comme une culture stratégique en Algérie. Toutefois, la germination de cette culture est limitée par le manque d'eau. La phase de germination constitue l'une des étapes les plus sensibles aux effets engendrés par ces stress. Le travail présenté ici traite les impacts du déficit hydrique a été généré artificiellement en utilisant du PEG6000, exprimés par l'abaissement du potentiel hydrique du milieu sur les principales phases de la germination. Cinq niveaux de potentiel osmotique provoqués par des solutions de PEG 6000 avec un témoin, ont été adoptés dans les milieux de germination des graines ; celles-ci étant de quatre géotypes d'origine locale et introduit.

Les résultats obtenus démontrent que l'abaissement du potentiel osmotique réduit significativement la germination des graines, la teneur moyenne en eau et la croissance en longueur de la radicule.

Mots clés : déficit hydrique, la germination, Variétés de quinoa, PEG 6000

Abstract

The objective of this research is to evaluate the effect of water stress on the germination process of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds.

Quinoa is considered as a strategic crop in Algeria. However, the germination of this crop is limited by the lack of water. The germination phase is one of the most sensitive stages to the effects of these stresses. The work presented here deals with the impacts of water deficit was artificially generated using PEG6000, expressed by lowering the water potential of the medium on the main phases of germination. Five levels of osmotic potential induced by solutions of PEG 6000 with a control, were adopted in the germination media of the seeds; these being of four genotypes of local origin and introduced.

The results obtained show that the lowering of the osmotic potential significantly reduces the germination of the seeds, the average water content and the growth in length of the radicle.

Key words: water deficit, germination, quinoa varieties, PEG 6000

Liste des figures

Figure 01: Cultures de quinoa sur l'Altiplano bolivien.....	8
Figure 02 : Répartitions mondiale de la production de Quinoa (FAO 2015)	11
Figure 03 : la morphologie interne graine du quinoa	19
Figure 04 : Morphologie externe et formes des graines du Quinoa.....	19
Figure 05 : Amylose	22
Figure 06 : préparation des graines et mise à la germination.....	23
Figure 07: préparation des solutions PEG à des concentrations différentes.....	34
Figure 08: mesure la longueur de la racine du quinoa par le pied à coulisse (photo original).....	36
Figure 09: la mise des graines traitées à la fixation, et puis la coloration	36
Figure 10: Courbe d'étalonnage d' Amidon.....	37
Figure 11: Courbe d'étalonnage de sucres simples.....	38
Figure 12 : Effet de la concentration du PEG sur le taux de germination des graines des génotypes DUBAI TITICACA (A), ICBA Q5 ORECOCE (B), Q26 (C) et Q noir (D).....	39

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Classification scientifique du quinoa	7
Tableau 02 : Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (g/100g de poids sec)	10
Tableau 03 : Liste des géotypes utilisés et leurs origines.....	26
Tableau 04 : Préparation des solutions pour analyse de la teneur en amidon	29
Tableau 05 : Effet de la nature du géotype et le potentiel hydrique du milieu sur le taux de germination des graines	31
Tableau 06 : Evolution des taux de germination des graines sous les différents traitements avec addition du PEG par rapport au témoin (0%PEG), pour la moyenne génotypique et au niveau de chaque géotype	32
Tableau 07 : résultats moyens de la longueur de la radicule des graines en germination des quatre géotypes de Quinoa.....	28
Tableau 08 : Effet de la nature du géotype et le potentiel hydrique du milieu de germination sur la teneur en sucre simples des graines en germination	28
Tableau 09 : Résultats moyens de la teneur en sucres simples des graines en germination sous les différents traitements hydriques.....	33
Tableau10 : Effet de la nature du géotype et le potentiel hydrique du milieu de germination sur l'indice de transformation de l'amidon en sucres simples	35
Tableau 11 : indice de transformation d'amidon en sucres simples au niveau des graines après la mise en germination	35
Tableau 12 : Résultats moyens de la longueur et le diamètre des cellules du parenchyme cortical des racines	36

Liste des abréviations

FAO :	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
PEG :	Polyéthylène glycol
KOH :	L'hydroxyde de potassium
HCL :	L'acide chlorhydrique
H2SO4 :	Acide sulfurique
I2 :	Iode
KI :	Iodure de potassium
DO :	Densité optique
1N :	Solution 1 normal
gMS :	Grande moyenne surface
ns :	Non significative
tr :	Tour

SOMMAIRE

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	

PARTIE 01 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. Généralités sur le quinoa

I. 1. Origine du quinoa.....	3
I. 2. Classification du quinoa	3
I. 2. 1. Classification morphologique	4
I. 2. 2. Description taxonomique de la plante	4
I. 2. 3. Caractères végétatifs	5
I.3. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques	6
I. 3. 1. Importance de la résistance aux facteurs négatifs	6
1. 4. Valeur nutritionnelle des graines.....	7
1 .5. Importance et distribution du Quinoa.....	8
5 .1 Dans le monde	8
I. 5. Le quinoa en Algérie	9
6. Utilisation de Quinoa	9

Chapitre 2. Notion d'un stress

1. Définition d'un stress.....	11
2. Le stress abiotiques.....	1
2.1. Le stress salin	2
2.2. Le stress thermique	12
2. 3. Le stress ionique	13
2.4. Le stress hydrique.....	13
2.4.1. Effet du stress hydrique sur les plantes.....	13
2.4.2. Effet du stress hydrique sur la germination.....	14
2.4. 3. Mécanismes de résistance contre le déficit hydrique	15

Chapitre 3. La germination des graines

11 .la graine.....	17
1.2. Définitions.....	18
1.3. Conditions de germination	18

1.3. 1. Facteurs externes de germination	18
1.4 . Physiologie de la germination	19
1.5. Aspect biochimique de la germination	19
2. 1. Structure de l'amidon.....	20
2. 2. La dégradation de l'amidon.....	20
2. 3. Mobilisation des réserves.....	21

PARTIE 02

Matériel et méthodes

Le matériel végétal utilise.....	22
Conduit des essais	22
La mise en germination des graines	22
Préparation les solutions de PEG	23
Les paramètres étudiés.....	24
Le taux de germination des graines.....	24
La longueur des racines	24
3.3. Dimensions des cellules du parenchyme cortical des racines formées.....	24
3.3.1. Préparation des échantillons et observation	24
3.4. Dosage d'amidon des graines	25
3.5. Dosage des sucres simples	26
Résultats et interprétations	28
1. Le taux de germination.....	28
2. La longueur de la racicule.....	31
3. La teneur en sucres solubles des graines en germination.....	32
4. Relation entre la teneur en amidon et sucres solubles	34
5. Relation entre la longueur de la racicule et les dimensions des cellules du parenchyme.....	36
Discussion générale	37
Conclusion	40
Références bibliographiques	



Introduction générale

INTRDUCTION

Domestiqué il y a 7000 ans environ dans les Andes, où il est devenu un aliment de base des populations locales, le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est un l'une des espèces cultivées, longtemps négligée par la recherche agronomique et que ses hautes qualités nutritionnelles l'ont récemment fait répandue au-delà de sa région d'origine (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989 ;BRACK EGG, 2003). Depuis une quinzaine d'années, en Amérique du Nord, au Japon et en Europe, les filières d'alimentation diététique et "bio" font la promotion de sa haute teneur en protéines, sa composition équilibrée en acides aminés, son contenu élevé en minéraux, lipides, antioxydants et vitamines, et par l'absence de gluten (CHAUHAN et al., 1992 ;REPOCARRASCOet al., 1999 ;NG et al., 2007). Le quinoa n'est pourtant pas considéré comme une céréale en tant que telle puisqu'elle appartient à la famille des Chénopodiacées et non à celle des Poacées. On la qualifie donc parfois de " pseudo céréale".

En raison de son importance pour la sécurité alimentaire, les Nations Unies ont déclaré et a célébré l'année 2013 comme « l'Année internationale du quinoa (IYQ 2013) ». Selon ses particularités nutritionnelles, la culture et l'expérimentation du quinoa progressent à travers le monde (BAZILE et al., 2016 ; PETERSON et MURPHY, 2015).

La culture initiale du quinoa dans des régions à climats difficiles à travers le monde, fait que cette espèce détient de grandes capacités de s'adapter à la sécheresse, aux basses températures, aux sols pauvres et même salés (AMJAD et al., 2015 ; AZIZ et al., 2018 ; FGHIRE et al., 2013 ; IQBAL et al., 2018 ; RAZZAGHIet al., 2011 ; SUN et al., 2014; HARIADI et al., 2010 ; SHABALA et al., 2012 ; WAQAS et al., 2017; BAZILE et al., 2016).

Les stress abiotiques auxquels les plantes sont confrontées affectent les cultures en occasionnant des pertes considérables dans l'élaboration du rendement en quantité et qualité (ARAUS et al., 2002; HOPKINS, 2003; BELKHODJA et BIDAI,2004). Les contraintes générées par ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent la croissance et la productivité des végétaux (WANG *et al.*, 2001; ARAUS et al., 2002). Toutefois, l'importante de ces effets dépend de l'intensité du stress et l'époque de sa déclaration durant le cycle de développement de la plante.

La phase de germination des graines et l'installation de la culture représente l'une des phases les plus vulnérables à l'action du déficit hydrique. Ses effets se traduisent par de nombreuses contraintes au niveau des graines limitant ainsi leur germination et le départ végétatif. L'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination traduit une réduction

Introduction générale

prononcée de la prise d'eau par les graines en germination. Cette fonction physiologique caractérisée sur le plan morphologique par la percée des téguments par la radicule n'est en fait qu'un processus de croissance des cellules méristématiques radiculaires, où la turgescence constitue l'élément moteur de son déclenchement (SCHIEFELBEIN et *al.*, 1997). Sur le plan physiologique, le déficit hydrique perturbe grandement la synthèse des protéines et limite par conséquent la remobilisation des réserves glucidiques, substances énergétiques emmagasinées sous forme d'amidon au niveau des graines en vie latente.

Le présent travail s'inscrit dans un contexte d'une étude des effets du potentiel hydrique du milieu sur la germination des graines. Il consiste à évaluer le déroulement de la germination chez quatre génotypes de quinoa d'origines différentes soumis à différents potentiels hydriques du milieu. Les variations du potentiel ont été provoquées par l'application de concentrations croissantes de PEG6000. Différents paramètres liés à la germination ont été étudiés. Ils concernent, le taux de germination, la croissance radiculaire, la croissance des cellules méristématiques de la radicule et la remobilisation des réserves amylacées.

Le travail est présenté selon trois parties. Une première intègre une synthèse des travaux liés à cette problématique. Dans une deuxième partie sont exposées les méthodes expérimentales adoptées. Enfin, dans une dernière partie sont présentés les résultats ainsi que leur discussion.

PARTIE 01

Synthés de Bibliographique

 *Chapitre – I –*

Généralités sur le quinoa

I. Généralités sur le quinoa

I. 1. Origine du quinoa

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.

I. 2. Classification du quinoa

Le quinoa est une pseudo-céréale, de la famille des Chenopodiaceae (JYOTI et CHANU, 2018). Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) range le quinoa dans la famille des Amaranthaceae (GIUSTI, 1970 in HERBILLON, 2015).

Classification de Cronquist (1981)	
Régne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnomiopsidae
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	Chenopodium

Classification APG III (2009)	
Ordre	Caryophyllales
Famille	amaranthaceae
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	

Tableau 01. Classification scientifique du quinoa

1. 2. 1. CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE

Les premières classifications du quinoa prenaient en compte la couleur de la plante et des fruits, parfois même la forme du fruit ou le goût des grains. L'une des premières classifications était décrit quatre espèces de quinoa : *Chenopodium album*, caractérisé par des grains doux ; *Chenopodium pallidus* aux grains amers ; *Chenopodium ruber* aux grains rouges et *Chenopodium niger* aux grains noirs (TAPIA et al., 1979).

1. 2. 2. Description taxonomique de la plante

Le quinoa est une dicotylédone herbacée, autogame, annuelle, de la famille des Chénopodiacées. 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 rouges, 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).

Le 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. 01), sont des caractéristiques beaucoup plus variables et, par conséquent, sont moins fiables pour la classification de variétés (TAPIA et al., 1979).



Figure. 01 : Cultures de quinoa sur l'Altiplano bolivien

1. 2. 3. Caractères Végétatifs

Les racines : Le quinoa a un système racinaire pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux qui assure sa résistance à la sécheresse et sa bonne stabilité. (HERBILLON, 2015).

La tige : Cylindrique au niveau du collet et puis anguleuse à partir des ramifications (GANDARILLAS, 1979). A une taille comprise entre 0,5 et 1,5 m selon la variété et les conditions de croissance (DIDIER PERROUIN)

Les feuilles : Les feuilles d'une même plante sont nettement polymorphes, celles de la tige principale étant plus longues que celles des ramifications (DEL CASTILLO et al., 2008).

Les fruits : Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, (RISI et GALWEY, 1984 in HERBILLON, 2015). À savoir de l'extérieur vers l'intérieur : péricarpe, épisperme et péricarpe. Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille sont variables (GANDARILLAS, 1979).

Les fleurs : Le quinoa présente des fleurs hermaphrodites disposées en inflorescences en grappes, considérées comme de faux épis (panicules) (DEL CASTILLO et al., 2008).

Les graines : Principales parties comestibles de la plante, peuvent être de trois formes différentes: conique, cylindrique ou ellipsoïde (QUISPE et *al.*, 1976 in HERBILLON, 2015). Recouvertes de saponine (Une substance anti-nutritive amère qui éloigne naturellement les oiseaux, éliminée par lavage) (DEL CASTILLO et *al.*, 2008).

1.3. Physiologie d'adaptation du quinoa aux conditions écologiques

1.3.1. 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.

1. 3. 1. RESISTANCE A LA SECHERESSE

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).

1. 3. 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).

1. 1. 3. RESISTANCE 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 (MUJICA, IZQUIERDO et al. 2001).

1. 3. 4. RESISTANCE AU VENT, LA NEIGE ET LA GRELE

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).

4. VALEUR NUTRITIONNELLE DES GRAINES

Les quinoas sont riches en protéines, en acides aminés essentiels, en fibres alimentaires, en graisses, en minéraux, en vitamines et en antioxydants naturels (JYOTI et CHANU, 2018). Etant une excellente source de fer. Le quinoa représente donc un aliment intéressant particulièrement pour les personnes végétariennes. Un très grand avantage, pour les personnes atteintes du syndrome du côlon irritable ou de la maladie coeliaque, est que le quinoa ne contient pas du gluten.

	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
Fibres	3.8	2.8	6.4	2.3	5

Tableau 02. Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (g/100g de poids sec)

(KOZIOL M. 1992).

Enfin, des études récentes indiquent que le quinoa est une excellente source de vitamines, d'antioxydants et d'acides gras (DINI et al, 2004 ; NG et al., 2007). Il n'est donc pas surprenant que la FAO ait choisi le quinoa comme une des cultures destinées à garantir la sécurité alimentaire, particulièrement pour les habitants des Andes qui l'ont historiquement cultivée, et qu'aux USA, en Europe occidentale et au Japon, le quinoa soit commercialisé comme un aliment à haute valeur nutritive (GALWEY, 1993).

1.5. 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 (GONZALEZ et al. 2011).

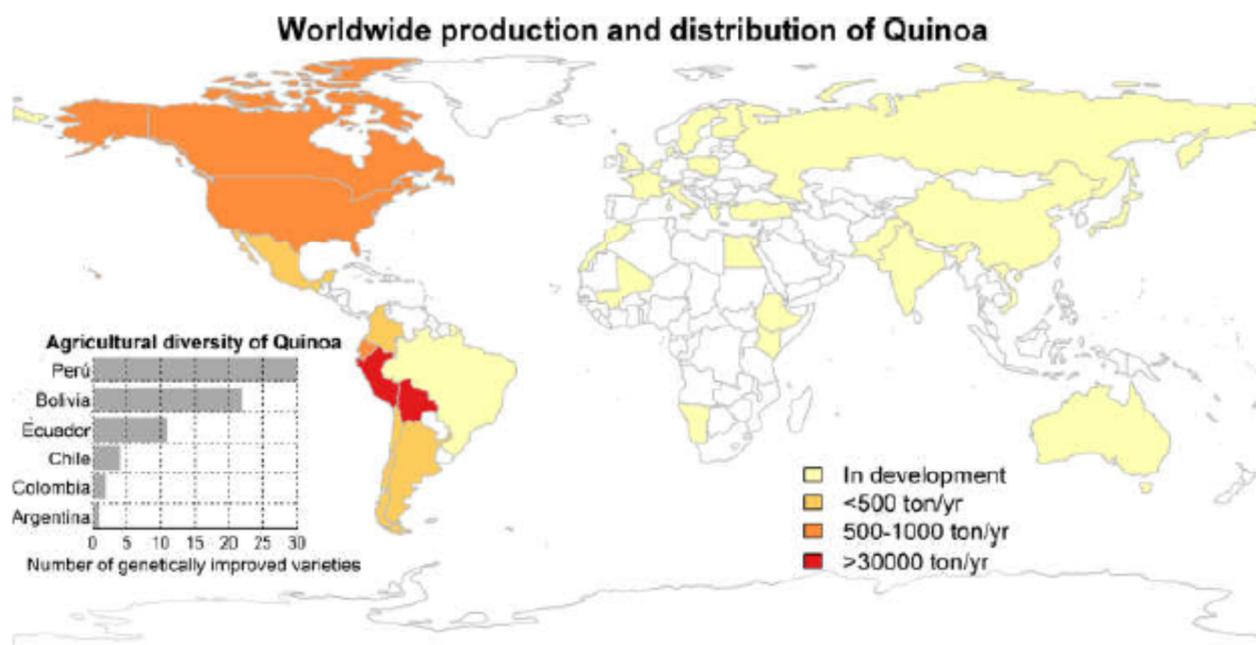


Fig. 02. Répartition mondiale de la production de quinoa (FAO 2011).

1. 6. 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. 02). La Bolivie est le principal 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).

En 2015 la production mondiale de quinoa approchait de 229 millions de tonnes, soit 7,3 kg par seconde (compteur) avec le Pérou, la Bolivie et l'Équateur comme premiers producteurs et les États-Unis, le Canada et la France comme premiers importateurs.

1.7. Le quinoa 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.

1.8. Utilisations de quinoa

Les principales utilisations connues du quinoa touchent l'humaine et l'animal.

1. 8.1 Alimentation humaine

Céréale complète, farine brute ou grillée, flocons, semoule et poudre instantanée peuvent être préparés de nombreuses manières à l'aide d'un vaste éventail de recettes traditionnelles et modernes.

1.8.2. Alimentation animal

La plante entière sert de fourrage vert. Les résidus de récolte servent également dans l'alimentation des bovins, ovins, porcs, chevaux et volailles.

1. 8.3.. 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 urinaires. Elles servent également dans les cas de fractures, d'hémorragies internes et comme insectifuge (MUJICA et *al.*,2001). Les graines de quinoa sont aujourd'hui considérées comme une très bonne source de Composés phénoliques (Les composés phénoliques, également appelés polyphénols, sont des métabolites secondaires bioactifs largement présents dans les aliments d'origine végétale couramment consommés) Les trois principaux types de polyphénols sont les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins (HERBILLON, 2015).

1.8.4. Autres utilisation industrielles

Le quinoa est associée toute une gamme de sous-produits destinés à l'alimentation, au cosmétique, aux applications pharmaceutique et à d'autres utilisations (AGGON, 2017).

Notion de stress

La sécheresse, le froid et la salinité des sols représentent un obstacle pour les espèces cultivées. Ces stress abiotiques entraînent une diminution de 70% du rendement des plantes de grandes cultures (OULD DJEH et al., 2006) via des altérations morphologiques et physiologiques. De ce fait, la compréhension des mécanismes de tolérance à ces stress constitue un enjeu économique majeur (NAVARRO, 2009).

 *Chapitre – II –*

Notion d'un stress

1. Définition d'un stress

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (LEVITT, 1980 ; ZHU, 2002 ; VINCENT, 2006).

Le stress correspond à toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (DUBOIS, 1991).

2. Les stress abiotiques

Selon MAROUF et REYNAUD (2007) le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans un organisme par des agents biotiques (parasites, pathogènes) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution, etc.).

Les plantes en général exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiels hydriques, température et salinité, en engendrant différents types de stress (HOPKINS, 2003).

Le physiologiste canadien HANS SELYE, qui a inventé le terme les années 1930, a cru que les capacités de l'organisme à s'adapter sont liées à la concentration et l'effort entrepris à mobiliser les systèmes de défense de cet organisme (CHERNYAD'EV, 2005).

Les stress abiotiques induisent des changements physiologiques (LANGRIDGE *et al.* 2006) et des changements dans les processus cellulaires et moléculaires (CHINNUSAMY *et al.* 2006 ; TALAME *et al.* 2007). Ils engendrent généralement une perturbation du potentiel hydrique chez les plantes (ATIENZA *et al.* 2004 ; VERSLUES *et al.* 2006), compensée par une fermeture des stomates, suite à une perte de turgescence dans les cellules de garde, ou une diminution de la pression osmotique cellulaire (LANGRIDGE *et al.* 2006).

Les stress abiotiques sont causés généralement par la sécheresse (GIRAUD *et al.*, 2008), la salinité (LUHUA *et al.*, 2008), les hautes et les basses températures, la lumière (GIAUD *et al.*, 2008), l'excès ou le déficit en aliments et les métaux lourds (KLEIN *et al.*, 2008).

2. 1. LE STRESS SALIN

La salinité peut être définie comme étant un processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi le caractère salin (GREGORY, 2005).

Un sol salé est caractérisé par un sur plus de sels est en particulier l'ion Na^+ dans le profil (SCHWARTZ, 2007).

Le stress salin se définit aussi comme la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol, se traduisant par des dégâts sur la plante allant d'une baisse légère de rendement à une détérioration totale de la plante. Généralement, un taux élevé de Na^+ et Cl^- cause le stress salin.

Le stress salin a un triple effet ; il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique.

Le stress salin s'applique plutôt à un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- . Les stress altèrent le métabolisme végétal menant aux effets négatifs sur la croissance, le développement et la productivité des plantes (LESS et GALILI, 2008).

Selon LEVITT (1980), le stress perçu par une plante, autrement dit le niveau de tension interne, dépend de la résistance de l'organisme à un type de stress appliqué avec une certaine intensité. En plus du type de stress et de son intensité, il faut également considérer la durée d'exposition. En effet, si l'intensité du stress est trop faible pour provoquer des dommages irréversibles à court terme, à long terme, ce stress peut provoquer des changements plastiques, voire la mort de l'organisme.

2. 2. Le stress thermique

Dans lequel on distingue les basses températures, gélives ou non gélives, et les hautes températures. En réalité les contraintes environnementales subies par la plante associent le plus souvent, plusieurs types de stress (LU et *al.*, 2003) : la salinité par exemple, comprend des stress ionique (toxicité des ions Na^+ et Cl^-) et osmotique ; la sécheresse quant à elle, recouvre souvent à la fois des stress thermiques et hydriques (ces derniers induisant des stress ioniques) (BELHASSEN et *al.*, 1995).

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).

2. 3. Le stress ionique

Lié à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B... peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes. Un excès de minéraux AL, Na, Cl... peut avoir des effets toxiques

(MONNEVEUX et THIS, 1997). La présence de sels dans les sols est l'un des problèmes majeurs affectant les contraintes. La salinité couvrant de larges superficies est amplifiée par le manque d'eau (ABBAD et *al.*, 2004).

2. 4. Le stress hydrique

Les pertes agricoles causées par les stress hydriques font partie des enjeux majeurs de l'amélioration au niveau mondial (GRAVOT, 2009). La sécheresse est un facteur naturel susceptible de compromettre le rendement de la production agricole (REDOUANE, 2008). Ce facteur affecte fortement les zones arides et semi-arides caractérisées par des pluies rares et irrégulières et par les températures souvent élevées provoquant l'évaporation de l'eau (ABROL et INGRAM, 1997), et en conséquence la salinisation des sols (CHEVERY et ROBERT, 1993). Le climat méditerranéen est caractérisé par des périodes de sécheresse erratiques imprévisibles, ce qui limite considérablement les productions végétales et celle des céréales en particulier (ADDA et *al.*, 2005).

Les effets du stress hydrique dépendent du degré et de la durée de stress, du stade de développement du végétal, et de la capacité génotypique de l'espèce et des interactions environnementales (WELSCH et *al.*, 2008).

Un stress hydrique, peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le lien entre la disponibilité et les besoins (BENZALA, 2005). Il induit, chez les plantes stressées, une diminution du contenu relatif en eau et une réduction significative de la production de biomasse totale (KRAMER, 1980 ; ALBOUCHI et *al.*, 2007), concomitante à une réduction de la croissance en diamètre et en hauteur des tiges (VANHES, 1997 ; AUSSENAC et *al.*, 1984 ; THOMAS et GAUSLING, 2000). De même, le manque d'eau affecte la distribution de la biomasse chez les plantes stressées (LEDIG, 1981).

Le manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse représente le stress abiotique le plus sévère (CHENNAFI et *al.*, 2006).

2. 4. 1. Effet du stress hydrique sur les plantes

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (WANG et *al.*, 2003). Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalière dans les zones arides et semi-arides (El MOURID et *al.*, 1996) qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations (BOUTIFIRASS et *al.*, 1994).

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (YOKOTA *et al.*, 2006).

Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales.

La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminue les rendements (TANNER et SINCLAIR., 1983).

Le déficit hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire prend aussi sa place. La répercussion se traduit par ralentissement de la croissance du système racinaire (BENLARIBI *et al.*, 1990).

Le déficit hydrique peut affecter la durée des stades de croissance, en effet la durée du cycle de semis à l'anthèse se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit hydrique, particulièrement le stade de la floraison qui se manifeste par sa diminution (GARCIA DEL MORAL *et al.*, 2003 ; MAGRIN, 1990).

2. 4. 2. Effet du stress hydrique sur la germination

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture, et en cas de persistance de sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de levée (FELIACHI *et al.*, 2001). La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (INGRAM *et al.*, 1996), à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldéhyde-3-déshydrogénase cytosolique est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (VELASCO *et al.*, 1994).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoique l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique.

Ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires (BRAY et *al.*, 1989).

2. 4. 3. Mécanismes de résistance contre le déficit hydrique

Du point de vue agronomique, l'adaptation à la sécheresse est la capacité d'une plante à maintenir un rendement à travers des environnements où les périodes de sécheresse, leurs durées et leurs intensités sont fluctuantes.

De ce fait, une réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité s'impose (HASSANI et *al.*, 2008). Plusieurs études ont montré que, lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (ZERRAD et *al.*, 2008 ; EL FAKHRI et *al.*, 2010 ; HAYAK et *al.*, 2000).

TURNER (1986) a classé les mécanismes d'adaptation à la sécheresse :

- L'esquive permet à certains génotypes d'échapper au stress en accomplissant leur cycle de développement en dehors des périodes de sécheresse. Ce phénomène est largement expliqué par la phénologie.

Mais la sécheresse est imprévisible et les plantes sont forcément confrontées au stress une année ou l'autre.

- Certains caractères d'adaptation, inductibles, permettent une tolérance avec maintien du potentiel hydrique foliaire ou évitement (système racinaire développé, réduction de la surface foliaire, présence de cires à la surface des feuilles, enroulement foliaire).

Lorsque le potentiel hydrique foliaire est réduit, certaines plantes sont capables de maintenir leur turgescence cellulaire par ajustement osmotique (AO) (TURNER et JONES, 1980).

L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte hydrique (MUNNS et *al.*, 2006). L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs (maintien de la turgescence et de la croissance) (BOYER, 1985), retardement de l'enroulement et de la sénescence foliaire, régulation stomatique (HSIAO et *al.*, 1984), relations avec le comportement agronomique (relation entre capacité d'ajustement osmotique et rendement en grains sous stress hydrique) (MORGAN et *al.*, 1986).

En effet, pour maintenir la balance de la force osmotique, après la chute du potentiel hydrique causée par le stress hydrique (El MOURID, 1988 ; CASALS, 1996), les plantes accumulent un certain nombre d'osmotocums tel que la proline, les carbohydrates et la betaine (WANG et *al.*, 2003) qui en association avec d'autres facteurs tels que la réduction de la transpiration par la fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire (BOUZOUBAA et *al.*, 2001), permettent de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible (MONNEVEUX et NEMMAR, 1986 ; BOUZOUBAA et *al.*, 2001 ; WANG et *al.*, 2003). Cette chute du potentiel hydrique stimule non seulement le phénomène d'osmorégulation mais également l'inhibition (ZERRAD et *al.*, 2008), ou la synthèse de nouvelles protéines dont les protéines LEA qui assurent une protection de l'ensemble vitale des protéines cellulaires (DAVID et GRONGNET, 2001), et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (BAKER et *al.*, 1988). Enfin, s'il y a perte de turgescence, il peut y avoir une tolérance à la déshydratation des tissus (TURNER, 1986).



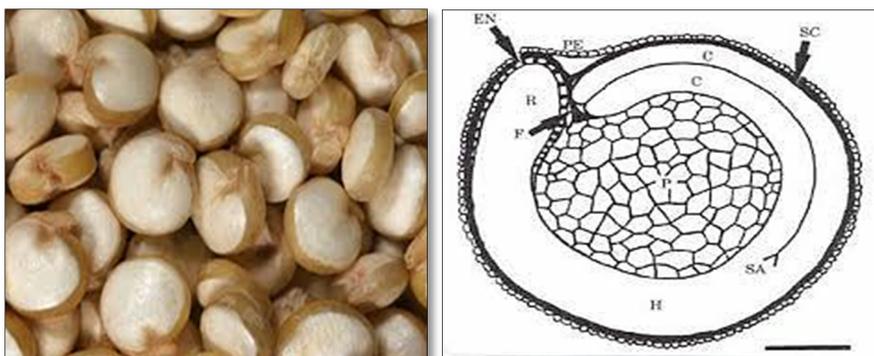
Chapitre – III –

Notion d'un stress

LA germination des graines

1. 1. La graine

La graine c'est un organe qui s'abouche se développe à partir d'un ovule féconde et consécutivement à cette fécondation ces transformation qui suivent la fécondation comportant toujours là mais en réserve de matériaux fournis par la plante-mère et différenciation d'un tégument, pendant tout la durée de ces phénomènes il s'existe une continuité histologique et physiologique entre la plante-mère et son produit.



Le péricarpe (PE) entoure la graine. L'embryon consiste en un axe hypocotylaire-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 = 500 μ m

Figure 03: la morphologie interne graine du quinoa

La graine du quinoa de taille proche à celle de millet (1,75 à 2 mm) sont produits sur panicules et son de forme aplatie sur deux cotés autour, leur couleur varie en fonction de teneur saponine péricarpe (2 à 6 %). L'embryon occupe 60% du volume de l'endocarpe ce qui donne à la graine une richesse en protéines supérieure à celle de toutes les céréales (IVA HASSAN, 2005).

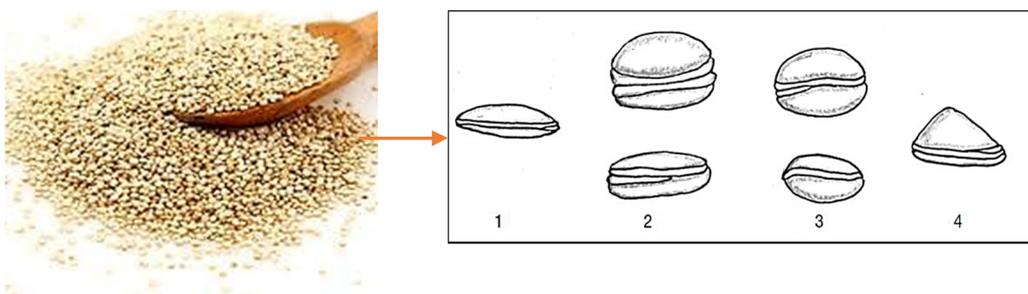


Figure 04: Morphologie externe et formes des graines du *Quinoa*

1. 2. Définitions

La germination est définie comme la somme des événements qui conduisent la graine sèche à germer. Elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (HOPKINS, 2003).

La germination est une phase physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase de développement de la plantule. Le processus de germination commence dès que la graine sèche est hydratée. La cinétique de prise d'eau permet de caractériser la germination en trois phases (BEWELEY, 1997).

La germination recouvre la séquence des événements allant de la graine au repos jusqu'à l'obtention d'une plantule autotrophe (viable). Les réserves qui jusque-là assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon vont être activement métabolisées pour assurer la croissance de la plantule (LAURENT *et al.*, 1991 ; MAZOYER, 2002).

La germination ne se produit que si des conditions externes et internes sont réunies. Les conditions externes, qualifiées de facteurs externes de germination, englobent la présence de l'eau d'une quantité et qualité suffisante, une température optimale et une disponibilité d'oxygène. Les facteurs internes exigent une maturité physiologique des graines et leur viabilité (HELLER *et al.*, 1998).

Selon LABBE (2004), la germination se traduit par une activation des activités enzymatiques dans toutes les parties de la graine (embryon et tissus de réserve), conduisant à la croissance de l'embryon et à la constitution d'un germe.

1. 3. Conditions de germination

L'induction de la germination n'est possible que si certaines conditions sont respectées.

1. 4. 1. facteurs externes de germination

La germination ne peut avoir lieu que si l'eau, la température et l'oxygène sont assurées.

Eau : Est évidemment indispensable et doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante (HELLER *et al.*, 2004). L'eau dissout l'oxygène et lui permet d'atteindre l'embryon (CHAUX et FOURY, 1994). L'absorption de l'eau par la semence s'effectue par osmose, au travers du tégument qui, lui-même, plus au moins cellulosique, en retient des quantités importantes (DIEHL, 1975).

Oxygène : seul l'oxygène dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ces besoins métaboliques. Ce gaz étant très peu soluble dans l'eau. La germination engage de nombreuses oxydations; les semences germent dans l'eau courante seulement (DIEHL, 1975).

Température : Il existe pour chaque plante et chaque phase de végétation des températures minima, optima et maxima (DIEHL, 1975). Quand la température s'élève, la vitesse de germination croît (GATE et GIBAN, 2003).

1. 5. Physiologie de la germination

La germination des graines comprend trois principales phases :

Phase1, ou phase d'imbibition, correspond à une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire (HELLER et *al.*, 2004). Elle implique un mouvement d'eau dans le sens de potentiel hydrique décroissant (HOPKINS, 2003). La graine de blé absorbe 50% de son poids de départ. L'imbibition est rapide et réversible (CHAUSSAT, 1999).

Phase2, encore appelée phase de germination *sensu stricto*, est caractérisé par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé (HOPKINS, 2003).

Durant cette phase, la graine peut être réversiblement hydratée et réhydratée sans dommage apparemment pour sa viabilité (HELLER et *al.*, 2004). Elle est caractérisée par une diminution de l'entrée d'eau ; l'hydratation des tissus et des enzymes est totale. La consommation en oxygène est stable. Durant cette phase, il y a reprise de la respiration et des activités métaboliques. La présence d'eau et d'oxygène permet l'activation des processus respiratoires et mitotiques. L'eau rend mobiles et actives les phytohormones hydrosolubles en stock dans la graine. C'est le cas des gibbérellines qui sont véhiculées vers la couche à aleurones où elles vont activer la synthèse d'hydrolases (telles que les α -amylases, les nucléases ou les protéinases) nécessaires à la dégradation des réserves, à la division et l'élongation cellulaire.

- Les α -amylases hydrolysent l'amidon stocké dans l'albumen et libèrent des molécules de glucose, substrat du métabolisme respiratoire.
- Les nucléases permettent la libération d'acides nucléiques impliqués dans la formation des cytokinines, hormones qui stimulent la division cellulaire.
- Les protéinases lysent les réserves protéiques qui favorisent la formation de phytohormones telles que l'auxine responsable de l'élongation des cellules.

La phase de germination au sens strict se termine avec la percée du tégument par la racicule, rendue possible grâce à l'allongement des cellules.

Phase3, caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une élévation de la consommation d'oxygène puis très rapidement, on assiste à une reprise des divisions et grandissement cellulaire (HOPKINS, 2003).

A ce stade, la déshydratation des tissus cause la mort de la semence, la germination est terminée lorsque la radicule émerge les téguments de la graine.

1. 6. Aspect biochimique de la germination

Selon LAFON et al (1996), l'amidon est la principale forme de réserve des glucides contenus dans les amyloplastes, ou temporairement dans les chloroplastes. On le met facilement en évidence avec de l'eau iodée avec laquelle il donne une coloration bleue. L'amidon est un glucide complexe (polyoside) de réserve pour les végétaux supérieurs. Il constitue une réserve d'énergie et de nutriment nécessaire pour survivre à la mauvaise saison. Il permet de stocker des nutriments glucidiques dans les cellules sans se dissoudre dans l'eau (BAYUELO-JIMENEZ et al, 2002). Sa formule brute est $(C_6H_{10}O_5)$ (VALLADE, 2002).

2. 1. Structure de l'amidon

D'après LAFON et al (1996), l'amidon est un glucane ; il est formé de très nombreux maillons glucose ; en fait, il est constitué d'un mélange de molécules d'amylose et d'amylopectine, en proportions variables selon le tissu considéré. **L'amylose** : est une chaîne linéaire de n maillons glucose (D-Glucopyranose) liés entre eux par des liaisons α (1- 4), n varie de 300 à 1000 selon les espèces, de masse molaire voisine de 300 000

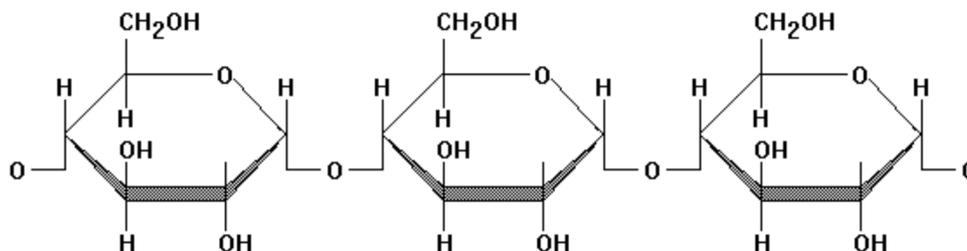


Figure 05: Amylose

2. 2. La dégradation de l'amidon

La dégradation de l'amidon en glucose nécessite l'intervention de plusieurs hydrolases qui sont synthétisées en abondance dans la couche à aleurone et qui migrent vers l'albumen.

L'amylase est une enzyme digestive qui brise les polysaccharides. L'amylase joue un rôle important dans la dégradation de l'amidon avec une grande spécificité.

L' α - amylase : est une α -1,4 glucanase qui brise les liens α (1-4) glycosidiques à l'intérieur des chaînes de l'amylose et de l'amylopectine pour ultimement donner des molécules de maltose (disaccharides de α -glucose) (HELLER et al, 2000 ; WANG et al, 2008).

La β - amylase : est une α -1,4- D-glucane maltohydrolase, elle attaque les amyloses à chaînes linéaires à partir de l'extrémité non réductrice en libérant du maltose. L'amylopectine, par contre, n'est pas dégradée qu'au niveau des chaînes externes (SCRIBAN, 1999).

La dextrine : son rôle est de cliver les liaisons α (1-6). Elle dégrade l'amidon en maltose (HOPKINS, 2003).

L' α - Glucosidase : l'étape finale de la dégradation de l'amidon est l'hydrolyse du maltose en deux molécules de glucose par l' α - glucosidase. Les oses obtenus sont alors directement utilisables par l'embryon (LEVY, 1998).

2. 3. Mobilisation des réserves

Lors de la germination, on assiste à la mobilisation des réserves accumulées dans les organes de stockage de la graine au cours de sa maturation. Leur dégradation apportera l'énergie nécessaire à la croissance de la plantule jusqu'à ce qu'elle devienne photo-autotrophe. Dans ce processus, sont impliquées des enzymes de dégradation des carbohydrates, des protéines et des lipides. Cependant, une étude récente a prouvé l'existence de deux programmes distincts mis en place lors de l'imbibition. L'un, conduisant à la germination, est contrôlé par l'ABA tandis que l'autre impliquant la mobilisation des réserves n'est pas régulé par l'ABA. En effet, la présence d'ABA pendant l'imbibition n'inhibe pas complètement la dégradation des réserves des graines, même chez les graines incapables de germer (PRITCHARD et *al.*, 2002) D'autres études apportent des précisions sur la régulation de la mobilisation des réserves : le contrôle s'effectuerait différemment dans l'embryon et dans l'albumen. L'ABA inhiberait effectivement le catabolisme lipidique dans l'embryon, par contre, la mobilisation des réserves lipidiques accumulées dans l'albumen serait essentiellement indépendante de l'ABA. Cependant, les GAs sont requises à la fois dans l'albumen et dans l'embryon (PENFIELD et *al.*, 2004).

PARTIE 02

Partie expérimentale



Chapitre – I –

Matériel et méthodes

Les essais conduits s'intéressent à l'étude de la germination des graines de quinoa sous différentes situations hydriques. Les régimes hydriques retenus comportent cinq traitements, un témoin et quatre autres en conditions d'alimentation hydrique déficiente. Différents paramètres ont été évalués et qui se rapportent au taux de germination des graines, la longueur de la radicule, l'élongation cellulaire au niveau des racines et la remobilisation des réserves amylacées.

1. Le matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est constitué de quatre génotypes de quinoa (*Chenopodium quinoa*) d'origines différentes (Tableau 03). Il comporte deux populations locales issues de la région d'El Oued et deux autres génotypes introduits des Emirats Arabes Unis.

Tableau 03 : Liste des génotypes utilisés et leurs origines

Génotypes	Origines
Quinoa noir	Algérie (El Oued)
Quinoa Q26	Algérie (El Oued)
Dubaï Titicaca	Emirats Arabes Unis
ICBA Q5	Emirats Arabes Unis

2. Conduite des essais

Les essais ont été conduits au niveau du laboratoire d'Agrobiotechnologie et de Nutrition en Zones Semi-arides de la faculté des sciences de la nature et la vie de l'Université de Tiaret.

2.1. La mise en germination des graines

Les graines désinfectées à l'eau de Javel et abondamment rincées à l'eau distillée, sont mises en germination dans des boîtes de Pétri tapissées de deux couches de papier filtre. Les boîtes sont divisées en cinq lots. Un lot témoin où les boîtes ont été additionnées de 5ml d'eau distillée et quatre autres avec le même volume de solutions de PEG (PolyEthylène Glycol), avec des concentrations croissantes, 10%, 15%, 20% et 30%. Au niveau de chaque traitement, chaque génotype comprend trois répétitions. L'essai comporte alors un ensemble de 60 unités de germination. Les graines ont été mises en germination dans une étuve sous une température de 25°C.



Figure 05 : préparation de graines et mise à la germination

2.1.1. Préparation les solutions de PEG

Les différentes solutions de PEG ont été préparées avec du PEG 6000 solubilisé dans de l'eau distillée. Les concentrations retenues sont de l'ordre de 10%, 15%, 20% et 30% présentant des potentiels hydriques décroissants (ROMO et *al.*, 2001).



Figure 06: préparation des solutions PEG à des concentrations différentes

3. Les paramètres étudiés

3.1. Le taux de germination des graines

Les mesures ont été effectuées 5 jours après la mise en germination. La graine a été comptabilisée comme germée à la percée de la radicule hors des téguments radiculaires (coléorhize). Le taux de germination est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines mises en germination (OUKARA et *al.* 2017).

Taux de germination= (nombre des graines germées/nombre total des graines) x100

3.2. La longueur des racines

La longueur des racines développées exprimée en millimètres a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse (fig.05) cinq jours après la mise en germination des graines et ce au niveau des cinq traitements.



Figure 07: mesure la longueur de la racine du quinoa par le pied à coulisse (photo original).

3.3. Dimensions des cellules du parenchyme cortical des racines formées

3.3.1. Préparation des échantillons et observation

La zone pilifère des racines a été prélevée et immédiatement trempée dans un fixateur constitué d'Ethanol et d'acide acétique à des proportions respectives de 17:3. La durée de fixation est de 24h. Les échantillons ont été ensuite lavés à l'eau courante pendant une durée égale à celle de la fixation. Ils ont été ensuite déshydratés avec l'Ethanol à 70° et conservés à ce niveau. Des dispersions cellulaires ont été pratiquées sous un binoculaire et colorées avec du Carmin aluné. Les dispersions montées entre une lame et une lamelle ont été observées par un microscope de type LEICA muni d'un logiciel de mesure. Les mesures exprimées en micron ont porté sur la longueur et le diamètre des cellules du parenchyme cortical.



Figure 08 : la mise des graines traitées à la fixation, et puis la coloration

3.4. Dosage d'amidon des graines

Le dosage d'amidon a été effectué sur les graines avant la mise en germination. L'extraction d'amidon a été réalisée sur 50mg de poudre de graines à lesquels on a additionné 2.5ml de KOH 1N. La solution a été bien homogénéisée à la température ambiante et

neutralisée ensuite avec 2.5ml de HCl 1N et l'ensemble est mis en ébullition au bain-marie pendant durant 15min. L'ensemble est ensuite centrifugé à 3000 tr/min pendant 10min. le surnageant est récupéré dans des tubes à essai pour la préparation des solutions de dosage selon le procédé mentionné dans le tableau

Tableau 04: Préparation des solutions pour analyse de la teneur en amidon

Réactif/échantillon	Echantillon
Echantillon	50 μ l
H2O	4.85ml
Réactif I2/KI (ml)	100 μ l

Le mélange a té incubé pendant 10min à la température ambiante du laboratoire. La lecture des densités optiques (DO) des solutions a été faite à une longueur d'onde de 580nm. Les densités optiques sont transformées en concentrations selon la courbe d'étalonnage (Figure 07)

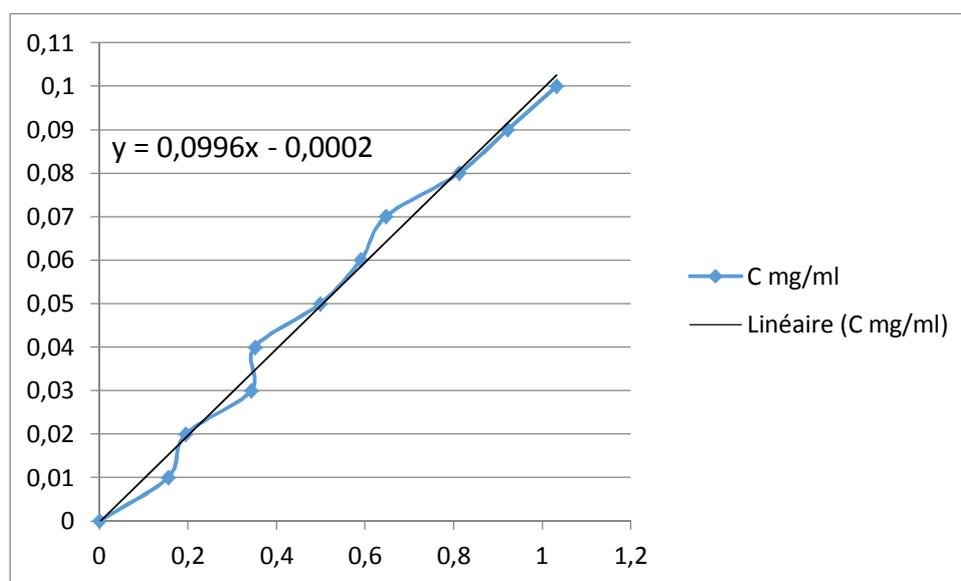


Figure 09 : Courbe d'étalonnage d'Amidon

3.5. Dosage des sucres simples

Les sucres simples (glucose, fructose et saccharose) sont extraits par un solvant capable de les solubiliser et de bloquer les activités enzymatiques susceptible de les dégrader, ils sont dosés par la méthode de Schields et Burnett (1960) in Labdelli (2011).Le principe de la réaction est basé sur la condensation des produits de dégradation des dérivés du furfural qui donnent une corrélation bleu vert avec l'anthrone.

Le matériel végétal prélevé (50 mg) des graines germées est laissé 24h dans 2ml d'éthanol à 80%. 1ml de la solution d'extraction (Réactif A) sont prélevés et additionnés de 2ml de solution d'antrone (Réactif B) obtenue par la solution de 2g d'antrone dans 1000ml de H₂SO₄. Le mélange extrait réactif est maintenu dans la glace fondante.

Après agitation, les tubes sont places au bain marie à 92°C pendant 8min, puis refroidis pendant 30 min a l'obscurité. L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585nm. La concentration des sucres est exprimés en mg/1000mg de matière sèche en se référant à la courbe d'étalonnage (Figure 09).

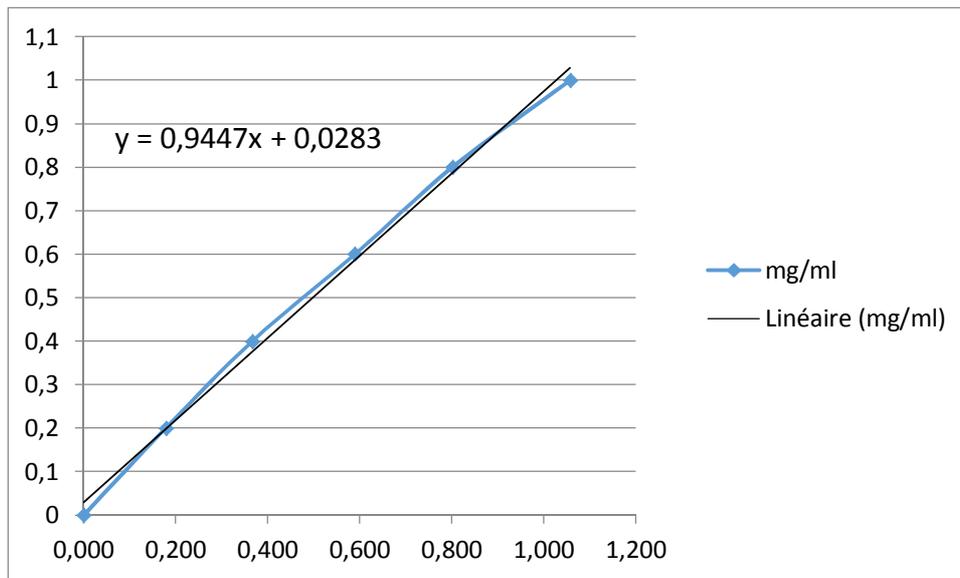


Figure 10 : Courbe d'étalonnage de sucres simples

Taux de germination :

Le taux de transformation d'amidon en sucres simples a été déterminé par le rapport :
Indice de transformation = teneur de sucre simple / teneur d'amidon



Chapitre – II –

Résultats et interprétation

Résultats et interprétation

Le taux de germination des graines

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 05) démontre que le taux de germination des graines est grandement influencé par les potentiels hydriques du milieu de germination adoptés. En effet, l'abaissement du potentiel hydrique par accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination provoque une diminution significative du taux de germination des graines ($r=-0.435^{**}$). L'effet d'interaction des génotypes et des traitements hydriques permet également des variations des taux de germination significatives. Ceci indique que les génotypes testés ont extériorisés des réponses divergentes à l'égard des variations des potentiels hydriques du milieu de germination.

Tableau 05: Effet de la nature du génotype et le potentiel hydrique du milieu sur le taux de germination des graines

Sources de variation	Test F	Probabilité
Génotype	2,503ns	0,072991
Potentiel hydrique	43,869***	0,000000
Génotype x potentiel hydrique	6,999***	0,000001

*** significatif au seuil de $P < 0.001$; ns non significatif

Les résultats moyens (Figure 12) indiquent que la germination est réduite graduellement avec l'accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination (Tableau 06). Ainsi, dans le milieu additionné de 10%PEG, la réduction du taux de germination moyen génotypique est de l'ordre 29.45%. On note que l'altération du taux de germination est plus importante dans les deux milieux de germination, 20%PEG et 30%PEG, où les décroissances des taux de germination respectifs ont avoisiné 40.41% et 69.18%. Pour ces évolutions, une exception a concerné la réduction du taux de germination des graines au niveau du milieu contenant 15%PEG, où elle s'annonce la plus faible par rapport aux autres traitements. En effet; à ce niveau le taux de réduction est de 21.92%.

Tableau 06 : Evolution des taux de germination des graines sous les différents traitements avec addition du PEG par rapport au témoin (0%PEG), pour la moyenne génotypique et au niveau de chaque génotype

	Moyenne génotypique	DUBAI TITICACA	ICBA Q5 PRECOCE	Q 26	Q noir
10%PEG	-29,45	-18,18	-46,67	-33,33	-7,69
15%PEG	-21,92	-51,52	-26,67	-14,29	+11,54
20%PEG	-40,41	-9,09	-53,33	-64,29	-19,23
30%PEG	-69,18	-36,36	-86,67	-78,57	-65,38

Cette même tendance d'évolution a été constaté l'ensemble mais à des degrés différents. Ainsi, au niveau du milieu de germination de 10%PEG, le taux de réduction le plus important a été relevé chez le génotype ICBA Q5 PRECOCE avec -46.67% et le plus faible a été enregistré chez le génotype Q noir avec -7.69%.

Au niveau du traitement conduit dans le milieu additionné de 15%PEG, les taux de réduction sont plus faibles et qui varient entre -51.52% et +11.54% enregistrés respectivement par les graines des génotypes DUBAI TITICACA et Q noir. Au niveau du milieu de 20%PEG, les taux de réduction vacillent entre -64.29 (Q 26) et -9.09% (DUBAI TITICACA).

Enfin, dans le milieu additionné de 30%PEG, les taux de réduction des taux de germination s'annoncent plus importants (Tableau 06) et ont atteint des valeurs oscillant entre -86.67% et -36.36%, enregistrés dans l'ordre par les génotypes ICBA Q5 PRECOCE et DUBAI TITICACA.

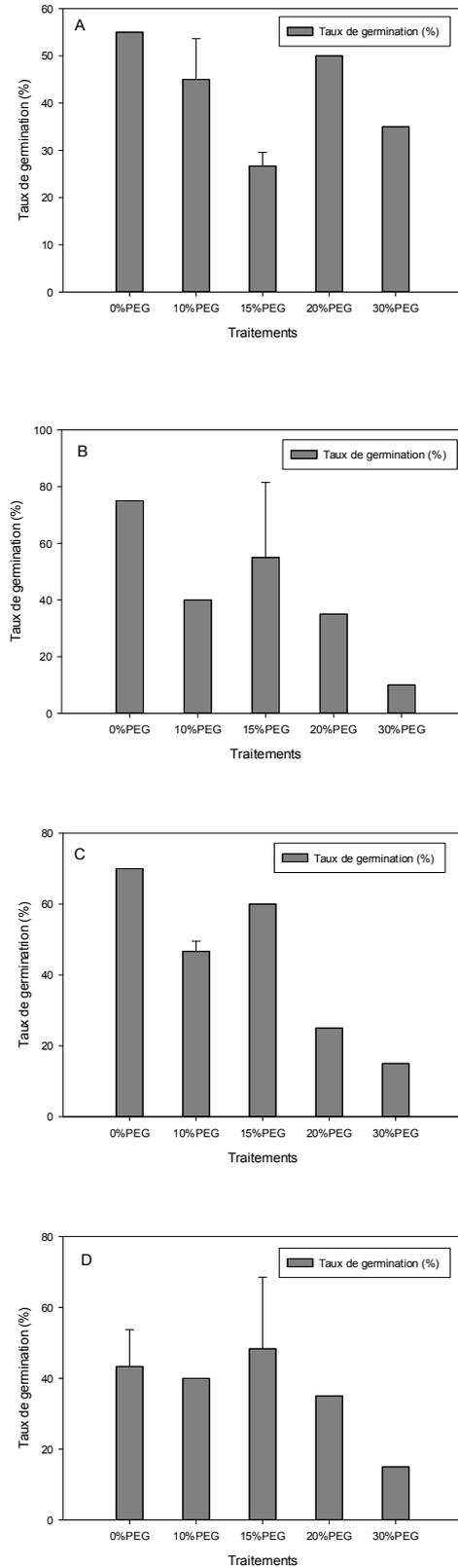


Figure12: Effet de la concentration du PEG sur le taux de germination des graines des géotypes DUBAI TITICACA (A), ICBA Q5 PRECOCE (B), Q 26 (C) et Q noir (D)

La longueur de la racicule

Les résultats moyens obtenus des mesures de la racicule (Tableau 07) démontrent que l'application du PEG dans le milieu de germination des graines a provoqué une réduction des grandeurs de cet organe. Ainsi, la longueur moyenne génotypique au niveau du témoin (0%PEG) est de l'ordre de 36.6mm, alors qu'elle est de l'ordre de 22.6mm, 18.65mm, 33.13mm et 4.61mm enregistrée respectivement dans les traitements 10%PEG, 15%PEG, 20%PEG et 30%PEG. Ces résultats illustrent que la réduction la plus importante a été inscrite dans le milieu de germination additionné de 30%PEG où sa valeur est de l'ordre de -87.4%.

Concernant les résultats distinctifs des génotypes, la même tendance a été constatée. En effet, les longueurs de la racicule ont été réduites grandement, particulièrement dans le traitement de 30%PEG. On relève ainsi sous ces conditions, des réductions estimées à 88.92%, 67.4%, 93.18% et 89.7% relevées respectivement chez les génotypes DUBAI TITICACA, ICBA Q5 PRECOCE, Q 26 et Q noir. Au niveau des autres traitements, les taux de réduction restent faibles et variables selon les génotypes concernés.

Tableau 07 : résultats moyens de la longueur de la racicule des graines en germination des quatre génotypes de Quinoa

Génotypes	Traitements	Longueur de la racicule
DUBAI TITICACA	0%PEG	30,70
	10%PEG	30,49
	15%PEG	14,17
	20%PEG	48,49
	30%PEG	3,40
ICBA Q5 PRECOCE	0%PEG	20,40
	10%PEG	32,09
	15%PEG	27,81
	20%PEG	33,81
	30%PEG	6,65
Q 26	0%PEG	40,90
	10%PEG	8,42
	15%PEG	17,98
	20%PEG	25,29
	30%PEG	2,79

Q noir	0%PEG	54,40
	10%PEG	19,41
	15%PEG	14,65
	20%PEG	24,95
	30%PEG	5,60

Teneur en sucres solubles des graines en germination

L'analyse des résultats (Tableau08) démontre que l'hydrolyse d'amidon et la libération des sucres simples au niveau des graines en germination sont grandement influencées par les traitements hydriques et la nature des génotypes. En effet, l'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination par accroissement de la concentration du PEG provoque une réduction de la teneur en sucres simples des graines. Ceci indique que les amylases responsables de cette transformation sont sensibles aux variations du potentiel hydrique du milieu de germination. L'influence du traitement hydrique sur la teneur en sucres est perçue de façons divergentes par les génotypes testés démontrant des réactions différentes des génotypes testés vis-à-vis des variations du potentiel hydrique du milieu de germination. Les résultats moyens indiquent que dans le traitement témoin les teneurs en sucres des graines varient entre des extrêmes de $26,6899\text{mg/gMS}\pm 2.3222$ et $17,5394\text{mg/gMS}\pm 2.7691$ enregistrés respectivement par les génotypes Q noir et Q26.

Au niveau du traitement conduit à 10%PEG, les résultats obtenus varient dans l'intervalle délimité par des valeurs extrêmes de $9,8238\text{mg/gMS}\pm 1.5994$ et $16.4003\text{mg/gMS}\pm 1.2083$ relevées dans l'ordre chez les génotypes ICBA Q5 PRECOCE et DUBAI TITICACA.

Au niveau des graines conduites à un potentiel de 15%PEG, les teneurs en sucres déterminées oscillent entre $12.5677\text{mg/gMS}\pm 0.8307$, extériorisée par le génotype DUBAI TITICACA et $14.6319\text{mg/gMS}\pm 0.7049$ (2.6873), relevée chez les génotypes Q noir et ICBA Q5 PRECOCE.

Dans le milieu de germination additionné de 20%PEG, les teneurs en sucres sont comprises par des valeurs extrêmes de $6.4128\text{mg/gMS}\pm 2.209$ (Q noir) et $23.0838\text{mg/gMS}\pm 0.0$ (ICBA Q5 PRECOCE).

Enfin dans le milieu de germination de 30%PEG, les teneurs en sucres des graines sont plus faibles par rapport aux autres traitements. Sous ces conditions, le génotype ICBA

Q5 PRECOCE se distingue par la plus haute valeur avec 12.4166mg/gMS. A l'opposé, le Q noir a inscrit la plus faible teneur avec une valeur de 6.9226mg/gMS±0.7552.

Tableau 08: Effet de la nature du génotype et le potentiel hydrique du milieu de germination sur la teneur en sucre simples des graines en germination

Sources de variation	Test F	Probabilité
Génotype	2,980*	0,042686
Potentiel hydrique	18,240***	0,000000
Génotype x potentiel hydrique	4,203***	0,000287

* significatif au seuil de $P < 0.05$; *** significatif au seuil de $P < 0.001$

Tableau 09 : Résultats moyens de la teneur en sucres simples des graines en germination sous les différents traitements hydriques

Génotypes	Traitement	Teneur en sucres	Erreur standard
Q noir	Témoin	26,6899	2,3222
Q 26		17,5394	2,7691
DUBAI TITICACA		20,0001	1,7630
ICBA Q5 PRECOCE		22,8447	1,1825
Q noir	10%PEG	10,0252	1,9006
Q 26		14,1662	0,6455
DUBAI TITICACA		16,4003	1,2083
ICBA Q5 PRECOCE		9,8238	1,5994
Q noir	15%PEG	14,6319	0,7049
Q 26		14,4934	6,2870
DUBAI TITICACA		12,5677	0,8307
ICBA Q5 PRECOCE		14,6319	2,6873
Q noir	20%PEG	6,4128	2,2090
Q 26		11,2083	1,4297
DUBAI TITICACA		12,8320	0,6608
ICBA Q5 PRECOCE		23,0838	0,0000
Q noir	30%PEG	6,9226	0,7552
Q 26		10,8811	0,4599
DUBAI TITICACA		11,0447	0,9503
ICBA Q5 PRECOCE		12,4166	0,0000

Relation entre la teneur en amidon et sucres simples au niveau des graines

Selon les résultats obtenus (Tableau 09), l'indice de dégradation d'amidon en sucres simples au niveau des graines en germination est significativement influencé par la nature des génotypes, les traitements hydriques et leur interaction. En effet, l'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination provoque une diminution significative d'indice de transformation d'amidon en sucres simples. Il faut noter que cet indice de transformation s'opère indifféremment de la teneur en amidon des graines avant leur mise en germination.

Les résultats moyens (Tableau 11) indiquent qu'au niveau du traitement hydrique témoin (0%PEG), les valeurs d'indice de transformation varient entre les extrêmes de 0.30 et 0.45 enregistrés respectivement par les génotypes Q 26 et Q noir.

Dans le milieu additionné de 10%PEG, l'indice de transformation oscille dans l'intervalle délimité par des valeurs extrêmes de 0.17 et 0.29 inscrites respectivement par les génotypes Q noir et ICBA Q5 précoce, DUBAI TITICACA.

L'addition de 15%PEG dans le milieu de germination a permis l'obtention d'un indice de transformation d'une valeur moyenne de 0.245. Toutefois, les valeurs génotypiques varient entre 0.22 et 0.26 détenues respectivement par les génotypes DUBAI TITICACA et ICBA Q5 précoce.

L'abaissement davantage du potentiel hydrique de la solution du milieu de germination en additionnant 20%PEG, s'est soldé par des indices de transformation dont les valeurs sont comprises dans l'intervalle délimité par 0.11 et 0.41 extériorisées respectivement par les génotypes Q noir et ICBA Q5 précoce.

Enfin, dans le traitement mené sous 30%PEG, les valeurs d'indice de transformation varient entre les extrêmes de 0.12 et 0.22 détenues respectivement par les génotypes Q noir et ICBA Q5 précoce.

Tableau10 : Effet de la nature du génotype et le potentiel hydrique du milieu de germination sur l'indice de transformation de l'amidon en sucres simples

Sources de variation	Test F	Probabilité
Génotype	3,6763*	0,019808
Potentiel hydrique	16,9624***	0,000000
Génotype x potentiel hydrique	3,8643***	0,000606

* significatif au seuil de $P < 0.05$; *** significatif au seuil de $P < 0.001$

Tableau 11 : indice de transformation d'amidon en sucres simples au niveau des graines après la mise en germination

Génotypes	Traitement	Indice de transformation	Teneur en amidon
Q noir	Témoin	0,45	59,4416
Q 26		0,30	57,0079
DUBAI TITICACA		0,35	56,9582
ICBA Q5 PRECOCE		0,40	57,1580
Q noir	10%PEG	0,17	59,4416
Q 26		0,25	57,0079
DUBAI TITICACA		0,29	56,9582
ICBA Q5 PRECOCE		0,17	57,1580
Q noir	15%PEG	0,25	59,4416
Q 26		0,25	57,0079
DUBAI TITICACA		0,22	56,9582
ICBA Q5 PRECOCE		0,26	57,1580
Q noir	20%PEG	0,11	59,4416
Q 26		0,20	57,0079
DUBAI TITICACA		0,23	56,9582
ICBA Q5 PRECOCE		0,41	57,1580
Q noir	30%PEG	0,12	59,4416
Q 26		0,19	57,0079
DUBAI TITICACA		0,19	56,9582
ICBA Q5 PRECOCE		0,22	57,1580

Relation entre la longueur de la racine et les dimensions des cellules du parenchyme cortical

Les résultats moyens obtenus des dimensions des cellules du parenchyme cortical (Tableau 12) montrent que l'accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination se solde par une diminution de la longueur des cellules. Cette réduction s'annonce plus marquée dans le milieu de 30%PEG, particulièrement. Ainsi sous ces conditions, les réductions moyennes sont de l'ordre de -73.63%, -68.98%, -64.88% et -59.86% enregistrées respectivement chez les génotypes ICBA Q5 PRECOCE, Q 26, DUBAI TITICACA et Q noir. Concernant le diamètre des cellules, les résultats illustrent qu'il n'est que faiblement influencé par les variations de la concentration du PEG dans le milieu de germination. Les évolutions de ce paramètre sont très variables au sein des génotypes testés.

Tableau 12 : Résultats moyens de la longueur et le diamètre des cellules du parenchyme cortical des racines

Génotypes	Traitement	Longueur (µm)	Diamètre (µm)
DUBAI TITICACA	0%PEG	1584,32	383,26
	10%PEG	932,48	264
	15%PEG	1603,12	378,72
	20%PEG	1452,34	283,81
	30%PEG	556,44	162,05
ICBA Q5 PRECOCE	0%PEG	1820,82	92,65
	10%PEG	1092,72	300,17
	15%PEG	915,38	266,66
	20%PEG	1018,22	137,93
	30%PEG	480,1	249,21
Q 26	0%PEG	1468,23	125,88
	10%PEG	809,18	391,11
	15%PEG	1527,97	390,51
	20%PEG	573,81	65,39
	30%PEG	455,54	82
Q noir	0%PEG	832,02	60,81
	10%PEG	555,99	147,26
	15%PEG	779,15	182
	20%PEG	1089,54	211,18
	30%PEG	334	277

Discussion générale

La germination est l'ensemble des événements qui commencent par l'étape 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 (MIHOUB et *al*, 2005 ; PERNOLLET et FERAULT, 2008).

Le processus d'imbibition des graines est une étape physiologique, primordiale pour la germination des graines des différentes espèces végétales (JOHANSSON et *al*, 2000). En pratique, le taux d'imbibition des graines est évalué par la mesure de l'évolution de leur poids. Cette dernière dépend, inévitablement de la quantité d'eau disponible mais elle est grandement conditionnée par la qualité chimique de cette eau (HOPKINS, 2003).

L'imbibition implique un mouvement d'eau dans le sens des potentiels hydriques décroissants, elle est placée sous le contrôle de forces qui s'exercent à la surface de la graine. Elle provoque un gonflement du matériel imbibé, ce qui génère une forte pression appelée pression d'imbibition. Cette dernière provoque la rupture des téguments et permet l'émergence de l'embryon chez les graines où certains aspects de la dormance sont absents.

La germination est réduite graduellement avec l'accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination. Les génotypes testés ont extériorisé des réponses divergentes à l'égard des variations des potentiels hydriques du milieu de germination. BLUM (1989), indique que l'évaluation de la teneur en eau des tissus constitue un paramètre de référence de la prédiction du déficit hydrique qui s'exprime par des pertes de turgescence des tissus végétaux

En effet, au niveau du traitement conduit dans le milieu additionné de 10% et 15% de PEG, le génotype Q noir enregistre des taux de réduction le plus faibles respectivement avec -7.69% et 11.54. Au niveau du milieu de 20% et 30% de PEG, le taux de réduction le plus faibles est enregistré chez le génotype DUBAI TITICACA avec respectivement de -9.09% et -36.36%. Au niveau de 20 et 30 % PEG, Le génotype ICBA Q5 PRECOCE enregistre les taux de germination les plus le plus faible avec respectivement des taux de réduction de -46.67% et -86.67%.

La germination des graines et la levée de la plante constituent des phases critiques pour la productivité de l'espèce et devient alors un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés (SARITHA et *al.*, 2007). Les résultats moyens obtenus des mesures de la radicule (Tableau 07) démontrent que l'application du PEG dans le milieu de germination des graines a provoqué une réduction des grandeurs de cet organe.

La réduction la plus importante a été inscrite dans le milieu de germination additionné de 30%PEG où sa valeur est de l'ordre de -87.4%. On relève ainsi sous ces conditions, des réductions estimées à 88.92%, 67.4%, 93.18% et 89.7% relevées respectivement chez les génotypes DUBAI TITICACA, ICBA Q5 PRECOCE, Q 26 et Q noir. Au niveau des autres traitements, les taux de réduction restent faibles et variables selon les génotypes concernés.

La remobilisation des réserves glucidiques constitue une étape physiologique primordiale dans le processus de germination des graines amylacées (HELDT, 2005).

L'hydrolyse d'amidon et la libération des sucres simples au niveau des graines en germination sont grandement influencées par les traitements hydriques et la nature des génotypes.

Selon HARDEGRE et EMMERICHE (1994), ALMANSOURI et *al.*, (2001), l'imbibition dépend inévitablement de la quantité d'eau disponible mais elle est grandement conditionnée par la qualité chimique de cette eau. En effet, l'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination par accroissement de la concentration du PEG provoque une réduction de la teneur en sucres simples des graines. Ceci indique que les amylases responsables de cette transformation sont sensibles aux variations du potentiel hydrique du milieu de germination.

L'influence du traitement hydrique sur la teneur en sucres est perçue de façons divergentes par les géotypes testés démontrant des réactions différentes des géotypes testés vis-à-vis des variations du potentiel hydrique du milieu de germination. La teneur la plus importante est enregistrée chez les géotypes ICBA Q5 PRECOCE et DUBAI TITICACA. Sous les conditions de 30%, le géotype ICBA Q5 PRECOCE se distingue par la plus haute valeur.

L'indice de dégradation d'amidon en sucres simples au niveau des graines en germination est significativement influencé par la nature des géotypes, les traitements hydriques et leur interaction. En effet, l'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination provoque une diminution significative d'indice de transformation d'amidon en sucres simples. Au niveau du traitement hydrique témoin (0%PEG), les valeurs d'indice de transformation varient entre les extrêmes de 0.30 et 0.45 enregistrés respectivement par les géotypes Q 26 et Q noir. Dans le milieu additionné de 10%PEG, les géotypes Q noir et ICBA Q5 précoce, DUBAI TITICACA enregistrer les taux les plus importants, Alors que dans le traitement mené sous 30%PEG, les valeurs d'indice de transformation varient entre les extrêmes de 0.12 et 0.22 détenues respectivement par les géotypes Q noir et ICBA Q5 précoce.

Les dimensions des cellules du parenchyme cortical, montrent que l'accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination se solde par une diminution de la longueur des cellules. Cette réduction s'annonce plus marquée dans le milieu de 30%PEG, particulièrement.



Conclusion générale

Conclusion générale

Le déficit hydrique constitue l'un des principaux stress abiotiques affectant la croissance et le développement de la plante à différents stades de son cycle. La phase de germination aussi cruciale dans le développement, s'avère grandement affectée par le déficit hydrique. L'étude des variations du potentiel hydrique du milieu de germination des graines de quatre génotypes, a illustré que la qualité des liaisons d'eau par addition de PEG à concentrations croissantes réduit significativement le taux de germination des graines. Néanmoins, cette influence reste tributaire de la nature de la variabilité génétique conduite.

L'abaissement du potentiel hydrique provoque également une réduction de l'élongation racinaire, particulièrement sous la concentration de 30%PEG. La réduction de la longueur des radicules a été expliquée sur le plan cytologique par une réduction de l'élongation cellulaire au niveau des racines. En effet, l'accroissement de la concentration du PEG dans le milieu de germination s'est soldé par une réduction de la longueur des cellules du parenchyme cortical des racines formées. La réduction de la croissance en longueur des cellules résulterait inévitablement de la baisse de la force de turgescence cellulaire suite au faible flux hydrique vers les graines en germination.

L'abaissement du potentiel hydrique a provoqué également une baisse de la teneur en sucres solubles au niveau des graines après leur imbibition au cours de la germination. Les faibles teneurs en sucres sont expliqués par une faible activité des amylases responsables de la dégradation d'amidon. Ceci est prouvé par le faible indice de dégradation d'amidon en conditions de faible potentiel hydrique provoqué par l'augmentation de la concentration du PEG dans le milieu de germination

Concernant le comportement du quinoa en situation de déficit hydrique lors des phases de germination, il en ressort que cette espèce est dotée d'un pouvoir de tolérance assez élevé. Cette hypothèse se justifie par le fait que certes les différents paramètres de germination ont été affectés par l'abaissement du potentiel hydrique, mais les faibles grandeurs de ces derniers n'ont nullement constitué des obstacles au déroulement de la germination quoique faible par son intensité, durant la phase retenue de cette étude.



Références bibliographique

Références bibliographique

- ABBAD A.**; EL HADRAMI A.; EL HADRAMI I. and BENCHAAABANE A., 2004- Seasonal chemical composition of leaves of three *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae) Natural populations grown in common garden. Pakistan.
- ABROL YASH P., INGRAM** Keith T., 1997- Les effets de la hausse des temperature diurnes et nocturnes sur la croissance et les rendements de certaines plantes cultivées. Archive de documents de la FAO. pp 394-398.
- ADDA A., SAHNOUNE M., KAID-HARCH M.** et MERAH O., 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. C. R. Biologies, 328: 918-927.
- Aggon, K.** (2017). Effet de la date de semis sur le comportement de la culture de quinoa (*chenopodium quinoa willd.*) dans la region de Biskra. Biskra: Memoire de master, universite mohamed khider biskra.
- ALBOUCHI, L.; BACHTA M.S.; JACQUET F.,** 2007-Compared production efficiency in irrigated areas within a watershed. New Medit, Vol. VI - n.3.
- ATIENZA S.; FACCIOLI P.; PERROTA G. ; DALFINO G. ; ZSCHIESCHE W. ; HUMBEK K. ; STANCA A. M. and CATIVELLI L.,** 2004- Large scale analysis of transcripts abundance in barley subjected to several single and combined abiotic stress conditions. Plant Science 167: 1359-1365.
- AUSSENAC G., GRANIER A., IBRAHIM M.,** 1984. Influence du déssechement du sol sur lae fonctionnement hydrique et la croissance du douglas (*Pseuddotsuga menziesi* (Mirb) Franco). *Acta Oecologica/Oecol Plant*, 5 :241-53.
- BAKER J., STEEL C.H.** et DURE I.L. 1988. Sequence and characterization of 6 LEA proteins and their genes from cotton. *Plant Mol. Biol.*, 11: 277-291.
- BAYUELO-JIMÉNEZ J.S., GRAIG R. and LYNCH J.P.,** 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.* 42, 1584- 1594.
- BELHASSEN E., THIS D., MONNEVEUX P.,** 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de séchresse. *Cahiers agricultures* ; 4 : 251-261.
- BENLARIBI M., MONNEVEUX P.** et GRIGNAC P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Agronomie*, 10: 305-322.
- BENZALA A.,** 2005-Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* L.) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse Thèse Magister. Université El Hadj Lakhdar 143 p.:p.25-28.
- BEWLEY J. D.,** 1997 – Seed germination and plant dormancy. *Plant Cell* 9, 1055-1066.

Références bibliographique

- Bhargava A**, Shukla S, Ohri D (2006a) *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. Industrial.
- 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.
- BOUTFIRASS M.**, KARROU M. et EL MOURID M., 1994. Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. In : El Gharous M., Karrou M. et El Mourid M. (Eds) ; Aquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA-MIAC Eds. Actes de conférence, Rabat 24-27 Mai 1994, Maroc : 176-179.
- BOUZOUBAA Z.**, EL MOURID M., KARROU M. et EL GHAROUS M. 2001. Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes. Eds INRA Maroc.
- BOYER JS.**, 1985. Water transport. *Ann Rev plant physiol.*, 36: 473-516.
- Brack Egg A.**, 2003. Perú: diez mil años de domesticación. Lima: Editorial Bruño.
- BRAY E.** et **ZIEGLER P.**, 1989. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. *Annual Review of Plant Physiol. And plant mol. Bio.* 40: 95-117. **CASALS M.L.** 1996. Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de Doctorat de l'INRA Paris Grignon, 93p.
- CASALS M.L.** 1996. Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de Doctorat de l'INRA Paris Grignon, 93p.
- Chauhan G.S.**, Eskin N.A.M. & Tkachuk R., 1992. Nutrients and antinutrients in quinoa seed. *Cereal Chem.*, 69, 8588.
- CHAUSSAT R.**, 1999. Productions végétales : croissance et développement des plantes. Ed., Paris: 1-6.
- CHAUX C.** et **FOURY C.**, 1994. Maitrise des facteurs de production, qualité et traitement des semences, mise en culture par semis en place in *Production légumière*. Tome 1- Généralité. Tec et Doc. Lavoisier. pp 277-431-445.
- CHERNYAD EV I.**, 2005 - . Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, Volume 41, Number 2, March 2005, pp. 115-128(14).

Références bibliographique

- CHEVERY C.** and **ROBERT M.**, 1993-Salure des sols maghrébins-Influence sur les propriétés physico-chimiques des sols. Répercussions des modifications de ces dernières sur la fertilité, notamment azotée des sols. Rennes: ENSA ; 59 p.
- CHINNUSAMY V.**; **ZHU J.** and **ZHU J. K.**, 2006- Gene regulation during cold acclimation in plants. *Physiologia Plantarum* 126 (1): 52-61.
- 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.
- DAVID J.C.** et **GRONGNET J.F.** 2001. Les protéines de stress. *INRA Prod. Anim.*, 14(1): 29-40.
- Del Castillo, C.,** **G. Mahy,** et al. (2008). "La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable".BASE.
- DIEHL R., 1975.** Agriculture générale : Technique saisonnière de la production végétale. 2eme édition. pp 275- 286- 290.
- DUBOIS J., 1991.** L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Les chocs thermiques et leurs applications. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp 159463.
- EI FAKHRI M.,** **MAHBOUB S.,** **BENCHKROUN M.** et **NSARELLAH N.,** 2010. Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum* Desf). Revue « Nature et Technologie », 03 : 6-12.
- EI MOURID M.,** **KARROU M.** et **EL GHAROUS M.,** 1996. La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, 92: 69-81.
- FAO** (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. Under-utilized Andean food crops. Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.
- FAO, 2016.** (Food and Agriculture Organisation), 2016.Quinoa en Algérie. P16.
- FAOSTAT, F.** (2010). "Disponível em:< <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>." Acessado em setembro.
- FELIACHI K.,** **AMROUNE R.** et **KHALDOUNE,** 2001. Impact de la sécheresse sur la production des cereals cultivées dans le nord de l'Algérie: céréaliculture N0 35.ED. ITGC. Algérie.
- Fuentes F,** **Bhargava A** (2011) Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *J Agron Crop Sci* 197:124–134.

Références bibliographique

- Galwey, N.W.** 1993. The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products* 1: 101-106.
- Galwey, N.** (1995). *Quinoa and relatives. Evolution of crop plants*, Longman, Harlow, UK: 41-46.
- GATE P. et GIBAN M., 2003.** Stades du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.
- GARCIA DEL MORAL L.F., RHARRABTI Y., VILLEGAS D., et ROYO C., 2003.** Evaluation of Grain Yield and its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. *Agron*, 95: 266-274.
- 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.
- 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.
- GRAVOT Antoine, 2009-**Introduction générale : de quoi parle-t-on ? Quelles sont les questions ? Quelles sont les principales approches. Support de cours. 1:5p.
- GREGORY B., 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse doctorat (Ph.D) en science forestière. Université Laval, Faculté de foresterie et géomatique.
- HASSANI A., DELLAL A., BELKHODJA M. et KAID-HARCHE M., 2008.** Effets de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *European journal of Scientific Research*. Vol. 23 (1): 61-69.
- HAYAK T., BENSALÉM M., et ZIDI E., 2000.** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse : cas du blé, de l'orge et du Triticale. *Options Méditerranéennes Zaragoza*, 40 : 287-290.
- HELLER R., ROBERT E., CLAUDE L., 1998.** *Physiologie végétale. 1 Nutrition* Edit. Dunod, Paris 322 p.
- HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 2000.** *Physiologie végétale II. Développement*. Ed Dunod. Paris. pp 64-260.
- HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 2004.** *Physiologie végétale II, développement*. Ed., Dunod, Paris, Pp. 64-240.
- Herbillon M.** 2015. Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse de doctorat d'état, université de Rouen U.F.R de médecine et de pharmacie, 127p.

Références bibliographique

- Hopkins W.G.**, 2003. Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles:476p.
- HSIAO TC., O'TOOLE JC., YAMBAO EB. et TURNER NC.**, 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.*, 75: 338-341.
- INGRAM J. et BARTLZQ D.**, 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annula Review of Plant Physiol. And plant mol. Biolo.*, 47 :377-403.
- 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>.
- 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., 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.
- Jyoti G., Chanu H.** 2018. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) – The forgotten golden grain. *International journal of food and nutritional sciences*. Vol. 7 N°1, <http://www.ijfans.com/currentissue.php>.
- KLEIN M.A., SEKIMOTO H., MILNER M.J. and KOCHIAN L.V., 2008.** Investigation of heavy Metal Hyperaccumulation at the Cellular Level : Developpment and Characterization of *Thlaspi caerulescens* Suspension Cell Lines. *Plant Physiol.* **147** : 2006-2016.
- Koziol, M.** (1992). "Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)." *Journal of food composition and analysis* 5(1): 35-68.
- KRAMER P.J., 1980.** Drought stress and the origin of adaptation. In : Turner NC, Kramer PJ, eds *Adaptation of plants to water and hight temperature sress*. New York : *Wiley-Interscience*, **120** : 45-48.
- LAFON J.P., THRAUD-PRAYER C. et LEVY G., 1996.** Biochimie structurale in *Biologie des plantes cultivées*. Tome 1 : Organisation physiologie de la nutrition. 2eme édition. Tec et Doc. Lavoisier. 102
- LANGRIDGE P.; PALTRIDGE N. and FINCHER G., 2006-** Functionnal genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefings in Functionnal genomics and Proteomics*. 4(4): 343-354.
- LAURENT B. et AHMED B., 1991.** La germination des semences en conditions sèches. *Science et changements planétaires/ sécheresse*. Vol. 2 (4): 239-249.

Références bibliographique

- LEDIG FT., 1981.** The influence of genotype and environment on dry matter distribution in plants. In Huxley PA, ed. Plant research and agroforestry, International Council for Research in agroforestry, Nairobi, p.427-454.
- LESS H. et GALILI G., 2008.** Principal transcriptional Programs regulating plant amino acid metabolism in Response to abiotic stresses. *Plant physiol* 147.
- LEVITT J., 1980** – Salt and ion stress. In: LEVITT J. (eds). Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York: Academic Press, p. 365-406.
- LEVY G., 1998.** Biologie des plantes cultivées. Tome 1, Organisation, physiologie de la nutrition. 2eme édition. Paris.
- LU C., QIU N., WANG B., ZHANG J., 2003.** Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda Salsa*. *Journal of Experimental Botany*, **54**, (383),p 851- 860.
- LUHUA S., CIFTCI-YILMAZ S., HARPER J., CUSHMAN J. and MITTLER R., 2008.** Enhanced Tolerance to Oxidative Stress in Transgenic Arabidopsis Plants Expressing Proteins of Unknown Function. *Plant Physiol.* **148** : 280-292.
- MAGRIN G., 1990.** Facteurs de stress agissant sur la production du blé en Argentine. Evaluation de mécanismes d'adaptation à la sécheresse. Thèse. Ing. ENSA Montpellier France.
- MAROUF A. et REYNAUD J., 2007-** La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod : P. 286.
- MAZOYER M., 2002.** La rousse agricole. Ed., Paris: 320-321.
- 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.
- Mujica, Á. Izquierdo, J., Marathe, 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., Marathe, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, 9-29.
- MONNEVEUX P. et NEMMAR M. 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* desf.) :

Références bibliographique

étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6: 583-590.

MONNEVEUX P., THIS D., 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficulté. *Sècheresse*, 8 (1).

MORGAN JM., HARE RA. et FLETCHER RJ., 1986. Variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yields in a range of field environments. *Aust J Agric Res.*, 37: 449-57

MUNNS R., Richard A.J. et Lauchli A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57 (5): 1025-1043.

Ng S.C., Anderson A., Coker J. & Ondrus M., 2007. Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chem.*, 101, 185192.

National Research Council, 1989. Lost crops of the Incas: little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington, DC, USA: National Academy Press, 149161.

NAVARRO Marie ,2009-Etude fonctionnelle de gènes de facteurs de transcription *CBFs* impliqués dans la tolérance au froid chez *Eucalyptus*. Thèse de doctorat, Université Toulouse III – Paul Sabatier.197p.

OUKARROUM A., 2007. Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.

OULD DJEH T.K. ; Najeh Dali ; Bettaleb T ; Ben Salah A.2006- Influence métabolique du CO₂ atmosphérique sur la tomate cultivée en milieu saumâtre. *Cahiers agricultures*, 15, (5),p. 441- 447.

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.

PENFIELD S., RYLOTT E. L., GILDAY A. D., GRAHAM S., LARSON T. R. and GRAHAM, I.A.,2004-Reserve mobilization in the *Arabidopsis* endosperm fuels hypocotyl elongation in the dark, is independent of abscisic acid, and requires phosphoenolpyruvate carboxykinase. *Plant Cell* 16, 2705-18.

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).

Références bibliographique

- PRITCHARD, S. L., CHARLTON, W. L., BAKER, A. and GRAHAM, I. A.,**2002 - Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in *Arabidopsis*. *Plant J* .31, 639-47.
- RADHOUANE L.,** 2008-Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) autochtones de Tunisie C. R. Biologies 331.ScienceDirect, Volume 331.n° 4.p 278-286.
- 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.
- RepoCarrasco R., Espinoza C. & Jacobsen S.E.,** 1999. Valor nutricional y usos de la quinua (*Chenopodium quinoa*) y de la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). In: Izquierdo Fernández J.I. et al., eds. *Cultivos andinos*. [CDROM]. Santiago: FAO.
- 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.
- 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.
- SCHWARTZ. C.,** 2007-Salinisation des sols : processus, causes, effets et gestions des sols salés. Diapositif.
- SCRIBAN R.,** 1999. Biotechnologie. 5eme édition. Paris. pp 404-407.
- TALAME V.; OZTURK N.; BOHNERT H. and TUBEROSA R.,** 2007- Barley transcript profiles under dehydration shock and drought stress treatments: a comparative analysis. *Journal of Experimental Botany* 58 (2): 229-240.
- TANNER C.B. et SINCLAIR T.R.,**1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Taylor, H.M, Jordan, W.R , Sinclair, T.R . (Eds). *Limitations to efficient water Use in Crop Production*. American Society of Agronomy Madison WI. : 29-43.
- Tapia M.E. et al.,** 1979. La quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Serie Libros y Materiales Educativos 49. Bogota: IICA, CIID.
- THOMAS FM., GAUSLING T.,** 2000. Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus praera* and *Q. robur*) to moderate drought. *Ann. ForSci.* 57 : 325-33.
- TURNER N. et JONES M.,** 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and évaluation. In *Adaptation of plants to water and high temperature stress*, N Turner et P Kramer eds, Wiley, New York: 87-107.

Références bibliographique

- TURNER N.**, 1986. Adaptation to water déficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*, 13: 175-190.
- VALLADE J.**, 2002. Structure et développement de la plante : Morphogénèse et biologie de la reproduction des Angiospermes. Ed Dunod. Paris. 224p.
- VANHES AFM.**, 1997. Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus suber L.*) and beek (*Fagus sylvatica L.*) seedling in relation to shading and drought. *Ann Sci*, **54** : 9-18 p.
- VELASCO R.**, SALAMINIF., et BARTLETS D., 1994. Dehydration and ABA increase mRNA levels and enzyme activity of cytosolic GAPDH in the resurrection plant. *Plant mol. Biol.*, 26: 541-546.
- VERSLUES P.**; AGARWAL M.; KATIYAR-AGARWAL S. and ZHU J., 2006- Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing abiotic stresses that affect plant water stans. *The plant journal* 45: 523-539.
- VINCENT R.**, 2006. Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.
- WANG J.R.**, WEI Y.M., LONG X.Y., YAN Z.H., NEVO E., BAUM B.R. and ZHENG Y.L., 2008. Molecular evolution of dimeric α -amylase inhibitor genes in wild emmer wheat and its ecological association. Research article. BioMedCentral.
- WANG W.X.**, BRAK T., VINOCUR B., SHOSEYOV O. et ALTMAN A., 2003. Abiotic resistance and chaprones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed), *Plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht : 439-443.
- WELSCH R.**, WUST F., B.R C., AL-BABILI S. and BEYER P., 2008- A Third Phytoene Synthase Is Devoted to Abiotic Stress-Induced Abscisic Acid Formation in Rice and Defines Functional Diversification of Phytoene Synthase Genes. *Plant Physiol* 147: 367-380.
- YOKOTA A.**, TAKAHARA K. et AKASHI K., 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 15-39.
- ZERRAD W.**, MAATAOUI B., HILALI S., EL ANTRI S. et HMYENE A., 2008. Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, Vol.9 (2): 27-36.
- ZHU J.**, 2001- Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71.