



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

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie  
Filière : Science biologique  
Spécialité: Biotechnologie et valorisation des plantes  
Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Khalida LAABAS**

**Anissa BALOUTA**

Le : mercredi 30 septembre 2020

## **Influence de différents traitements de prégermination des graines de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Sur les performances germinatives et la tolérance au stress hydrique**

---

**Jury :**

<b>Mme.</b> Dalel BELKHIRI	M.C.B	Université de Biskra	Président
<b>Mme.</b> Hafida BELKHARCHOUCHE	M.C.B	Université de Biskra	Rapporteur
<b>Mme.</b> Nabila FETITI	M.A.A	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019/2020

# Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu **ALLAH** tout puissant de nous avoir accordé La force, courage et patience pour terminer ce travail.

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

Je voudrais remercier **Mr. Charfaoui .A.** Ceux qui m'ont aidé dans l'analyse statistique, pour leur simplicité et leur générosité qui sont la preuve de leur qualité humaine.

Nous tenons à remercier les membres de jury.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres de' C.R.S.T.R.A. (Centre of Scientific and Technical research on arid regions) de BISKRA. Surtout **Mr.Fadlaoui .H.**

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

Toute ma gratitude à mes collègues de promotion ainsi qu'à d'autres étudiants.

# Dédicace

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

- ❖ Mes parents les plus chers en ma vie, À mon Père précieux **Ahmed** À ma très chère Maman **Kamla**
  - ❖ À mes adorables frères, **Nail** et **Adem**
- ❖ À mon binôme dans ce travaille **Khalida**, j'espère que vous trouverez votre bonheur dans les années à venir

**Anissa**

- ❖ Mes parents les plus chers en ma vie, À mon Père précieux **Ahmed** À ma très chère Maman **Souad**
  - ❖ À mes sœurs adorées **Fatma** et **Soundes**
    - ❖ A mon frère **Abd El Malek**
- ❖ À mon binôme dans ce travaille **Anissa**, j'espère que vous trouverez votre bonheur dans les années à venir
  - ❖ À tous mes collègues le long de mes études et toute la promotion de master de la Biotechnologie et valorisation des plantes, Je vous aime tous.

**Khalida**

# Table de matière

**Remerciements**

**Dédicace**

**Table des matières**

**Liste des Tableaux..... I**

**Liste des Figures.....II**

**Liste des abréviations ..... III**

**Introduction générale..... 1**

Chapitre 1. Généralités sur le quinoa .....

1.1. Origine et distribution géographique .....3

1.2. Classification botanique.....3

1.3. Description taxonomique de la plante.....3

1.4. Stades phénologiques du quinoa.....5

1.5. Valeur alimentaire et sous-produits.....6

1.6. Utilisations de Quinoa.....7

Chapitre 2. Priming et stress hydrique .....

2.1. Priming (ou traitement prégerminatif des semences).....9

2.1.1. Définition .....9

2.1.2. Type d'endurcissement.....9

2.1.2.1. Hydropriming ou redéshydratation .....9

2.1.2.2. Osmopriming.....9

2.1.2.3. Hormopriming.....10

2.1.3. Mécanismes physiologiques et biochimiques du priming.....10

2.1.3.1. Priming et intégrité membranaire.....10

2.1.3.2. Priming et mobilisation des réserves.....10

2.1.3.4. Priming et systèmes antioxydants.....10

2.1.3.5. Priming et formation des espèces réactives d'oxygène.....11

2.1.3.6. Priming et accumulation des osmolytes.....	11
2.1.3.7. Priming et génome.....	11
2.2. Stress hydrique.....	11
2.2.1. Effet du stress hydrique sur la germination.....	12
2.2.2. Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production.....	12
2.2.3. Stratégies d'adaptation les plants pour tolérer le déficit hydrique.....	13
Partie expérimental.....	
Chapitre 3 : Matériel et méthodes.....	14
3.1. Matériel Végétal.....	14
3.2. Protocole expérimental.....	14
3.2.1. Application du traitement prégerminatif (endurcissement ou amorçage).....	14
3.2.2. Préparation des solutions de PEG.....	15
3.2.3. Mise à germination.....	15
3.3. Les paramètres étudiés.....	16
3.3.1. Taux de germination finale.....	16
3.3. 2. Cinétique de germination.....	16
3.3.3. Longueur des racines et des epicotyle.....	16
3.4. Analyse statistique.....	16
Chapitre 4 : Résultats et discussion.....	17
4.1. Résultats et discussion.....	17
4.1.1. Taux de germination.....	17
4.1.2 Cinétique de germination.....	19
4.1.3. Longueur des racines et des épicotyles.....	22
4.1.3.1. Longueur des racines.....	22
4.1.3.2. Longueur des épicotyles.....	23
4.2. Discussion.....	25
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Les Stades phéénologiques du quinoa.....	6
<b>Tableau 2.</b> Comparaison entre La composition des graines de quinoa et de blé ( g/ 100g de matière sèche ).....	7
<b>Tableau 3.</b> Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété ( Q 102) .....	18
<b>Tableau 4.</b> Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Q noir) .....	18
<b>Tableau 5.</b> Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Giza 1).....	19

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Les graines des différentes variétés de quinoa étudiées.....	14
<b>Figure 2.</b> Effets du hydropriming sur le taux de germination chez trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique .....	17
<b>Figure 3.</b> Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Q102) sous l'effet des différents niveaux du stress hydrique.....	20
<b>Figure 4.</b> Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Q noir) sous l'effet des différents niveaux de stress hydrique .....	21
<b>Figure 5.</b> Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Giza 1) sous l'effet des différents niveaux de stress hydrique .....	22
<b>Figure 6.</b> Effets du hydropriming sur la longueur des racines des trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	23
<b>Figure 7.</b> Effets du hydropriming sur la longueur des épicotyles des trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	24

# Liste des abréviations

**%** : Pourcentage

**° C** : Degrés Celsius

**3h double hydro** : Double Hydropriming de 3 heures

**6h hydro** : Simple Hydropriming de 6 heures

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**ADP** : Adénosine Diphosphate

**ARNm** : Acide ribonucléique messenger

**ATP** : Adénosine Tri Phosphate

**CAT** : Catalase

**FAO** : Food and Agriculture Organization.

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

**GA 3** : Acide gibbérellique

**KCl** : Chlorure de potassium

**KNO<sub>3</sub>** : Nitrate de potassium

**MDG** : Moyenne journalière de Germination

**NaCl** : Chlorure de sodium

**PEG** : Polyéthylène glycol

**POX** : Peroxydases

**SOD** : Superoxyde dismutase

**T°** : Température

**TGF** : Taux de germination finale

# **Introduction générale**

## **Introduction**

Dans le monde, la productivité et le développement agricole sont confrontés à plusieurs contraintes biotiques et abiotiques. Parmi ces contraintes, celle hydrique et saline sont considérées comme les facteurs les plus importants limitant la production notamment au niveau des régions arides et semi arides (Rjeibi et *al.*, 2015). Le déficit en eau est l'une des contraintes les plus courantes de l'environnement qui influe sur la croissance et le développement des plantes (Sadras et Milroy, 1996 ; Aslam et *al.*, 2006).

La production végétale et l'établissement de bonnes cultures agricoles dépendent étroitement de la germination des semences qui est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs (Cheng et *al.*, 1999). Or, la germination peut être hétérogène vu que les semences ne germent pas toutes de la même manière ni en même temps.

Afin de résoudre ces problèmes et d'améliorer le développement et le rendement des espèces végétales, plusieurs approches ont été utilisées depuis plusieurs années (Basra et *al.*, 2003). La technique la plus fréquente et la plus commune est l'amorçage ou l'endurcissement connue sous le nom de « *priming* ».

C'est une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Bradford, 1986 ; Taylor et *al.*, 1990). C'est à dire au cours de la phase réversible de la germination. Pendant cette phase la semence peut être redéshydratée tout en gardant sa capacité à germer (Mazliak, 1998). Cette technique est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être indésirables pour l'environnement et la santé humaine.

Beaucoup d'auteurs ont montré chez différentes espèces de grandes cultures telles que le haricot, la lentille, le blé, le maïs, le riz, la pastèque, le melon, la tomate, la carotte et l'amarante, que l'endurcissement des semences permet l'accélération et la synchronisation de la germination (Heydecker et *al.*, 1973 ; McDonald, 2000), ainsi qu'une meilleure croissance, une floraison plus précoce, une plus grande tolérance aux stress et un rendement plus élevé (Harris et *al.*, 2002 ; Basra et *al.*, 2006 ; Moosavi et *al.*, 2009)

Il a été bien montré que les effets positifs de l'endurcissement sont associés à diverses modifications physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques telles que la mobilisation des réserves, la dégradation de l'albumen, l'activation des systèmes antioxydatifs, la stimulation de la synthèse des osmolytes et l'activation du cycle cellulaire et de certains gènes de tolérance aux stress abiotiques (Bray et *al.*, 1989 ; Dell'Aquila et *al.*, 1989 ; Davison et *al.*, 1991 ; De Castro et *al.*, 2000 ; Varier et *al.*, 2010)

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) retenu par la FAO comme la plante de l'année 2013, est une plante originaire d'Amérique du sud (Benes et *al.*, 2001) très adaptée aux différents stress abiotiques comme la sécheresse (stress hydrique), le gel (Jacobsen et *al.*, 2003 ; Mujica et *al.*, 2001). Cette plante halophytique a une capacité potentielle importante de croître sous différentes conditions agro-climatiques dans plusieurs pays du monde (Adolf et *al.*, 2013 ; Shabala et *al.*, 2013).

Notre étude a pour objectifs d'étudier l'effet de l'hydropriming (un cycle de redéshydratation) et du double hydropriming (deux cycles de redéshydratation) sur la germination de quelques variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) et la tolérance au stress hydrique.

Ce mémoire est structuré en deux parties ainsi:

La première partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, elle est formée par deux chapitres :

- Chapitre I : Généralités sur le quinoa.
- Chapitre II- Priming et stress hydrique.

La deuxième partie est la partie expérimentale, elle est formée de deux chapitres aussi :

- Chapitre III - Matériel et méthodes.
- Chapitre IV - Résultats et discussion

# **Partie**

# **Bibliographique**

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur le quinoa**

# Chapitre 1 : Généralités sur le quinoa

## 1.1. Origine et distribution géographique

Le quinoa est une plante originaire des Andes, et plus précisément des alentours du lac Titicaca, entre le Pérou et la Bolivie (Mujica et *al.*, 2001). C'est un mot d'origine quechua désignant une plante annuelle à feuilles triangulaires et panicules composées. Selon les traces archéologiques découvertes dans les grottes d'Ayacucho au Pérou, cette Chénopodiaceae aurait été domestiquée il y a 6.400 à 7.800 ans (Brack Egg, 2003). Elle est cultivée et consommée depuis des siècles par les populations indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili (Gandarillas, 1979a).

## 1.2. Classification botanique

Selon Cronquist (1981), la classification botanique quinoa est comme suite :

<b>Règne:</b>	Plantae
<b>Division:</b>	Magnoliophyta
<b>Classe:</b>	Magnoliopsidae
<b>Sous-classe:</b>	Caryophyllidae
<b>Ordre:</b>	Caryophyllales
<b>Famille:</b>	Chenopodiaceae
<b>Genre:</b>	Chenopodium
<b>Espèce :</b>	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

## 1.3. Description taxonomique de la plante

Vidal Apaza et *al.* (2013) a décrit les différentes parties de la plante de quinoa comme suite:

### ❖ La plante



La plante est en érection, atteignant des hauteurs variant de 0,60 à 3,00 m, selon le type de quinoa, les génotypes, la fertilité des sols et des conditions environnementales où il pousse.

## ❖ Les racines



La racine est pivotante, vigoureux, profonde, très ramifié et fibreux, ce qui confère sa résistance à la sécheresse et une bonne stabilité à la plante.

## ❖ La tige



Elle est cylindrique dans la couronne de la plante et anguleuse de la ramification de coloration variable du vert au rouge, présente souvent des stries et des aisselles pigmentées de rouge, vert ou couleur violette.

## ❖ Les feuilles



Les feuilles sont alternes et se composent d'un pétiole et d'un limbe. le limbe des feuilles d'une même plante peut avoir une forme rhomboïdale, triangulaire ou lancéolée, La couleur des feuilles est très variable allant du vert au rouge avec différentes nuances.

## ❖ Inflorescence



La panicule est typique, composée d'un axe central et de branches secondaires, tertiaire et des pédicelles qui maintiennent les glomérules. L'axe principal est plus développé que le secondaire, il peut être laxiste (amarantiforme) ou compact (glomérule), avec des formes entre eux.

### ❖ Fleur

Le quinoa présente des fleurs hermaphrodites disposées en inflorescences en grappes, considérées comme de faux épis (panicules). Dans l'étape reproductrice du cycle de la quinoa, l'inflorescence est terminale et de longueur variable (Tapia et *al.*, 1979 ; Izquierdo et *al.*, 2001).

### ❖ Fruit



C'est un akène, il a une forme cylindro-lenticulaire, légèrement élargie vers le centre. Il se compose du périgonium qui entoure complètement la graine, et contient un grain unique, de coloration variable, qui se détache facilement à maturité.

### ❖ Graine



La graine est entourée d'un épisperme à coloration diverses. Il existe trois formes de graines : conique, cylindrique et ellipsoïdale. L'embryon est composé de deux cotylédons et d'une racicule et constitue 30% du volume total des graines, qui tourne le périsperme en anneau.

## 1.4. Stades phénologiques du quinoa

Plusieurs échelles de développement ont été décrites pour le quinoa, selon Mujica et Canahua (1989) en 12 phases. Les différents stades sont illustrés en (Tableau 01) avec une résumé des stades les plus importants.

**Tableau 1.** Les stades phénologiques du quinoa (Mujica et Canahua, 1989).

Stades	Jours après le semis	Description
Levée	[7-10]	Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaire.
Ramification	[45-50]	la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud. Les feuilles cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige.
Panicule	[65-70]	L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent. Des boutons floraux individualisés apparaissent.
Floraison	[90-100]	L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence. C'est durant cette phase que la plante est plus sensible aux gelées. Les feuilles inférieures, flétries, tombent.
Grain laiteux	[100-130]	Le grain est qualifié de laiteux. Un déficit hydrique pendant cette phase entraîner une forte diminution du rendement.
Grain pâteux	[130-160]	L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche.
Maturité physiologique	[160-180]	Le grain, plus résistant à la pression, plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète à maturité.

### 1.5. Valeur alimentaire et sous-produits

Le grain du quinoa possède une valeur nutritive élevée car il contient tous les acides aminés nécessaires au corps humain, qui appartiennent à la catégorie des protéines complètes (Johnson et Aguilera, 1980). Il est, en termes de quantité et de qualité de protéines, supérieur à de nombreuses céréales. En effet, Le quinoa contient de 11 à 22% de protéines, alors que cette teneur n'est généralement que de 7 à 13% chez les céréales (Koziol 1992 ; Cardazo et Tapia, 1979 ; Wright et *al.*, 2002 ; Ayala et *al.*, 2001; Schlick et Budenheim, 1996) (Tableau 02 ). Il possède de plus une composition en acides aminés essentiels complète et relativement équilibrée, qui le rend complémentaire de la plupart des céréales, voire de certaines légumineuses.

**Tableau 2:** Comparaison ente la composition des graines de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche) (\* Tapia, 2000 ; \*\* Feillet, 2000).

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

## 1.6. Utilisations du quinoa

Les principales utilisations du quinoa peuvent être résumées comme suit :

- **Alimentation humaine :** On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche).
- **Industrie alimentaire :** Les grains et la farine de quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie de la farine. Le quinoa peut être associé au légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle
- **Alimentation animale :** La plante entière sert de fourrage vert.

- **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 (Cercam, 2014).
  
- **Autres utilisations industrielles :** Au quinoa est associé toute une gamme de sous-produits destinés à l'alimentation, à la cosmétique, aux applications pharmaceutiques et à d'autres utilisations (FOA, 2011).

**Chapitre 2**  
**Priming et stress**  
**hydrique**

## Chapitre 2 : Priming et stress hydrique

### 2.1. Priming (ou traitement prégerminatif des semences)

#### 2.1.1. Définition

L'amorçage ou endurcissement (priming en anglais) est une des techniques de pré-semis la plus connue qui permet d'influencer le développement des semis, en modulant les activités métaboliques de la germination avant la percée de la radicule (Bradford, 1986 ; Taylor et *al.*, 1990), c'est à dire au cours de la phase réversible de la germination, Pendant cette phase, la semence peut être redéshydratée tout en gardant sa capacité à germer (Mazliak, 1998).

#### 2.1.2. Type d'endurcissement

Les méthodes d'amorçage des semences peuvent être divisées en deux groupes selon que l'absorption d'eau est incontrôlée (hydro et hormoprimer) ou contrôlée (osmoprimer) (Taylor et *al.*, 1998).

##### 2.1.2.1. Hydropriming ou redéshydratation

###### ➤ Simple hydropriming

Est la technique d'amorçage la plus simple qui consiste à imbiber avec de l'eau les semences puis à les déshydrater avant de les semer (Tarquis et Bradford, 1992). Cette technique est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être indésirables pour l'environnement et la santé humaine (Ghassemi-Golezani et *al.*, 2008).

###### ➤ Double hydropriming

Le double hydropriming, traitement inédit, employé par Boucelha et Djebbar (2015) consiste à faire subir aux semences un double cycle d'hydratation-redéshydratation. Ce nouveau traitement offre les meilleurs résultats en améliorant très significativement les performances germinatives, la croissance ainsi que la tolérance aux stress (Boucelha et Djebbar, 2015; Boucelha, 2015 ; Boucelha et *al.*, 2019).

##### 2.1.2.2. Osmoprimer

Est le type d'amorçage des semences le plus communément utilisé. Il consiste à faire subir aux graines un traitement prégerminatif osmotique seul ou suivi d'une redéshydratation. Cette

hydratation contrôlée des semences est réalisée grâce à des agents osmotiques tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO<sub>3</sub>, NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Bradford, 1986 ; Yari et *al.*, 2010).

### **2.1.2.3. Hormopriming**

Prétraitement hormonal est une stratégie d'amorçage utilisée pour améliorer la germination des graines dans des conditions stressantes ( Atici et *al.*, 2003 ; Gratão et *al.*, 2005 ; Jisha et *al.*, 2013 ; Massoud et *al.*, 2012 ; Hu et *al.*, 2013 ). Par exemple, les graines de seigle (*Secale montanum*) prétraitées avec de l'acide gibbérellique (GA<sub>3</sub>) ont augmenté la germination dans des conditions de déficit hydrique (Ansari et *al.*, 2013 )

## **2.1.3. Mécanismes physiologiques et biochimiques du priming**

### **2.1.3.1. Priming et intégrité membranaire**

Des études suggèrent que l'endurcissement permet la réparation des membranes cellulaires (Jowkar et *al.*, 2012 ; Hussain et *al.*, 2016 ). D'autre part, Boucelha (2015) a montré que les plantules de *Vigna unguiculata* issues des semences traitées se caractérisent par une bonne intégrité membranaire.

### **2.1.3.2. Priming et mobilisation des réserves**

Des processus liés à la germination tels que la respiration, le métabolisme énergétique et la mobilisation précoce des réserves se produisent pendant l'amorçage. L'amorçage augmente la production d'adénosine triphosphate ATP, de la charge énergétique et du rapport ATP/ADP. Les enzymes responsables de la mobilisation des protéines de stockage, de la mobilisation des glucides ( $\alpha$  et  $\beta$  amylases) et des lipides mobilisation (isocitrate lyase) ont été soit synthétisés, soit activés pendant l'amorçage. Énergie plus élevée renouvellement et augmentation du taux de métabolisme chez les graines qui conduisent à une meilleure germination et au stress tolérance (Raj A. et Raj S., 2010).

### **2.1.3.4. Priming et systèmes antioxydants**

plusieurs auteurs ont expliqué l'amélioration de la germination chez les semences traitées par l'augmentation de ces activités enzymatiques antioxydantes qui permettent l'élimination des radicaux libres synthétisés en réponse d'un stress oxydatif pour éviter les dommages cellulaires (Varier et *al.*, 2010 ; Ahmed et *al.*, 2012; Chawla et *al.*, 2014). Ainsi, l'activation de la

machinerie antioxydante est la réponse de défense la plus importante dans les cellules vivantes dans des conditions de stress. Cette machinerie antioxydante se compose d'antioxydants enzymatiques, par exemple, la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la peroxydase (POX) et des composés antioxydants non enzymatiques, par exemple l'ascorbate, le tocophérol, les caroténoïdes (Sánchez- Rodriguez *et al.*, 2011).

#### **2.1.3.5. Priming et formation des espèces réactives d'oxygène**

Les tests cytochimiques effectuée par Boucelha (2015) révèlent que les traitements de prégermination stimulent la production des espèces réactives d'oxygène au niveau des tissus embryonnaires et essentiellement au niveau des zones meristématiques ce qui prouve la forte activation de la division cellulaire au cours du priming.

#### **2.1.3.6. Priming et accumulation des osmolytes**

Sur le plan physiologique, des études antérieures ont bien montré que le traitement de prégermination stimule la biosynthèse et l'accumulation des osmolytes tels que la proline libre et les sucres solubles (saccharose, tréhalose, fructose, ribose,..) afin d'assurer l'ajustement osmotique en conditions stressantes (Boucelha, 2015). Ainsi qu'une stimulation de la biosynthèse des osmolytes au niveau des embryons ceci étant corrélé avec une forte expression génétique et à des niveaux élevés de l'ARNm (Gelormini, 1995).

#### **2.1.3.7. Priming et génome**

Les modifications physiologiques et biochimiques provoquées par le traitement de prégermination sont fortement régulées et contrôlées par l'expression de nombreux gènes. Certaines conséquences de l'endurcissement sont peut-être dues à la méthylation de l'ADN ou à la conformation spatiale de la chromatine. Ainsi, les phénomènes épigénétiques sont d'une importance capitale pour la compréhension de nombreux phénomènes en biologie des plantes ; ils jouent un rôle déterminant dans l'adaptation des plantes à leur environnement (Hebrard, 2012). Ces changements épigénétiques sont modulés lors du développement et de l'exposition au stress, résultant en un mécanisme de défense plus efficace (Bruce *et al.*, 2007 ).

### **2.2. Stress hydrique**

Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.*, 2003). Lors d'un déficit

hydrique, différents mécanismes adaptatifs sont mis en jeu par la plante pour maintenir un état hydrique favorable et/ou tolérer la déshydratation (Maury et *al.*, 2011).

### **2.2.1. Effet du stress hydrique sur la germination**

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 glycéraldéhyde-3-déshydrogénase cytotogiques est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycose (Velasco et *al.*, 1994).

Selon Bray et *al.* (1989), De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoi que 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.

### **2.2.2. Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production**

Dans les conditions de déficit hydrique, il ya un ralentissement des activités biologiques à plusieurs niveaux : métabolisme, croissance et turgescence. Le stress hydrique fait réduire le nombre de feuilles par plante, la surface foliaire et la longévité des feuilles (Atti, 2002; Shao et *al.*, 2008). Du point de vue agronomique, la réduction du nombre de grains et la réduction du rendement sera toujours observée (Tardieu et *al.*, 2006).

### **2.2.3. Stratégies d'adaptation les plants pour tolérer le déficit hydrique**

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique. Le maintien de la turgescence lors d'un déficit hydrique permet de retarder la fermeture des stomates (Mojayad et Planchon, 1994), de maintenir le volume chloroplastique (Gupta et Berkowitz, 1987) et de réduire le flétrissement foliaire (Jones et Turner, 1980). Cette aptitude confère à la plante une meilleure tolérance au déficit hydrique interne (Ludlow et *al.*, 1983). Cette tolérance au déficit hydrique interne permet un fonctionnement prolongé de la photosynthèse. Les produits carbonés peuvent alors être

utilisés autant pour l'ajustement osmotique que la croissance racinaire. Une autre conséquence du maintien du métabolisme carboné sera une diminution de la fréquence des épisodes de photoinhibition (Maury *et al.*, 1996).

# **Partie expérimentale**

# **Chapitre 3**

## **Matériel et méthodes**

## Chapitre 3 : Matériel et méthodes

### 3.1. Matériel Végétal

L'expérimentation est menée sur trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) Ain Ben Naoui Biskra.

Ces variétés sont: Q102, Giza1, Quinoa noir (Figure 1).

D'origine: United States Département of Agriculture (USDA) Département de l'Agriculture des Etat



**Figure 1** : Les graines des différentes variétés de quinoa étudiées.

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

### 3.2. Protocole expérimental

Le présent travail vise à déterminer les effets de l'hydropriming (un cycle de redéshydratation) et du double hydropriming (deux cycles de redéshydratation) sur la germination des graines de 3 variété de quinoa et la tolérance au stress hydrique par l'ajout du polyéthylène glycol (PEG 20000) à différentes potentiel osmotique pendant une duré de 7 Jour.

#### 3.2.1. Application du traitement prégerminatif (endurcissement ou amorçage)

Pour chaque variété, les graines de quinoa choisies doivent être saines, ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme.

➤ **Traitement à une seule redéshydratation (Hydropriming)**

Les graines de chaque variété ont subi une simple redéshydratation qui consiste à imbiber dans de l'eau distillée pendant 6 heures (6 h hydro). Cette imbibition est suivie d'un séchage à T° ambiant jusqu'à ce que les graines reprennent leur poids initial.

➤ **Traitement à double redéshydratation (Double hydropriming)**

Les semences a subi un double hydropriming c'est à dire que les graines sont imbibées dans de l'eau distillée pendant 3 heures puis redéshydratées et cette opération est répétée une deuxième fois (3 h double hydro).

➤ **Témoin** = aucun traitement avant la mise en germination.

### 3.2.2. Préparation des solutions de PEG

La solution de PEG à un potentiel osmotique donné, est préparée en faisant dissoudre la quantité de PEG 20000 dans l'eau distillée. Les solutions à préparer de différent niveau sont : (- 0.5Mpa, - 1Mpa, - 1.5Mpa) en plus du 0Mpa (eau distillée) comme témoin. Le PEG est un polymère non ionique hydrosoluble non perméable pour les cellules. Il est utilisé pour induire un déficit hydrique car il réduit la disponibilité en eau sans causer de dommage physiologique (Romo et *al.*, 2001).

### 3.2.3. Mise à germination

Pour chaque variété, les graines traitées (hydropriming, double hydro) ou pas (témoin) au nombre de 25, sont désinfectées à l'eau de javel pendant 10 min, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises à germer dans des boites de pétri, ces dernières sont tapissée par trois couches de papier filtre.

Dans un cas, nous avons imbibé les boites contenant des graines avec 10 ml de l'eau distillée (témoin), dans les autres cas, nous avons ajouté 10 ml de solution à différent potentiel osmotique de PEG20000 (stress hydrique). Chaque traitement est répété trois fois.

Les boites sont mises à l'obscurité dans un incubateur pour les cultures végétales à une température de 25°C pour une période de 7 jours. La germination est repérée par la sortie de

la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (Daur, 2018).

### 3.3. Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

#### 3.3.1. Taux de germination finale

Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (Oukara et *al.*, 2017)

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

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

Ni : nombre des graines germées.

Nt : nombre totale de graines utilisées.

#### 3.3. 2. Cinétique de germination

Elle est exprimée par le nombre de graines germées à 24, 48, 72 et 96 h après le début de l'expérience. C'est un paramètre qui permet de mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des variétés étudiées ainsi que 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 (Hajlaoui et *al.*, 2007).

#### 3.3.3. Longueur des racines et des epicotyle

La longueur de la racine primaire et celle de l'épicotyle ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée (Camara et *al.*, 2018).

### 3.4. Analyse statistique

Les expériences ont été répétées au moins trois fois. L'analyse de la variance (ANOVA) est effectuée par la comparaison des moyennes est faite par ANOVA 3 au seuil de probabilité de 5 % à l'aide de XLSTAT-Excel 7.

# **Chapitre 4**

## **Résultats et discussion**

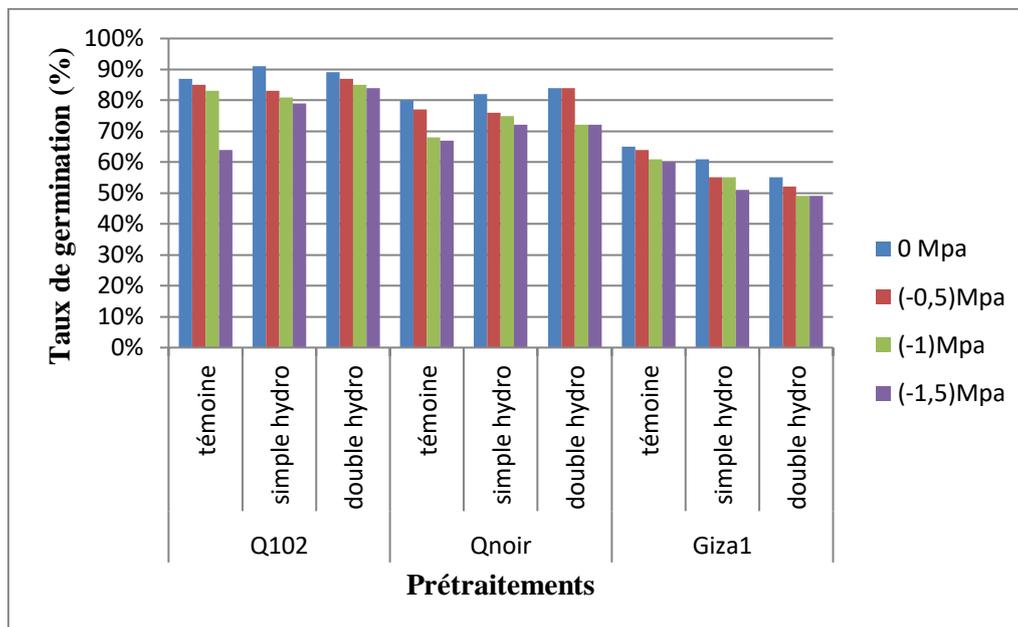
## Chapitre 4 : Résultats et discussion

### 4.1. Résultats et discussion

#### 4.1.1. Taux de germination

Le taux de germination, en conditions de stress hydrique, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées.

La figure 2 présente les variations du taux de germination, des différentes variétés du quinoa étudiées (Q102, Q noir, Giza 1) en fonction de différents niveaux de stress hydrique.



**Figure 2:** Effets du hydropriming sur le taux de germination chez trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique.

En effet, elle montre que, quelle que soit la variété, l'hydropriming permet l'accélération du taux de germination des semences de quinoa en conditions de germination favorables (eau Distillée) et même en conditions de stress hydrique (-0.5, -1, -1.5Mpa).

Nous observons que les graines primées (simple et double hydro) ont un taux de germination plus élevé comparativement aux graines non traitées (témoin) avec des différences significatives.

En conditions normales (témoin) quelle que soit le traitement les trois variétés marquent les meilleures valeurs de taux de germination qui varient de (100 %).

Sous l'effet du déficit hydrique, pour les deux niveaux de stress (-0.5, -1Mpa) on remarque une diminution considérable de %TG de l'ordre (60%) chez la variété Giza1 comme valeur minimale et de (70%) pour la variété Qnoir et (80%) pour la variété Q102 comme valeur maximale.

Lorsque l'intensité du stress est élevée à (-1.5Mpa), toutes les variétés traitées Q102 (Simple78%-double 83%), Qnoir (Simple70%- double 72%), Giza1 (Simple 48%- double 51%) montrent des taux de germination élevé par rapport aux témoins (variété non primées). Mais, cette amélioration dépend étroitement du type d'amorçage. Et un double cycle de redéshydratation est plus efficace pour améliorer les performances germinatives du quinoa.

L'analyse de la variance ANOVA à trois facteurs qui sont : l'effet du stress hydrique avec quatre niveaux de (0, -0.5, -1, -1.5 Mpa), et l'effet variétale avec trois variétés (Q102, Qnoir, Giza1), et l'effet de hydropriming sur la variation du taux de germination, montre des différences fortement significatives (Tableau 3).

**Tableau 3.** Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Q102)

Source	Somme des carrés de type	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Jour	5415,413	6	902,569	301,255	,000
Concentration	102,361	3	34,120	11,389	,000
Concentration * traitement	79,627	6	13,271	4,430	,000

**Tableau 4.** Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Q noir)

Source	Somme des carrés de type	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Jour	597,446	6	99,574	43,350	,000
Concentration	306,498	3	102,166	44,478	,000
Concentration * traitement	43,949	6	7,325	3,189	,006

**Tableau 5.** Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Giza1)

Source	Somme des carrés de type	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Jour	3450,211	6	575,035	150,459	,000
Concentration	395,111	3	131,704	34,460	,000
traitement	39,093	2	19,547	5,114	,007
Jour * Concentration	427,184	18	23,732	6,210	,000
Concentration * traitement	218,475	6	36,412	9,527	,000
Jour * traitement	229,601	12	19,133	5,006	,000

#### 4.1.2. Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des variétés étudiées, le nombre de graines germées ont été compté quotidiennement jusqu'au 7ème jour de l'expérience.

Les figures (3, 4, 5) présentent l'évolution de la germination de trois variétés (Q102, Q noir, Giza1) de quinoa en fonction du temps pour l'ensemble des traitements. Les résultats montrent que les courbes relatives aux taux de germination des graines traitées (stressées) sont situées au-dessous de celles des courbes témoins et se diminuent au fur et à mesure que le niveau de stress hydrique augmente.

Les courbes de germination permettent de distinguer 2 phases :

-Une phase sensiblement linéaire: nous observons que la cinétique de la germination était identique pour les niveaux -0.5, -1 et -1.5 Mpa, la germination a été déclenchée dans les premiers jours comparativement au témoin.

Sous l'effet du déficit hydrique, pour les trois niveaux de stress (-0.5, -1, -1.5Mpa) on remarque une augmentation rapide du taux de germination qui évolue proportionnellement au temps.

-Une deuxième phase correspondant à un palier représentant le pourcentage final de

germination et traduisant la capacité germinative de chaque variété et pour chaque niveau de stress hydrique. Mais, pour le niveau -1.5Mpa cette capacité germinative diminue pour les graines non primée (témoin) de toutes les variétés étudiées avec des degrés différents.

En effet, elle montre que, quelle que soit la variété, nous observons que les graines primées (simple et double hydro) ont un taux de germination plus élevé comparativement aux graines non traitées (témoin) en conditions normales (témoin) et même en conditions de stress hydrique (-0.5, -1, -1.5Mpa).

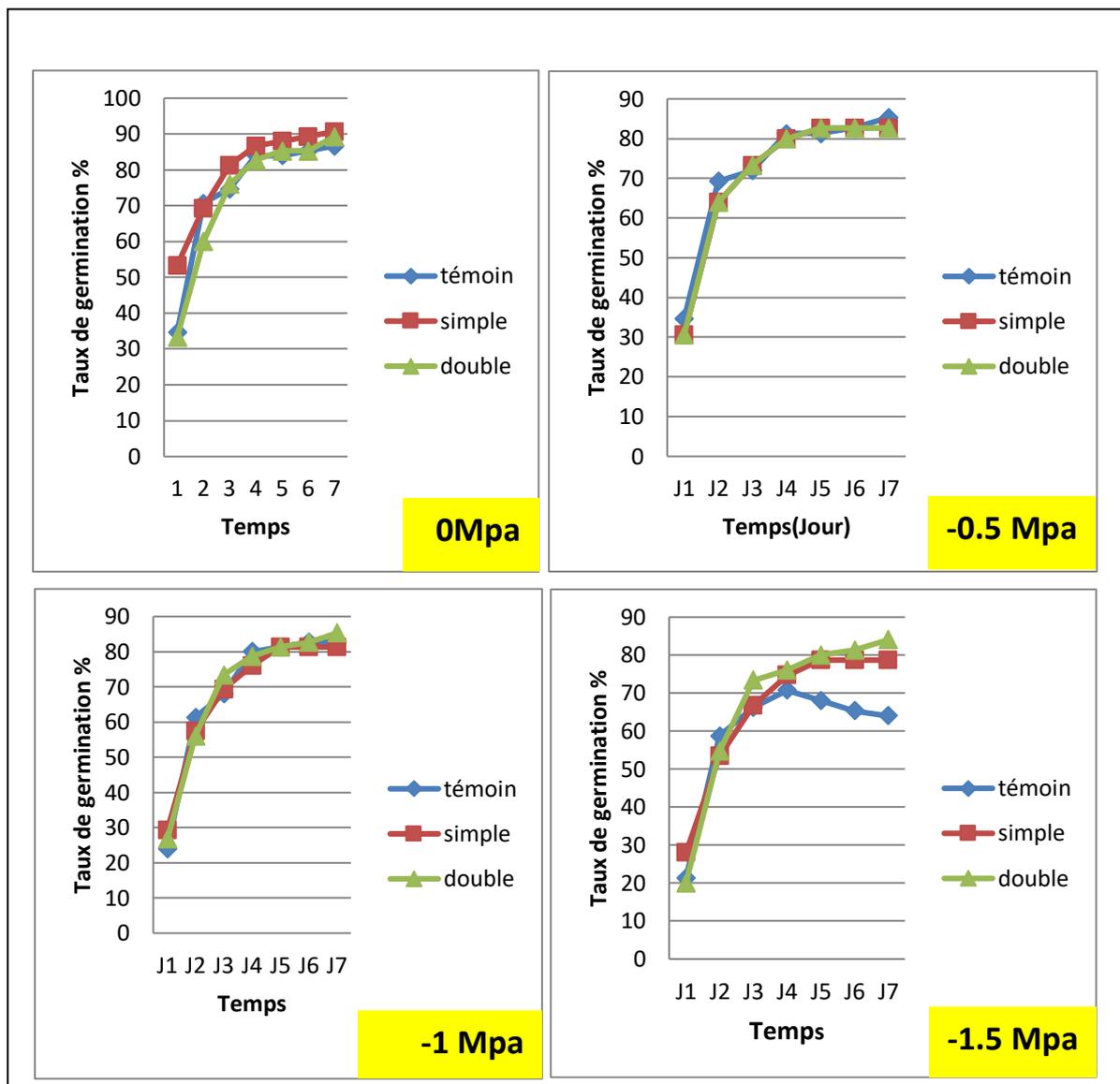


Figure 3 : Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Q102) sous l'effet des différents niveaux du stress hydrique.

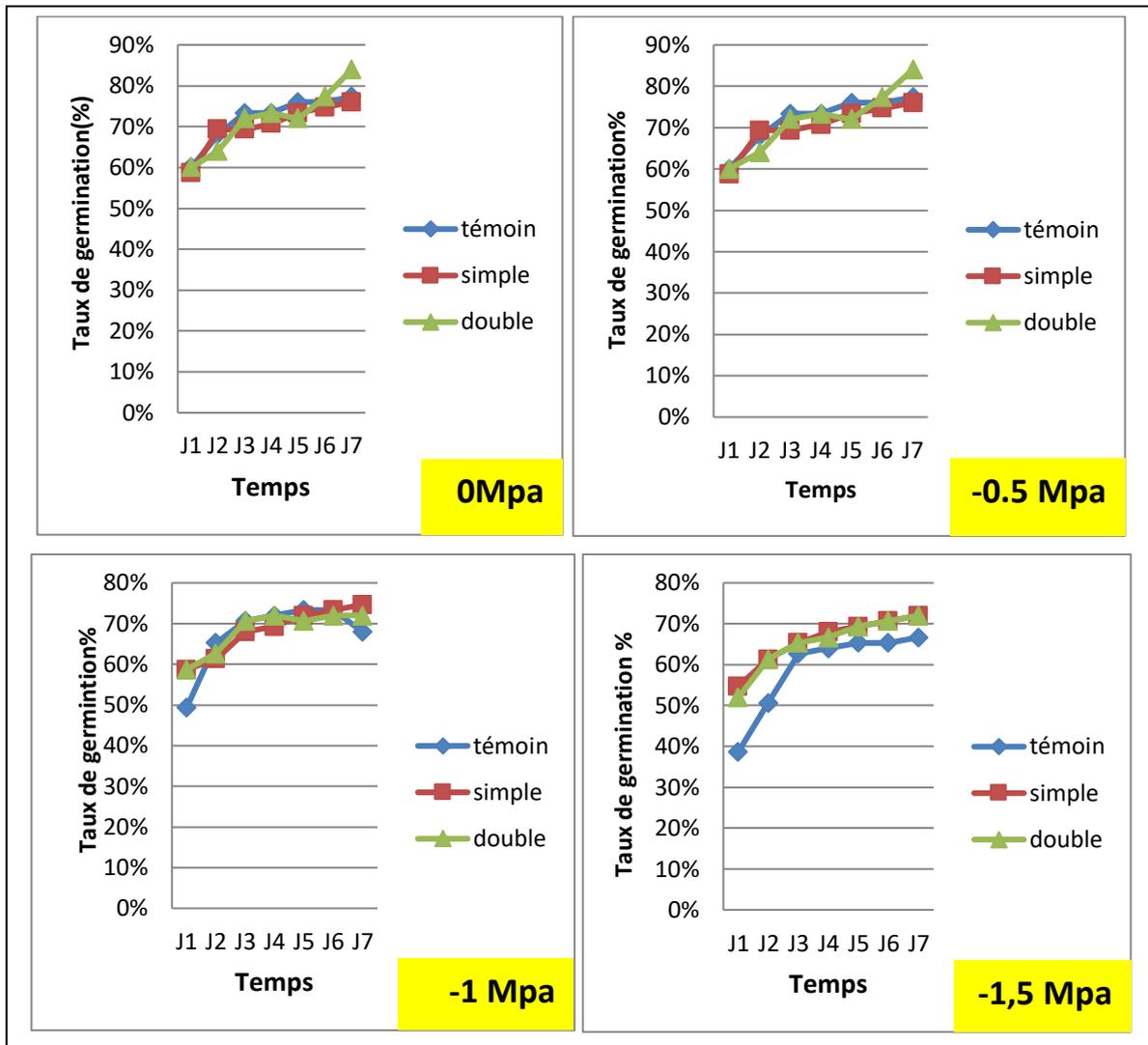
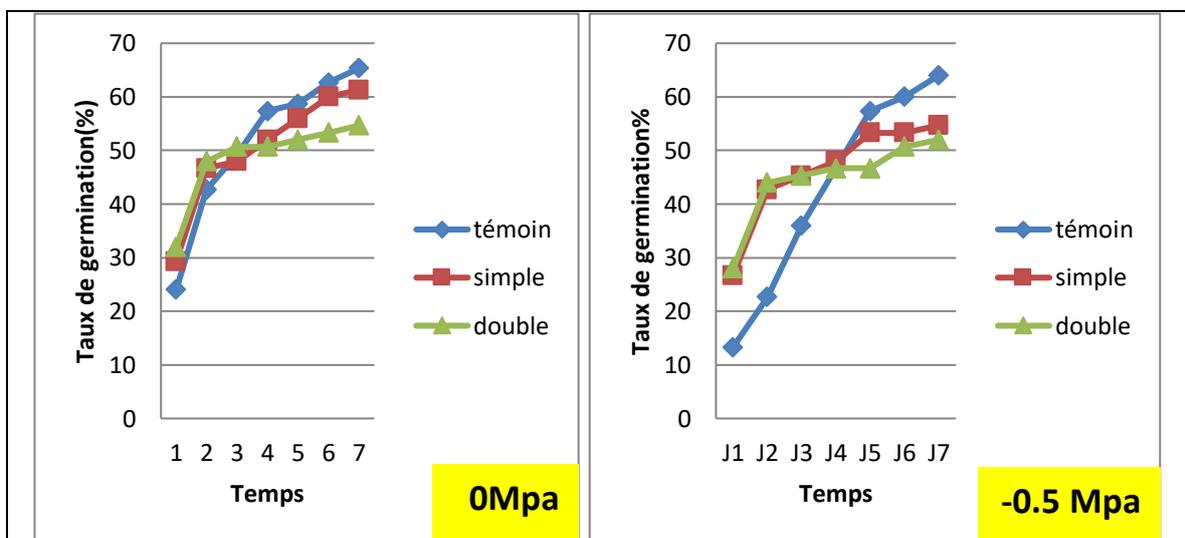
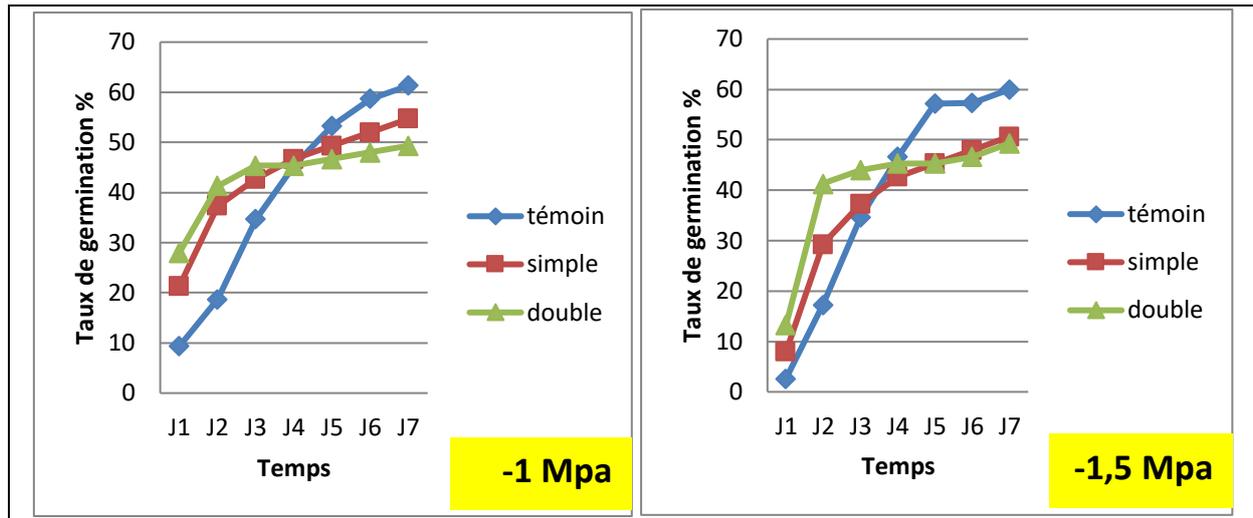


Figure 4 : Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Noir) sous l'effet des différents niveaux du stress hydrique.





**Figure 5 :** Effets du hydropriming sur la cinétique de la germination de quinoa (variété Giza1) sous l'effet des différents niveaux du stress hydrique

On remarque que la variété Q102 est la plus tolérante au stress hydrique et évolue plus rapidement que les autres variétés, alors que la variété la plus sensible est Giza1.

La variété Q noir a un comportement intermédiaire.

Enfin, Nos résultats montrent qu'en conditions favorables ou stressantes, l'endurcissement améliore la cinétique de la germination de quinoa (3 variété). Et un double cycle de redéshydratation (double hydro) est plus efficace qu'un cycle de redéshydratation (simple hydro) pour améliorer les performances germinatives.

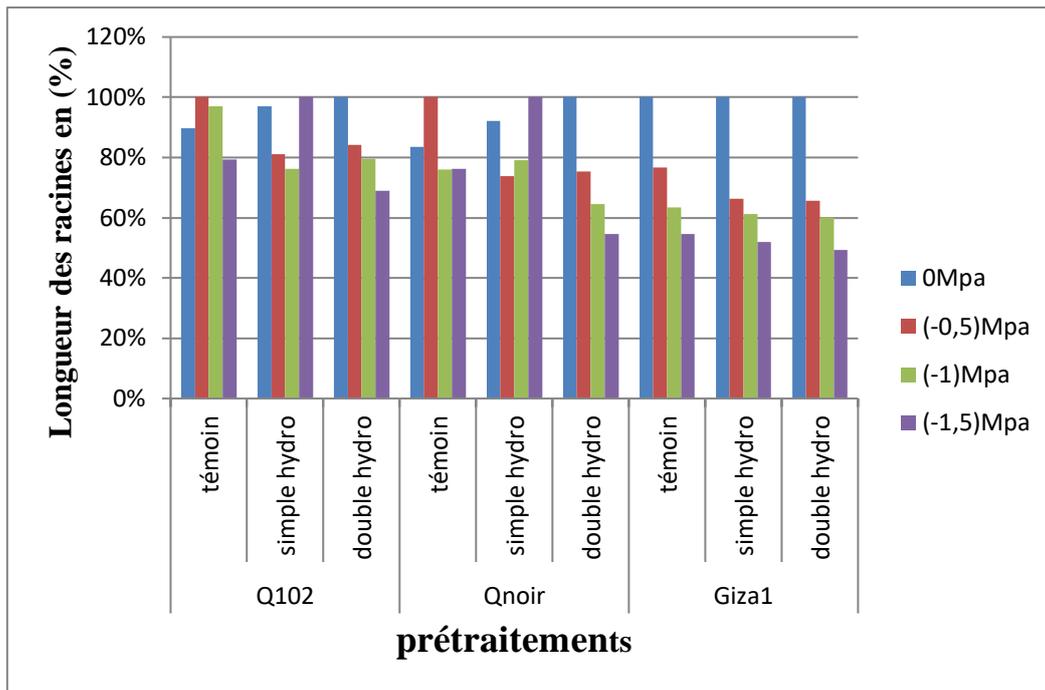
#### 4.1.3. Longueur des racines et des épicotyles

Les résultats de l'évolution du système racinaire et foliaire, sous différents niveaux de stress hydrique, sont présentés dans les figures 6 et 7.

##### 4.1.3.1. Longueur des racines

La figure 6 présente les résultats de l'étude de l'effet de hydropriming sur le développement de la longueur des racines des trois variétés de quinoa en conditions de stress hydrique.

En premier lieu, nos résultats indiquent que le stress hydrique par le PEG 20000 provoque une diminution significative de la croissance des racicules comparativement aux racicules issues des graines ayant germé dans des conditions normales.



**Figure 6 :** Effets du hydropriming sur la longueur des racines des trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique.

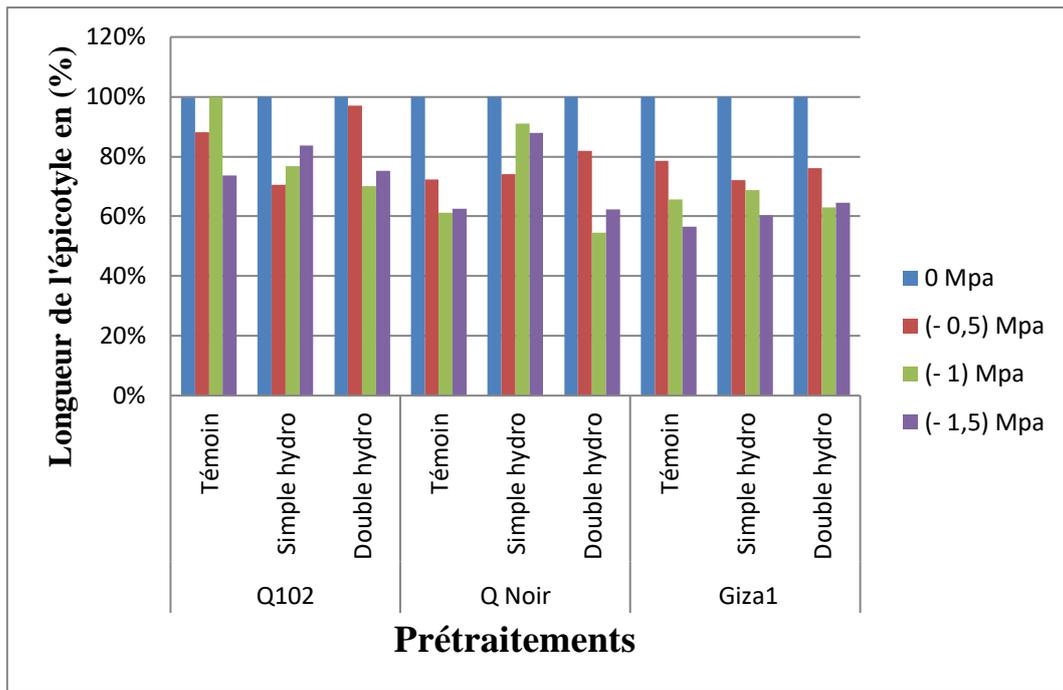
A la concentration de (- 0,5) Mpa la longueur des racines est légèrement affectée par rapport au témoin (Figure 6). En revanche, l'effet de stress hydrique sévère est très marqué par rapport aux autres concentrations, de façon graduellement décroissant surtout pour la niveau de stress (- 1,5) Mpa.

En second lieu, les résultats obtenus révèlent que ce soit en conditions favorables ou stressantes, l'hydropriming permet l'augmentation de la croissance des racines. En revanche, nous remarquons que plus on augmente le cycle de redéshydratation (double hydro).

#### 4.1.3.2. Longueur des épicotyles

La figure 7 présente les résultats de l'étude de l'effet de hydropriming sur le développement de la longueur des épicotyles des trois variétés de quinoa en conditions de stress hydrique.

Nos résultats indiquent que le stress hydrique par le PEG 20000 provoque une diminution significative de la croissance d'épicotyles comparativement aux épicotyles issues des graines ayant germé dans des conditions normales.



**Figure 7:** Effets du hydropriming sur la longueur des épicotyles des trois variétés de quinoa en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Les résultats obtenus révèlent que ce soit en conditions favorables ou stressantes, l'hydropriming permet l'augmentation de la croissance des racines. En revanche, nous remarquons que plus on augmente le cycle de redéshydratation (double hydro).

Les données des figures 6 et 7, on remarque que la variété Q102 est la plus développée, comparativement aux autres variétés.

## 4.2. Discussion

La production végétale et l'établissement de bonnes cultures agricoles dépendent étroitement de la germination des semences qui est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs (Cheng et Bradford, 1999).

D'après la présente étude, nous constatons que quelque soit le type de traitement, l'endurcissement améliore les performances germinatives du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) d'une manière hautement significative ( $p < 0.001$ ). Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Maroufi et *al.* (2011), Singh et *al.* (2011) et Fabunmi et *al.* (2012) qui ont, également, observé que l'amorçage améliore les performances et la vigueur du niébé en conditions stressantes et non stressantes. Cependant, ce qui est inédit par rapport à toutes les autres études antérieures, c'est l'application d'un nouveau type d'amorçage qui est le double hydropriming consistant à procéder à deux cycles de redéshydratation.

Nos résultats montrent que ce double hydropriming est meilleur qu'un simple hydropriming. Ceci pourrait être expliqué par le fait qu'une double redéshydratation permettrait de déclencher et de réguler des processus pré-germinatifs et d'induire, également, une forte activation de certains gènes responsables de la tolérance au stress hydrique (Tanou et *al.*, 2012). Ceci semble correspondre à une forme d'acclimatation (de l'embryon) sachant que l'acclimatation représente des modifications épigénétiques se produisant lors d'une exposition graduée et prolongée à un stress ce qui améliore la capacité à maintenir une homéostasie dans de nouvelles conditions (in Djebbar, 2012). En outre, il a été émis l'hypothèse que l'amorçage implique l'accumulation de composants de signalisation latentes qui seront utilisés lors d'une nouvelle exposition à un stress (Beckers et *al.*, 2009 ).

Cette hypothèse explique ce que certains auteurs (Bruce et *al.*, 2007; Tanou et *al.*, 2012) décrivent comme des mécanismes moléculaires qui permettent aux plantes de mémoriser les événements d'amorçage précédents et de générer, ensuite, des empreintes de mémoire lors de l'établissement de l'amorçage.

Notre étude indique, également, que l'effet de l'amorçage dépend étroitement du type et de la durée du traitement. Ceci a été déjà suggéré par Ghassemi- Golezani et *al.* (2008). Ainsi, La durée d'hydro-amorçage (durant la phase réversible de la germination) diffère selon les espèces végétales.

Nos mesures permettent de conclure que la diminution du potentiel hydrique stimule le développement des racines en profondeur et ce à la recherche de l'eau, ce qui implique le développement de la partie racinaire en dépit de la partie aérienne (Bizid et *al.*, 1988).

En conditions de stress hydrique (PEG 20000), les graines non traitées ont une capacité germinative et un taux de survie trop faible, ainsi qu'une croissance limitée des radicules et épicotyles. En effet, Demir et *al.* (2006) ont rapporté que les semences soumises à des contraintes de plus de -2 MPa, ne peuvent pas absorber des quantités suffisantes en eau et en oxygène qui permettent la croissance de l'embryon. Par contre, notre étude révèle que l'endurcissement permet d'améliorer les performances germinatives et la croissance des radicules en conditions osmotisantes. Ces résultats rejoignent ceux de Kaya et *al.* (2006).

Par conséquent, les effets bénéfiques de l'amorçage peuvent être plus efficaces sous des conditions défavorables plutôt que des conditions favorables (Parera et Cantliffe, 1994; Bradford, 1995). Ainsi, l'amorçage peut être utile pour atténuer les effets néfastes de la sécheresse et améliorer la germination dans un environnement de stress hydrique.

En effet, l'objectif de la présente étude était d'augmenter la germination des graines et le début de croissance, dans laquelle l'amélioration des racines et d'épicotyles et des poids frais des semis ont été observés avec traitements d'amorçage.

De plus, il a été observé que l'hydropriming a fortement amélioré ces paramètres et a donné les plus grandes longueurs de racines et épicotyles déjà montrés par Daur (2018).

# **Conclusion**

## **Conclusion**

Ce travail avait pour but de contribuer à l'étude des effets de l'hydropriming des graines de trois variétés de quinoa sur la germination en conditions favorables et stressantes,

A l'issue de cette étude nous pouvons conclure que l'hydropriming des graines de quinoa permet l'amélioration des performances germinatives et la croissance des racicules et épicotyles sous des conditions favorables et stressantes (PEG 20000).

Le double hydropriming, traitement inédit, offre les meilleurs résultats. Nous pouvons, ainsi dire, que cette double redéshydratation pourrait représenter une méthode très efficace pour l'amélioration de la production végétale et en particulier dans des conditions hydriques défavorables. C'est une technique simple et peu coûteuse, qui évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être indésirables pour l'environnement et la santé humaine.

Certaines conséquences de l'endurcissement, en particulier du double hydropriming, sont peut être dues aux phénomènes épigénétiques qui jouent un rôle déterminant dans l'adaptation des plantes à leur environnement.

Toutes les variétés de quinoa se montrent tolérantes au stress hydrique. On peut classer les variétés de quinoa selon leur tolérance au stress hydrique comme suit Q102 suivi de Qnoir et enfin, Giza1 qui s'enregistre la plus sensible.

Enfin, cette étude devrait être complétée par des expérimentations sur le champ afin de confirmer l'effet de hydropriming sur la tolérance et la productivité de ces variétés.

# **Référence bibliographiques**

## Référence bibliographique

- Adolf V., Jacobsen S. E., Sahbala S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environ, Exp.Bot.* 92 : 43-54
- Ahmed Z., Sheikh M. A., Hameed A., Salah ud Din. 2012. Investigation of antioxidant enzymes and biochemical changes in the wheat seeds (freed) induced by different pre-sowing treatments. *World Appl. Sci. J.* 18(1): 31-36.
- Ansari O., Azadi M. S., Sharif-zadeh F. and Younesi E. 2013. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. *J. Stress Physiol Biochem* 9: 61-71.
- Aslam M., Khan I. A., Saleem M. and Ali Z. 2006. Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pak. J. Bot.* 38(5): 1571 -1579.
- Atici O., Agar G. and Battal P. 2003. Interaction between endogenous plant hormones and alpha-amylase in germinating chickpeas seeds under cadmium exposure. *Fresenius Environ Bull* 12: 781-785.
- Atti S. 2002. Assessment of soybean (*glycine max* (l.) merr.) water stress, lipochito oligosaccharides application and spectral response. These Master, Département of Agricultural and Biosystems Engineering Macdonald Campus of Mc Gill, University Montreal, Canada, 128p.
- Ayala G., Ortega L., Moron C. 2001. Valor nutritivo y usos de la quinua. *Quinua* (*Chenopodium*).
- Basra S. M. A. et al. 2006. Alleviation of salinity stress by seed invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Seed Technol* 28:36-46.
- Basra S. M. A., Pannu I. A., Afzal I. 2003. Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, 5(2): 121-123.

- Beckers G.J.M., Jaskiewicz M., Liu Y., Underwood W.R., He S.Y., Zhang S., Conrath U. 2009. Mitogen-activated protein kinases 3 and 6 are required for full priming of stress responses in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*. 21: 944-953.
- Benes E., Cerespo F. et Madrigal K. 2001. The quinoa cluster. Competitive; diagnosis and strategic recommendations. pp.54
- Bizid E., Zid E., Grignon C., 1988. Tolérance à NaCl et sélectivité K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> chez les Triticales, *Agronomie* 8(1) :23-27.
- Boucelha L. 2015. Compréhension des mécanismes régissant l'endurcissement des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Thèse de Doctorat, Université Houari Boumediene, Alger, Algérie, 166p.
- Boucelha L., Djebbar R. 2015. Influence de différents traitements de prégermination des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sur les performances germinatives et la tolérance au stress hydrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 19(2): 132-144.
- Boucelha L., Djebbar R. and Abrous-Belbachir O. 2019. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Seed priming is related to redox status of plumule, radicle and cotyledons. *Functional Plant Biology*., DOI : 10.1071/FP18202.
- Brack Egg A., 2003. Perú: diez mil años de domesticación. Lima: Editorial Bruño.
- Bradford K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science* 21: 1105-1112.
- Bray C. M., Davison P. A., Ashraf M., Taylor R. M. 1989. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Manchester, Oxford Road, *Annals of Botany*. 63: 185-193.
- 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.
- Bruce T. J. A., Matthes M. C., Napier J. A., Pickett J. A. 2007. Stressful "memories" of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science* 173:603-608.

- Camara B., Sanogo S., Cherif M., Kone D. 2018. Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *J. Appl. Biosci.* 124: 12424-12432.
- Cardozo A., and Tapia M. 1979. "Valor nutritivo." *Quinoa y Kaniwa. Cultivos Andinos. Serie libros y Materiales educativos.* Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogota, Columbia 49: 149-192
- Cercam 2014. Fiche de synthèse quinoa Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc.
- Chawla N., Kaur H., Pathak M., Chawla R. 2014. Effect of different seed priming treatments on activity and isozyme pattern of antioxidant enzymes in okra. *Int. J. Advanced Research* 2(10): 662-670.
- Cheng Z., Bradford K. J. 1999. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *J. Exp. Bot.* 33 :89-99
- Côme D. 1970. *Les obstacles à la germination.* Masson et Cie. 162 pp.
- Davison P. A. et Bray C. M. 1991. Protein synthesis during osmopriming of leek (*Allium porrum*) seeds. *Seed Sci. Res.* 1: 29-35.
- De Castro R. D. et al. 2000. Cell division and subsequent radicle protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. *Plant Physiol.*122:327-335.
- Dell'Aquila A. et Bewley J. D. 1989. Protein synthesis in the axes of polyethylene glycol-treated pea seeds and during subsequent germination. *J. Exp. Bot.* 40:1001-1007.
- Demir Kaya M., Atak M., Çikili Y., Kolsarici Ö. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annulus L.*). *Eur. J. Agronomy.*, 24: 291-295.

- Daur I. 2018. Effects of hydro and hormonal priming on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seed germination under salt and drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 50(5) : 1669-1673.
- Fabunmi T. O., Gbadamosi B. K., Adigbo S.O. 2012. Seed Hydro-Priming and Early Moisture Stress Impact on Biomass Production and Grain Yield of Cowpea. *J. Applied Science and Technology*, 2(10): 112-122.
- FAO 2011. Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security. <http://www.fao.org/docrep/017/aq287e/aq287e.pdf>, consulté le 21 novembre 2014.
- Feillet P. 2000. Le grain de blé, composition et utilisation, Paris, 303 p
- Gandarillas H. 1979a. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Botánica. In: Tapia M.E. et al., eds. *La Quinoa y la Kañiwa cultivos andinos*. Bogota: CIID-IICA, 20-44.
- Gelormini G. 1995. Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initialisation: aspects méthodologiques et fondamentaux, Thèse nouveau doctorat, 171 p.
- Ghassemi-Golezani K., Sheikhzadeh-Mosaddegh P., Valizadeh M. 2008. Effects of hydro-priming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Res. J. Seed Sci.* 1: 34-40.
- Gratão P. L., Polle A., Lea P. J. and Azevedo R. A. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Funct Plant Biol* 32: 481-494.
- Gupta S. A., Berkowitz G. A. 1987. Osmotic adjustment, symplast volume, and nonstomatally mediated water stress inhibition of photosynthesis in wheat. *Plant Physiology* 87:1040-1047.
- Hajlaoui H., Denden M. et Bouslama M. 2007. Etude de la variabilité intra spécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura* 25(3) : 168-173.

- Harris D. et al. 2002. Prospects of improving maize yields with 'on-farm' seed priming. In: Rajbhandari N.P., Ransom J.K., Adikhari K. & Palmer A.F.E., eds. Sustainable maize production systems for Nepal. Kathmandu: NARC & CIMMYT, 180-185.
- Hebrard C. 2011. Contrôle épigénétique de l'induction et de la tolérance à la montaison chez la betterave sucrière. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France, 285 p.
- 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.
- Heydecker W., Higgins J. et Gulliver R. L. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature* 246:42-44
- Hu Y. F., Zhou G., Nax F., Yang A., Nan W., Zhang Y., Lijl and Biyr. 2013. Cadmium interferes with maintenance of auxin homeostasis in Arabidopsis seedlings. *J. Plant Physiol.* 170: 965-975.
- Hussain S., Khan F., Hussain H. A. and Nie L. 2016. Physiological and Biochemical Mechanisms of Seed Priming-Induced Chilling Tolerance in Rice Cultivars. *Front. plant Sci.* 7 :116.
- Ingram J., Bartels D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Ann. Rev. Plant Physio. Plant Mol. Biol.* 47 : 377-403.
- Izquierdo F. J.I. et al. 2001. Cultivos andinos, Version 1.0. [CD-ROM]. Santiago: FAO, <http://www.rlc.fao/org/es/agricultura/pubs.html>.
- Jacobsen S. E., Mujica A. and Jensen C. R. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews international* 19, pp. 99-109.
- Johnson R., Aguilera R. 1980. Processing Varieties of Oilseeds (Lupine and Quinoa), In: Report to Natural Fibers and Foods Commission of Texas, 1978- 1980 (Reported by D. Cusack, 1984, *The Ecologist*, vol. 14, pp. 21-31.
- Jones M. M., Turner N.C. 1980. Osmotic adjustment in expanding and fully expanded leaves of sunflower in response to water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 181–192.

- Jowkar M., Ghanbari A., Moradi F., Heidari M. 2012. Alterations in seed vigor and antioxidant enzymes activities in *Silybum marianum* under seed priming with KNO<sub>3</sub>. *J. Med. Plants Res* 6(7): 1176-1180.
- Kaya M. D., Okcu G., Atak M., Cikili Y., Kolsaric O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Europ. J. Agronomy.*, 24: 291-295.
- Koziół M. 1992. "Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)." *Journal of food composition and analysis* 5(1): 35-68
- Ludlow M. M., Chu A. C. P., Clements R.J., Kerlake R.G. 1983. Adaptation of species of *Centrosema* to water stress. *Aust. J. Plant Physiol* 10:119-130.
- Maroufi K., Farahani H.A., Moradi O. 2011. Increasing of seedling vigor by hydro priming method in cowpea (*Vigna sinensis* L.) *Advanc. In Environ. Bio*, 5(11): 3668-3671.
- Masood A., Iqbal N. and Khan N. A. 2012. Role of ethylene in alleviation of cadmium-induced capacity inhibition by sulphur in mustard. *Plant Cell Environ* 35: 524-533
- Maury P., Langlade N., Grieu P. et al. 2011. Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques* 14:123-138
- Maury P., Mojayad F., Berger M., Planchon C. 1996. Photosynthesis response to drought acclimation in two sunflower genotypes. *Physiologia Plantarum* 98:57-66.
- Mazliak P. 1982. Croissance et développement. *Physiologie végétale II*. Hermann éd., Paris, Collection Méthodes, 465p.
- Mazliak P. 1998. *Physiologie végétale II : Croissance et Développement*. Hermann ed, Paris.

- Mc Donald M. B. 2000. Seed priming. In Black M and Bewley J.D. (eds.), Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, England: 287-325.
- Mojayad F., Planchon C. 1994. Stomatal and photosynthetic adjustment to water deficit as the expression of heterosis in sunflower. *Crop Sci.* 34:103–107.
- Moosavi A., Tavakkol-Afshari R., Sharif-Zadeh F. et Aynehband A. 2009. Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars. *J. Food Agric. Environ* 7(3-4): 353-358.
- Mujica A., Canahua A. 1989. Fases fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). In: Curso Taller, Fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. Salcedo, 7-10 agosto, INIAA, EEZA-ILLPA, PICA, PISA. Puno, Perú. p. 23-27.
- Mujica A., Izquierdo J., Marathee J. P. 2001. Origen y descripción de la quinua. In : Mujica A., Jacobsen S. E., Izquierdo J., Marathee J. P. y FAO, editors. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
- Osborne J. M., Fox J. E. D. et Mercer S. 1993. Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). In *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, Springer Netherlands, pp. 323-338.
- Oukara F. Z., Salem K., Chaouch F. Z., Chaouia C., Benrebaha F. Z. 2017. Effet des pretraitements sur la germination des graines du pistachier de l'Atlas *Pistacia Atlantica* Desf. *Alg. J. Arid enviro.*, vol.7, n°2: 49-57.
- Parera C. A., Cantliff D. J. 1994. Presowing seed priming. *Hotric Rev.*, 16: 109-141.
- Raj A. B., Raj S. K. 2019. Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *J. Appl. Natur. Sci.* 11(1): 227-234.

- Rjeib W., Kahlaoui B., Hachicha M. 2015. Effet de l'irrigation avec des eaux salées sur une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Tunisie: Réponses du quinoa aux contraintes hydriques et salées, Editions universitaires européennes, pp.24.
- Romo S., Labrador E., Dopico B. 2001. Water stress-regulated gene expression in *Cicer arietinum* seedlings and plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 39(11): 1017–1026.
- Sánchez-Rodríguez E., Moreno D. A., Ferreres F., Del Mar Rubio-Wilhelmi M., Ruiz J.M. 2011. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry* 72:723–729
- Schlick G., Bubenheim D. L. 1996. Quinoa- candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. *Progress in new crops* (J. Janick, ed.) USA, Arlington (VA). p. 632-640.
- Scott S. J., Jones R. A., Williams W. A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop science* 24(6) : 1192-1199.
- Shabala S., Hariadi Y. and Jacobsen S. E. 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na<sup>+</sup> loading and stomatal density. *Journal of plant physiology*, Vol.170, pp. 906-914.
- Shao H. B., Chu L. Y., Cheruth A. J., Zhao C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies* 331 :2015-225.
- Singh A., Abubakar A.H., Ahmed H.G., Aliyu U., Sokoto M.B., Alhassan J., Musa M., Singh R.B. 2011. Seed hydropriming effects on germination, emergence and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Trends Adv. Sci. Eng.*, 1(3): 37-42.
- Tanou G., Fotopoulos V., Molassiotis A. 2012. Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Frontiers in plant science*, 3 (216): 1 -5.
- Tapia M. E. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.

- Tapia M. E., Gandarillas H., Alandiais., Cardozo A., Mujica A., Ortiz R., et al. 1979. La quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).
- Tardieu F., Zivy M. 2006. Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse. In : Sécheresse et agriculture réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Ed. Expertise scientifique collective, INRA, Paris, 242-257.
- Tarquis A. M., Bradford K. J. 1992. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal of Experimental Botany* 43: 307-317.
- Taylor A. G., Allen P. S., Bennett M. A., Bradford K. J., Burris J. S., Misra M. K. 1998. Seed enhancements. *Seed Science Research* 8: 245-256.
- Taylor A. G., Harman G. E. 1990. Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol* 28: 321-339.
- Taylor A. G., Harman G. E. 1990. Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol* 28 :321-339.
- Varier A., Vari A. K. et Dadlani M. 2010. The subcellular basis of seed priming. *Curr. Sci.* 99:450-456.
- Varier A., Vari A. K., Dadlani M. 2010. The subcellular basis of seed priming. The authors are in the Indian Agricultural Research Institute. *Current Science* 99(4-25): 450-456.
- Velasco R., Salaminif. et Bartlets D. 1994. Dehydratation and ABA increase mRNA levels and enzyme activity of cytosolic GAPDH in the resurrection plant. *Plant mol. Biol.* 26: 541 - 546.
- Vidal A. (INIA), Gladys C. (INIA), Rigoberto E. (INIA), Rember P. (FAO). 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú.

- Wang W.X., Brak T., Vinocur B., Shoseyov O. et Altman A. 2003. Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from Populus. In: Vasil IK Ed. Plant biotechnology 2000 and beyond. Kluwer, Dordrecht, pp. 439-443.
- Wright K., Pike O., et al. 2002. "Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds." Journal of Food Science 67(4): 1383-1385.
- Yari L., Aghaalikani M., Khazaei F. 2010. Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum Aestivum* L.). Journal of Agricultural and Biological Science 5(1): 1-6.

## المخلص

تاريخيا، تم تجربة العديد من الأساليب لتحسين إنتاج المحاصيل. المعالجة هو طريقة فسيولوجية تعمل على تحسين إنتاج النبات عن طريق تعديل الأنشطة الأيضية للإنبات قبل ظهور الجذور.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثيرا لعلاج المائي البسيط و المزدوج على إنبات ثلاثة أنواع من الكينوا .

في ظل ظروف ملانمة و غير ملانمة. تظهر نتانجنا أن العلاج المائي للبذور يحسن أداء الإنبات ونمو الجذور والسويقة. و تتميز المجموعة كينوا 102 بأنها الأفضل لمعظم العوامل التي تمت دراستها .

تدعم دراستنا الاستنتاج القائل بأن العلاج المائي المزدوج هو طريقة فعالة للغاية لتحسين الإنتاج النباتي، خاصة في ظل ظروف الإجهاد المائي.

. الكلمات المفتاحية: الكينوا، العلاج المائي، الإنبات، الإجهاد المائي .

## Résumé

Depuis toujours, plusieurs approches ont été tentées pour améliorer la production végétale. Le priming est une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de simple hydropriming et du double hydropriming sur la germination de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) et la tolérance au différents niveau de stress hydrique (0,-0.5,-1,-1.5 Mpa).

Nos résultats révèlent que l'hydropriming des semences permet l'amélioration des performances germinatives et la croissance des racicules et épicotyles dans des conditions favorables et stressantes. En effet, La variété Q102 ressort comme la plus tolérante au stress hydrique vis-à-vis de la majorité des paramètres étudiés. Notre étude soutient la conclusion que la double hydropriming est une méthode très efficace pour l'amélioration de la production végétale, en particulier dans des conditions de stress hydrique.

**Mots clés :** quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Hydropriming, Germination, Contraint hydrique.

## Abstract

Historically, several approaches have been tried to improve crop production. Priming is a physiological method that improves plant production by modulating the metabolic activities of germination before the emergence of the root.

The objective of this work is to study the effect of single hydropriming and double hydropriming on the germination of three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). And tolerance to different levels of water stress (0, -0.5, - 1, -1.5 Mpa).

Our results show that hydropriming of seeds improves germination performance and the growth of roots and epicotyls under favorable and stressful conditions. In fact, the Q102 variety stands out as the most tolerant to osmotic stress with respect to the majority of the parameters studied. Our study supports the conclusion that double hydropriming is a very effective method for improving plant production, especially under water stressed conditions.

**Key words:** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Hydropriming, Germination, osmotic stress.