



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques

# MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie  
Sciences Agronomiques  
Hydro-pédologie  
Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par : Malti Ilhem

Le : 03 Juillet 2019

## Thème :

Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la croissance et la production  
de trois variétés de quinoa ( *Chenopodium quinoa* Willd.)

---

### Jury :

Mr.Guimer.K	MCB	Université de Biskra	Président
Mme.KASSAIA	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Mr.BENSMINE	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

## Annexes

### Annexe 01 : Les valeurs de la hauteur du plantes en cm (HP)

V	S	HP
V1	S0	30,00
V1	S0	35,00
V1	S0	25,00
V1	S1	18,80
V1	S1	18,00
V1	S1	18,40
V1	S2	17,40
V1	S2	17,00
V1	S2	17,70
V1	S3	15,70
V1	S3	15,00
V1	S3	16,40
V2	S0	29,20
V2	S0	29,00
V2	S0	29,30
V2	S1	19,20
V2	S1	19,00
V2	S1	19,30
V2	S2	18,20
V2	S2	18,00
V2	S2	18,50
V2	S3	16,20
V2	S3	16,00
V2	S3	16,40
V3	S0	36,20
V3	S0	36,00
V3	S0	36,40
V3	S1	25,20
V3	S1	25,00
V3	S1	25,30
V3	S2	24,80
V3	S2	24,00
V3	S2	25,60
V3	S3	23,10
V3	S3	23,00
V3	S3	23,30

**Annexe 02 : Les valeurs de la surface foliaire des plantes (SF)**

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>SF</b>
V1	S0	25,330
V1	S0	25,000
V1	S0	25,660
V1	S1	21,270
V1	S1	21,000
V1	S1	21,540
V1	S2	20,130
V1	S2	20,000
V1	S2	20,260
V1	S3	12,220
V1	S3	12,000
V1	S3	12,440
V2	S0	19,380
V2	S0	19,000
V2	S0	19,760
V2	S1	14,860
V2	S1	14,000
V2	S1	15,720
V2	S2	15,230
V2	S2	15,000
V2	S2	15,460
V2	S3	9,380
V2	S3	9,000
V2	S3	9,760
V3	S0	17,320
V3	S0	17,000
V3	S0	17,640
V3	S1	12,660
V3	S1	12,000
V3	S1	13,320
V3	S2	13,200
V3	S2	13,000
V3	S2	13,400
V3	S3	8,260
V3	S3	8,000
V3	S3	8,520

### Annexe 03: Les valeurs du nombre de ramification par plante

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>Nombre de ramifications</b>
V1	S0	37
V1	S0	30
V1	S0	44
V1	S1	33
V1	S1	30
V1	S1	36
V1	S2	23
V1	S2	20
V1	S2	26
V1	S3	12
V1	S3	10
V1	S3	14
V2	S0	26
V2	S0	20
V2	S0	32
V2	S1	26
V2	S1	20
V2	S1	32
V2	S2	20
V2	S2	21
V2	S2	19
V2	S3	12
V2	S3	10
V2	S3	14
V3	S0	32
V3	S0	30
V3	S0	34
V3	S1	30
V3	S1	30
V3	S1	30
V3	S2	23
V3	S2	20
V3	S2	26
V3	S3	20
V3	S3	20
V3	S3	20

#### Annexe 04: Les valeurs du nombre de panicule par plante

V1	S0	N de panicule
V1	S0	16
V1	S0	10
V1	S1	22
V1	S1	12
V1	S1	10
V1	S2	14
V1	S2	11
V1	S2	10
V1	S3	12
V1	S3	7
V1	S3	5
V2	S0	9
V2	S0	2
V2	S0	20
V2	S1	24
V2	S1	18
V2	S1	10
V2	S2	26
V2	S2	16
V2	S2	10
V2	S3	22
V2	S3	10
V2	S3	7
V3	S0	13
V3	S0	21
V3	S0	20
V3	S1	22
V3	S1	17
V3	S1	10
V3	S2	24
V3	S2	12
V3	S2	10
V3	S3	14
V3	S3	8
V3	S3	4
V3	S3	12

### Annexe 05: Les valeurs du poids de panicule principale

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>Poids de panicule principale</b>
V1	S0	1,220
V1	S0	1,000
V1	S0	1,440
V1	S1	0,900
V1	S1	0,800
V1	S1	1,000
V1	S2	0,820
V1	S2	0,720
V1	S2	0,920
V1	S3	0,650
V1	S3	0,650
V1	S3	0,650
V2	S0	1,580
V2	S0	1,000
V2	S0	2,160
V2	S1	1,080
V2	S1	1,000
V2	S1	1,880
V2	S2	0,900
V2	S2	0,800
V2	S2	1,000
V2	S3	0,850
V2	S3	0,750
V2	S3	0,950
V3	S0	0,200
V3	S0	0,100
V3	S0	0,300
V3	S1	0,150
V3	S1	0,100
V3	S1	0,200
V3	S2	0,100
V3	S2	0,900
V3	S2	0,200
V3	S3	0,100
V3	S3	0,100
V3	S3	0,100

**Annexe 06: Les valeurs du poids de 1000 grains (PMG en g)**

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>poids 1000 grains</b>
V1	S0	2,030
V1	S0	2,000
V1	S0	2,060
V1	S1	2,000
V1	S1	2,000
V1	S1	2,000
V1	S2	1,800
V1	S2	1,000
V1	S2	2,660
V1	S3	1,730
V1	S3	1,000
V1	S3	2,460
V2	S0	2,000
V2	S0	1,000
V2	S0	3,000
V2	S1	1,760
V2	S1	1,000
V2	S1	2,520
V2	S2	1,740
V2	S2	1,000
V2	S2	2,480
V2	S3	1,560
V2	S3	1,000
V2	S3	2,120
V3	S0	1,900
V3	S0	1,000
V3	S0	2,800
V3	S1	1,700
V3	S1	1,000
V3	S1	2,400
V3	S2	1,000
V3	S2	1,000
V3	S2	1,000
V3	S3	0,900
V3	S3	1,000
V3	S3	0,800

## Annexe 07: Les valeurs de la matière sèche aérienne

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>B,S aérienne</b>
V1	S0	5,000
V1	S0	4,000
V1	S0	6,000
V1	S1	3,900
V1	S1	3,000
V1	S1	4,800
V1	S2	3,200
V1	S2	3,000
V1	S2	3,400
V1	S3	3,900
V1	S3	3,000
V1	S3	4,800
V2	S0	4,300
V2	S0	4,000
V2	S0	4,600
V2	S1	4,400
V2	S1	4,000
V2	S1	4,800
V2	S2	4,900
V2	S2	4,000
V2	S2	5,800
V2	S3	3,800
V2	S3	3,000
V2	S3	4,600
V3	S0	4,200
V3	S0	4,000
V3	S0	4,400
V3	S1	4,500
V3	S1	4,000
V3	S1	5,000
V3	S2	4,700
V3	S2	4,000
V3	S2	5,400
V3	S3	4,300
V3	S3	4,000
V3	S3	4,600



## Annexe 08: Les valeurs de la matière sèche racinaire

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>B,S racinaire</b>
V1	S0	0,370
V1	S0	0,300
V1	S0	0,440
V1	S1	0,150
V1	S1	0,100
V1	S1	0,200
V1	S2	0,450
V1	S2	0,450
V1	S2	0,450
V1	S3	0,210
V1	S3	0,200
V1	S3	0,220
V2	S0	0,410
V2	S0	0,400
V2	S0	0,420
V2	S1	0,300
V2	S1	0,200
V2	S1	0,400
V2	S2	0,400
V2	S2	0,300
V2	S2	0,500
V2	S3	0,150
V2	S3	0,100
V2	S3	0,200
V3	S0	0,200
V3	S0	0,150
V3	S0	0,250
V3	S1	0,350
V3	S1	0,300
V3	S1	0,400
V3	S2	0,350
V3	S2	0,300
V3	S2	0,400
V3	S3	0,100
V3	S3	0,100
V3	S3	0,100

**Annexe 09** : Les valeurs de la conductivité électrique du sol après la récolte (ds/m)

<b>V</b>	<b>S</b>	<b>CE</b>
V1	S0	2,650
V1	S0	2,150
V1	S0	3,150
V1	S1	4,920
V1	S1	3,800
V1	S1	6,040
V1	S2	5,070
V1	S2	4,000
V1	S2	6,140
V1	S3	6,220
V1	S3	5,200
V1	S3	7,240
V2	S0	3,730
V2	S0	2,000
V2	S0	5,460
V2	S1	4,920
V2	S1	3,220
V2	S1	6,600
V2	S2	5,120
V2	S2	4,070
V2	S2	6,170
V2	S3	6,120
V2	S3	4,180
V2	S3	8,060
V3	S0	3,330
V3	S0	2,780
V3	S0	3,880
V3	S1	4,130
V3	S1	3,200
V3	S1	5,060
V3	S2	5,240
V3	S2	4,700
V3	S2	5,780
V3	S3	6,720
V3	S3	4,330
V3	S3	9,110

# Annexes

## Partie I : Analyse bibliographique

### Chapitre I: Culture de Quinoa

#### I.1. Origine et histoire

« Quinoa » 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 (**Brack egg, 2003**).

Cultivée dans des milieux aussi divers que le littoral du pacifique, L'Altipilano central ou les vallées subtropicales des Andes, et maintenant disséminée à travers plus de cinquante pays dans le monde, le quinoa reste néanmoins emblématique des hauts plateaux de Bolivie, d'Equateur et du Pérou. Entre 3000 et 4000 m d'altitude, sous des climats arides, froids et venteux, sur des sols pauvres, parfois salins, cette espèce s'est diversifiée en plusieurs dizaines de variétés locales. Sa rusticité et ses qualités nutritionnelles exceptionnelles justifient d'étudier son fonctionnement biologique, et notamment ses mécanismes d'adaptation aux stress multiples, et souvent, que sont le gel, la sécheresse et les fortes radiations solaires. La compréhension des bases biologiques de cette rusticité peut orienter l'amélioration du Quinoa elle – même, mais aussi d'autres productions végétales vers la recherche d'une réduction des besoins en intrants et d'une plus grande tolérance à des conditions écologiques extrêmes (**Wilson, 1988**).

Communément appelé « Riz des Incas » , le quinoa produit des graines que l'on récolte après maturation de la fleur d'une plante voisine de l'épinard (**MADRAM , 2005**).

Domestiquée il ya 7000 ans environ dans les Andes, ou elle est devenue un aliment de base des populations locales (**Brack egg, 2003**).

Depuis une quinzaine d'années et principalement en Bolivie, le quinoa est aussi devenue l'objet d'une culture d'exportation à destination des pays du nord (Europe, Etats-Unis, Canada, Japon) à la recherche d'aliments à haute valeur nutritive et certifiés « agriculture biologique » (**Laguna et al ., 2006**).

## I.2. L'aire de répartition

Le Quinoa est une plante originaire des Andes, et plus précisément des alentours du lac Titicaca, entre le Pérou et la Bolivie. Aujourd'hui la culture de Quinoa est en pleine expansion et l'en trouve désormais dans plus de 70 pays (FAO, 2003).

En 2002, 80 000 hectares étaient semés en quinoa, essentiellement dans la région des Andes. La culture de quinoa a franchit les frontières pour atteindre la France, le Royaume-Uni, la Suède, le Danemark, les Pays –Bas et L'Italie (FAO, 2003).

Aux Etats-Unis, la plante est cultivée au Colorado et au Nevada, et au Canada, dans les prairies de l'Ontario (FAO, 2013).



**Photo 01 : Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du sud (la densité de gris reflète l'importance relative de la culture) (d'après National Research council , 1989)**

### I.3. classification botanique :

Selon CRONQUIST, 1981. La classification botanique du quinoa est comme suit :

**Règne :** Plantae

**Sous-embr :** Tracheobionta

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Sous-classe :** Caryophyllidae

**Ordre :** caryophyllales

**Famille :** chenopodiaceae

**Genre :** chenopodium

**Espèce :** chenopodium quinoa Willd

Mais la classification phylogénétique APG III (Angiospermes, phylogeny Group) en 2009 a classé cette espèce sous la famille des Amaranthaceae.

### I.4. Description de la morphologie de la plante :

#### Plante

Elle 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 ou elle pousse (VIDAL APAZA et al, 2013).



**Photo 02 : Culture de la plante quinoa (ITDAS, 2019)**

### Racine

La racine est pivotante, vigoureux, profonde, très ramifié et fibreux, ce que vous donne les propriétés de survie aux conditions défavorables de l'environnement dans cette affaire des Highlands qui sont de la sécheresse (JAEL CALLA ,2012).



**Photo 03 : Le système racinaire de la plante quinoa (FAO, 2013)**

### Tige

Il est cylindrique dans la couronne de la plante et anguleuse dans la ramification, de coloration variable du vert au rouge, a souvent des stries et aussi aisselles pigmenté de couleur vert ou violet (VIDAL APAZA et al, 2013).



**Photo 04 : La tige de la plante quinoa (ITDAS, 2019)**

### Feuilles

Les feuilles sont variées dans le quinoa, coloration alternes, simple, variée de vert au rouge, ils peuvent également être consommés comme légume par sa haute valeur nutritive, elles sont prises avant la floraison (JAEL CALLA, 2012).



**Photo 05 : les feuilles de la plante quinoa (FAO, 2013)**

### **Inflorescence**

C'est une panicule typique, composé d'un axe centrale et ramification secondaire, tertiaire et pédicelles tenant aux glomérules, l'axe principale est plus développé que le coté, cela peut être laxiste (Amar antiforme) ou compact (Glomerulada), il existe des formes intermédiaires entre les deux.

La longueur de la panicule est variable , selon le génotypes , lieu ou elle se développe et les conditions fertilité des sols , atteignant 30 à 80 cm de longueur , de 05 à 30 cm de diamètre, le nombre de grappes par panicule varie de 80 à 120 et le nombre de graines par panicule de 100 à 3000 , trouver de grandes panicules qui donnent jusqu'à 500 grammes de graines par inflorescence (VIDAL APAZA et al ,2013).



**Photo 06: L'inflorescence de la plante quinoa (FAO, 2013)**



### 🌈 Fleure

Le quinoa présente des fleurs hermaphrodites disposées en inflorescence en grappes, considérées comme de faux épis (panicule). Dans l'étape reproductrice du cycle de le quinoa, l'inflorescence est terminale et de longueur variable.

Il en existe deux types principaux : glomériforme et amaranthiforme et selon **Gandarillas (1968)**, le type glomériforme serait la forme ancestrale ayant donné le second type par mutation. Les fleurs incomplète (apétales) et très petites (03 mm au maximum) (**TAPIA et al.1979**), (**IZQUIERDO et al .2001**).



**Photo 07 : La fleur de la plante quinoa (FAO, 2013)**

### 🌈 Fruit

C'est un akène, elle a une forme cylindrique-lenticulaire, un peu élargie vers le centre, est constitué par le péri gone qui encapsule la graine complètement et contient une seule graine, de coloration variable qui se détache facilement a la maturité (**VIDAL APAZA et al, 2013**).



**Photo 08: Fruit du quinoa (FAO, 2013)**

## Semences

Le fruit mur sans le péri gone est de forme lenticulaire, ellipsoïde, conique, ou sphéroïdale, présentant trois pièces qui sont :

**\*Episperme** : il ya la saponine qui donne le gout amer de grain et dont la graine est variables génotypes.

**\*Embryon** : il est formée par deux cotylédons et radicule et représente 30 % du volume total de grain, qui entoure la périsperma comme un anneau, courbure de 320 °, est de couleur jaune, mesures 3.54 mm de longueur et largeur 0.36 mm.

**\*Périsperme** : c'est le tissu de la mémoire centrale est constituée principalement par l'amidon des céréales, est blanchâtre et représente près de 60 % de la superficie de la graine (VIDAL APAZA et al, 2013).



**Photo 09 : Semences de quinoa (FAO, 2013)**

### 1.5. Phénologie du quinoa

Selon **Tapia et al. (1979)**, le cycle de croissance du quinoa peut être différencié en cinq périodes :

- du semis à l'émergence, 11-57 jour
- de l'émergence à l'apparition de la première paire de feuilles, 5-9 jour
- de la première paire de feuilles à l'apparition des panicules, 45-56 jours

- de panicules à la floraison, 11-31 jours
- de la floraison à la maturation, 60-109 jours.

Différents auteurs ont proposé des échelles pour décrire le développement phénologique du quinoa.

**Espindola (1986)** considère les phases phénologiques suivants :

- Emergence
- Deux feuilles véritables
- Quatre feuilles véritables
- Six feuilles véritables
- Ramification
- Début de formation de la panicule
- Formation de la panicule
- Début de la floraison
- Floraison
- Grain laiteux
- Grain pâteux
- Maturité physiologique

D'autre part, **Espindola (1992)** distingue 09 étapes morpho-anatomiques pour le quinoa, qui sont :

- Etape d'émergence
- Etape cotylédonaire
- Etape des 02 feuilles de base
- Etape de 05 feuilles alternes (différenciation paniculaire)
- Etape de 13 feuilles alternes (pré-émergence paniculaire)

- Etape d'émergence de la panicule
- Etape de floraison
- Etape de grain laiteux
- Etape de grain pâteux
- Etape de grain dur (maturité physiologique)

Évaluant en Angleterre 294 accessions de quinoa, **Risi et al (1989)** ont trouvé des différences significatives à tous les stades de développement, la période entre le stade de deux feuilles véritables et la formation de la panicule durant entre 41 et 89 jours, celle de la formation de la panicule à la floraison variant de 07 à 53 jours et la période de la floraison à la maturité physiologique durant entre 65 et 137 jours. Les travaux de **Jacobsen (1997)** comparent cinq lignées de quinoa pendant trois saisons de culture en Europe du Nord ont montré que les durées totales de cycle dépendent non seulement de la lignée mais aussi de l'année de culture, du type de quinoa (Les quinoa fourragères sont plus précoces que les quinoa de grains) et de la localisation (Les cycles sont globalement plus précoces au Danemark qu'au Pérou) (**Jacobsen et al., 1993**). **Rojas (1998)**, restant 1512 accessions de quinoa dans les conditions de l'Altipilano bolivien, observe un temps moyen pour la maturité physiologique allant de 119 à 209 jours.

## 1.6. Génétique et diversité du quinoa

Le quinoa a été domestiqué dans les Andes il ya 5000 à 7000 ans (**Brack Egg, 2003**). Le quinoa cultivé présente une grande variabilité génétique qui se traduit par une diversité de couleur des tiges, des inflorescences, de teneur en protéines, de contenu en saponine et dans la présence ou non de cristaux d'oxalate de calcium sur les feuilles.

Selon **Tapia, M.E. et A.M.Fries (2007)**, il existe plus de 3000 variétés ou écotypes de quinoa, sauvage ou cultivés, que l'on peut regrouper en cinq catégories principales selon leur adaptation aux conditions agro-écologiques des grandes zones de production.

\***Le quinoa des vallées** comprend deux sous-types : Le quinoa des vallées arides (cultivé à Junin au Pérou par exemple) et le quinoa des vallées humides, cultivé dans des zones situées

entre 2300 et 3500 mètre d'altitude, caractérisées par un volume de précipitation annuel oscillant entre 700 et 1500 mm et une température minimale de 3 °c.

**\*Le quinoa des hauts plateaux** est cultivé au-dessus de 3000 mètres d'altitude dans des zones caractérisées par un volume de précipitation annuel situé entre 400 et 800 mm et une température minimale moyenne de 0 °c.

**\*Le quinoa des déserts de sel** pousse dans des zones situées près de 3000 mètres d'altitude, caractérisées par un volume de précipitations annuel de 250 à 400 mm et une température minimale moyenne de -1 °c.

**\*Le quinoa des zones situées au niveau de la mer** est adapté aux régions, se trouvant entre le niveau de la mer et 500 m d'altitude, où la précipitation annuelle oscille entre 800 et 1500 mm et où la température minimale moyenne est de 5 °c.

**\*Le quinoa des zones subtropicales** pousse entre 1500 et 2300 mètres d'altitude, dans des zones caractérisées par un volume de précipitations annuel allant de 1000 à 2000 mm et une température minimale moyenne de 7 °c.

On peut également classer les différentes variétés de quinoa actuellement cultivées en fonction de leur origine et de leur utilisation, à savoir :

**\*Les variétés améliorées ou commerciales**, sélectionnées et génétiquement améliorées dans des stations expérimentales.

**\* Les variétés indigènes**, sélectionnées par les agriculteurs et par les communautés locales ou autochtones, comprenant :

- Les quinoas blancs à petit grains
- Les quinoas doux à faible teneur en saponines
- les quinoas amers à forte teneur en saponines

## 1.7. Exigences de la culture

### 1.7.1. Exigences climatiques

La génétique de la grande variabilité du quinoa fait qu'ils peuvent prospérer dans différents climats par rapport aux niveaux de la mer, les parties Andines élevées et même dans les sourcils de la jungle (JAEL CALLA, 2012).

#### Température

Les basses températures affecteront surtout les phases de germination telle qu'elle nécessite un minimum de 4 °C, également au stade de la floraison causant une faible production de pollen causant une stérilité de la plante, mais dans l'étape de ramification de la plante, elle aura de grands problèmes aux chutes des températures jusqu'à moins 4°C.

D'autre part la présence de températures élevées peut affecter ces processus physiologiques de la plante, et on floraison peut avoir l'avortement des fleurs et après pour le remplissage des grains. La température moyenne optimale varie dans une marge de 05-15 °C (JAEL CALLA, 2012).

#### Glacées

Se produit lorsqu'il existe des descentes conditions extrêmes de températures inférieures moins 4°C, dans ces conditions va produire des altérations physiologiques en eux les cellules des plantes, ruptures du plasma par la présence de cristaux de glace dans les espaces intercellulaire. (JAEL CALLA, 2012).

### 1.7.2. Exigences édaphiques

Le quinoa est cultivé sur des sols marginaux peu fertiles, il pousse bien sur des sols peu limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du sud, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, de faible fertilité, très acides (PH 4.8) ou alcalins (PH 8.5) (MADRPM, 2005).

### 1.7.3. Exigence hydrique

La culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation se situe entre 250-400 mm sur des sols limono-sableux ou sableux-limoneux.

Les irrigations excessives augmentent la taille des plantes (hauteur) et améliorent le rendement mais avec le risque de verse (**MADRPM, 2005**).

## 1.8. Une plante résistante adaptée à son milieu

### 1.8.1. Résistance à la sécheresse

L'effet de la sécheresse sur la plante dépend d'une série de facteurs tels que principalement l'intensité de l'épisode sec, sa durée et le climat pendant cette sécheresse (température, humidité relative et rayonnement), mais aussi la phase phénologique durant laquelle elle se produit, le génotype de la plante ou le fait qu'elle ait déjà souffert de sécheresse à un stade précédent, ou enfin les caractéristiques du sol et la tolérance de la plante au déficit hydrique (**Mujica et al., 2001**). Ces effets peuvent se manifester par une réduction significative de la taille de la plante, de sa surface foliaire, de la biomasse et du rendement (**Mujica et al., 2000 ; Apaza et al., 2001**) ; le quinoa maintient cependant des rendements jusqu'à 1,5 t.ha<sup>-1</sup> avec moins de 200 mm de pluie pendant son cycle (**Mujica et al., 2001**). D'après **Mujica et al. (2000)**, les phases critiques où un stress hydrique a le plus d'effet sur le rendement sont la floraison et le remplissage des grains. Les travaux de **Geerts et al. (2006a ; 2008)** confirment ce résultat, et montrent même qu'un stress modéré pendant les phases initiales de croissance aura au contraire pour effet une meilleure résistance du quinoa dans la suite du cycle (**Gate, 1995**).

**Vacher et al. (1998)** ont montré que pendant les périodes de sécheresse au cours du cycle, une combinaison de facteurs permettait au quinoa une alimentation hydrique régulière du peu d'eau présent dans le sol ainsi qu'une transpiration continue, la fermeture stomatique ne se produisant que très tardivement. L'efficacité d'utilisation de l'eau augmente lors d'une séquence de sécheresse, et lorsque la conductance stomatique diminue à cause d'un déficit hydrique, la photosynthèse diminue moins que la transpiration et la production de biomasse peut être maintenue. Cette capacité du quinoa à continuer de fonctionner en période de stress

hydrique est étroitement liée à certains aspects morphologiques de la feuille (relief accidenté du limbe, stomates bien protégés par des cellules épidermiques relativement plus volumineuses, présence de vésicules pouvant recouvrir jusqu'à 80% de la surface foliaire), qui permettent de retenir une pellicule d'eau augmentant l'humidité relative de la couche limite de la feuille (**Dizes et Bonifacio, 1992**). Ainsi, dans des conditions sèches, les échanges gazeux sont plus importants en début de journée, lorsque les feuilles peuvent profiter de l'humidité accumulée pendant la nuit. Les résultats de **Garcia et al. (1992)** vont dans le même sens, en montrant une transpiration et une consommation en eau continues malgré le déficit hydrique, ce qui signifie une production de biomasse constante. Cette stratégie de tolérance plutôt que d'évitement du déficit hydrique se rapproche du comportement d'une plante xérophyte.

Différents mécanismes de résistance à la sécheresse semblent ainsi présents chez le quinoa, à la fois pour échapper au stress hydrique, pour le tolérer ou pour y faire face. Echapper aux périodes de sécheresse se traduit par un rallongement du cycle lorsque le stress hydrique se produit pendant les premiers stades de croissance (**Jacobsen et Mujica, 2001 ; Jacobsen et al., 2003**). Le quinoa tolère la sécheresse principalement grâce à l'élasticité de ses tissus, à son potentiel osmotique faible et au maintien de sa turgescence. Enfin, il peut y faire face grâce à son système racinaire très étalé en surface et qui peut être profond quand le sol le permet, à une réduction de sa surface foliaire par la chute des feuilles, à des glandes vésiculaires spéciales, à des cellules petites avec une paroi épaisse qui maintiennent leur turgescence et enfin grâce à un comportement stomatique dynamique (**Jensen et al., 2000**). **Mujica et al. (2001)** ont résumé ces mécanismes d'ordre morphologique, physiologique, anatomique, phénologique ou biochimique.



**Tableau 1: Mécanisme de résistance et de tolérance du quinoa à la sécheresse (d après Mujica et al ,2001)**

Type de mécanisme	Sécheresse
<b>Morphologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chute des feuilles ou feuilles plus petites et moins nombreuses pour réduire la surface foliaire et la transpiration               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la taille de la plante</li> </ul> </li> <li>- Forte concentration de cristaux d'oxalate de calcium sur les feuilles autour des stomates pour accumuler l'humidité et refléter le rayonnement solaire</li> <li>- Enroulement des feuilles</li> </ul>
<b>Physiologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rôle photosynthétique possible de la panicule et des tiges après la chute des feuilles</li> <li>- Position différente des feuilles entre le jour et la nuit et courbure de la tige               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plasticité de la dynamique de développement</li> <li>- Récupération rapide après un épisode sec</li> <li>- Asynchronie de la floraison</li> </ul> </li> <li>- Meilleure résistance après un pré-conditionnement               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elasticité de la membrane cellulaire</li> </ul> </li> <li>- Réduction stomatique précoce mais maintien d'une transpiration et d'une photosynthèse pendant la période sèche               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ajustement osmotique</li> </ul> </li> </ul>
<b>Anatomique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Système racinaire plus profond et plus dense</li> <li>- Stomates moins nombreux et plus petits</li> </ul>
<b>Phénologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modification des durées des phases phénologiques</li> </ul>
<b>Biochimique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Présence de cristaux d'oxalate de Calcium sur les feuilles, les tiges et les panicules</li> <li>- Plus grande production d'acide abscissique et de bêtaïne</li> <li>- Plus grande libération de proline</li> </ul>

### I.8.2. Résistance au froid

L'effet du gel sur la plante est différent selon son intensité et sa durée, mais aussi selon les phases phénologiques où il se produit, l'humidité relative de l'air et le génotype. Il est généralement admis que la température minimale limite de croissance pour le quinoa est de  $-5^{\circ}\text{C}$  (**Bois et al., 2006**). Des observations au champ ont montré des variétés résistantes jusqu'à  $-14^{\circ}\text{C}$  au stade plantule (**Vacher et al., 1998**), voire jusqu'à  $-16$  à  $-18^{\circ}\text{C}$  d'après **Catacora et Canahua (1992)** durant les premiers stades de croissance. Les phases les plus sensibles sont la mise en place de l'épi, la floraison et le stade grain laiteux (**Canahua et Rea, 1979**). **Jacobsen et al. (2000a ; 2005)** ont trouvé une baisse de rendement inférieure à 10% consécutivement à un gel de  $-4^{\circ}\text{C}$  au stade deux feuilles, mais de 66% lorsque le gel se produit au stade floraison.

La résistance au gel du quinoa est fondée sur sa capacité à accumuler des sucres solubles, de la proline ou diverses protéines, tout en abaissant la teneur en eau dans ses feuilles pour mieux se défendre contre les températures froides. **Monteros et Jacobsen (2001)** ont trouvé des concentrations en proline plus élevées de 40% à  $-4^{\circ}\text{C}$  qu'à  $-19^{\circ}\text{C}$ . Il a de plus été observé une concentration de sucres solubles supérieure de 11% dans une variété résistante au froid que dans une variété non-résistante, les sucres ayant une fonction d'osmorégulateurs en limitant les échanges d'eau lorsque le liquide apoplastique est gelé (**Mujica et al., 2001**). Lorsque la température diminue, le quinoa est capable d'induire la formation de glace extracellulaire et non dans ses cellules, et donc de tolérer la déshydratation sans dommage irréversible pour les tissus (**Jacobsen et al., 2000a**). Tout comme pour la résistance à la sécheresse, l'ensemble des mécanismes est résumé dans le Tableau (**Mujica et al., 2001**).

**Tableau.2: Mécanismes de résistance du quinoa au froid (d'après Majica et al., 2001)**

Types de mécanismes	Caractéristiques
<b>Morphologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chute de feuilles</li> <li>- Réduction de la taille des feuilles</li> <li>- Réduction de la taille de la plante</li> </ul>
<b>Physiologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mouvement des feuilles et de la tige</li> <li>- Osmorégulation de la formation de glace dans l'apoplaste et résistance au sous refroidissement</li> </ul>
<b>Anatomiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stomates moins nombreux est plus grands</li> </ul>
<b>Phénologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- phases phénologiques plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phénologiques</li> </ul>
<b>Biochimiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accumulation de métabolites (Sucres solubles, proline et protéines)</li> </ul>

### I.8.3. Résistance à la salinité

La zone majeure de production du quinoa étant située entre les salars boliviens, certains sols ou eaux d'irrigation peuvent avoir des concentrations en sel non négligeables. **D'après Bosque et al. (2001 ; 2003)**, les variétés du groupe "Salar" peuvent résister à des niveaux de salinité compris entre 8 et 15 mS/cm sans diminution de leur biomasse. **Jacobsen et al., (2000)** ont trouvé chez une de ces variétés un maintien du rendement jusqu'à une salinité de 25 mS/cm, avec une division du rendement par 2 lorsque la salinité de l'eau dépasse les 30 mS/cm. **Mujica et al. (2001)** parlent même d'une germination possible à 52 mS/cm, mais retardée de 25 jours. Le quinoa est ainsi capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus pour ajuster le potentiel hydrique foliaire. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter sa transpiration, évitant des dommages physiologiques que pourrait causer la sécheresse. En conditions salines, le quinoa se comporte donc comme un halophyte facultatif et pourrait être utilisé pour nettoyer des sols contaminés par le sel (**Jacobsen et al., 2000**).

#### **I.8.4. Résistance au vent, neige, grêle**

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

#### **I.8.5. Résistance aux maladies, parasites et ravageuses**

La principale maladie rencontrée chez le quinoa est le mildiou. Les variétés altiplaniques et du salar n'y sont pas toutes résistantes, mais le climat sec n'est pas propice à son apparition. En revanche, la forte teneur en saponine de la graine chez la plupart des variétés du salar les rend moins sensibles aux attaques d'oiseaux ou de parasites, grâce à son goût amer et sa toxicité pour les animaux de petite taille (Tapia et al., 2000).

### **I.9. Importance de la culture de quinoa**

#### **I.9.1. Importance nutritionnelle**

Les feuilles de quinoa sont mangées comme des épinards et les graines très abondantes et petites, comme chez le riz, sont consommées de différentes manières.

Le quinoa a un potentiel nutritif important, elle se caractérise par une teneur élevée en protéines : 14 à 21 %, contre 7 à 12 % chez la plupart des céréales (blé, riz, maïs, orge, etc.....) (Ayala et al, 2006). Cependant, son principal intérêt nutritif réside dans sa composition équilibrée et complète en acides aminés essentiels (La lysine fait généralement défaut dans les céréales), comparable à celle du lait et supérieure à celle du blé et d'autres céréales (Chauhan et al, 1992, Koziol, 1992, Ng et al, 2007). En outre, elle offre un contenu en minéraux très supérieur à celui des céréales classiques, en particulier en phosphore, magnésium, potassium et fer. 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 , la quinoa soit commercialisées comme un aliment à haute valeur nutritive (**Galwey , 1993**).

Les saponines, substances anti nutritives qui sont présentes dans les grains et les jeunes feuilles, sont éliminées par lavage ou frottement (**Chauhan et al., 1992**). Après avoir fait l'objet d'une sélection négative par les améliorateurs (**Jacobsen, 1997, Mastebroek et al. 2000, Ward, 2000**), les saponines sont devenues un sous-produit recherché par l'industrie cosmétique et des perspectives existent aussi pour les utiliser comme pesticides naturels (**San Martin et al, 2007**).

**Tableau 3 :Composition des grains de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche)**

(D'après Tapia et al ., 2000,Feillet 2000)

	<b>Quinoa</b>	<b>Blé</b>
<b>Protéines</b>	11.0 – 21.3	12.5
<b>Lipides</b>	5.3 – 8.4	2 – 3
<b>Glucides</b>	53.5 – 74.3	67 - 71
<b>Fibres</b>	2.1 – 4.9	2 – 4
<b>Cendres</b>	3.0 – 3.6	1.5 – 2.5
<b>Humidité</b>	9.4 – 13.4	14.5

**Tableau 4: Comparaison des besoins humains en acides aminés et des teneurs en acides aminés essentiels des protéines du lait, du quinoa, du blé et du soja (mg d'acides aminés/g de protéine) (Adaptés de FAO., 1985, FAO., 1970, Ayala 2001)**

<b>Acides aminés essentiels (mg/g de protéine)</b>	<b>Besoins d'un adulte</b>	<b>Besoins d'un enfant</b>	<b>Lait entière de vache</b>	<b>Quinoa</b>	<b>Blé</b>	<b>Soja</b>
<b>Histidine</b>	16	19	27	31	25	28
<b>Isoleucine</b>	13	28	47	53	35	50
<b>Leucine</b>	19	66	95	63	71	86
<b>Lysine</b>	16	58	78	64	31	70
<b>Méthionine+Cystine</b>	17	25	33	28	43	28
<b>Phénylalanine +</b>	19	63	102	72	80	88

<b>Tyrosine</b>						
<b>Thréonine</b>	09	34	44	44	31	42
<b>Tryptophane</b>	05	11	14	09	12	14
<b>Valine</b>	13	35	64	48	47	52
<b>Totale</b>	127	339	504	412	375	458

## I.9.2. Importance économique

### \*Dans le monde

La production mondiale de quinoa, la zone de production la plus importante se trouve en Bolivie, au Pérou et en Equateur. Les possibilités de culture de diverses variétés à différentes altitudes et dans des zones climatiques diverses donnent au quinoa un énorme potentiel en matière de sécurité alimentaire. La culture de quinoa est en pleine expansion et on la trouve désormais dans plus de 70 pays.

En 2002, 80000 hectares étaient semés en quinoa .Les principaux producteurs mondiaux sont la Bolivie, le Pérou et la Bolivie avec plus de 96 % de la production mondiale soit plus de 191687 tonnes en 2014 (**Base de données de la FAO**) .Ces dernières années (2014), la production dans la région andine s’est élevée 192507 tonnes.

cette facultés d’adaptation du quinoa à des zones très diverses a conduit à la réalisation d’essais expérimentale dans des régions Jugées prometteuses en Afrique , en Asie , en Europe et en Amérique du Nord .Les résultats concluants de la culture expérimentale dans plusieurs pays – notamment aux États-Unis , au Maroc , au Kenya et en Inde – laissent espérer , à terme , une production commerciale à grande échelle (**FAO,2013**).

### \*En Algérie

Une convention a été signée entre la FAO et l’Algérie dans le cadre du projet (TCP/RAB/3403) intitulé : Assistance technique pour l’introduction du quinoa et appropriation / institutionnalisation de sa production en Algérie, Egypte, Irak, Iran, Laban, Mauritanie, Soudan, et Yémen).

Les essais d’introduction du quinoa seront effectués au niveau des stations expérimentales des institutions de recherche et développement du secteur de l’agriculture, en vue d’étudier son comportement et ses potentiels de production dans différentes zones agro-écologique.

L'intérêt de cette plante pour l'Algérie réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, gel). Elle pourrait être, de ce fait, utilisée dans la lutte contre la désertification d'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride ou elle peut donner des rendements acceptables à 100 millimètres de pluviométries (ITDAS, 2015).

Les stations expérimentales des essais sont :

- INRF Bainem d'Alger
- ITGC de Sétif, Tiaret et Relizene
- INRAA d'Adrar
- ITDAS de Biskra

### 1.9.3. Utilisation de quinoa

Si aujourd'hui, le quinoa est quasi uniquement reconnu par le grand public pour la consommation de ses grains dans l'alimentation humaine, d'autres usages existent. L'homme ne consomme pas uniquement les grains du quinoa, il consomme aussi les feuilles tendres, jusqu'au début de développement de la panicule. La teneur en protéines de ces feuilles peut atteindre 33% de la matière sèche.

Dans des cas plus rare, les panicules tendres sont elles aussi consommées à la façon du huazontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*), un cousin du quinoa cultivé au Mexique (DIDIER BAZILE, 2015).

Les grains peuvent être transformés à la façon des céréales, pour donner des pseudo-céréales complètes, une farine brute ou toastée (après rôtissage des grains), des flocons, de la semoule et une poudre instantanée qui peuvent servir à la préparation de nombreux plats ou boissons. Le quinoa peut s'utiliser pour compléter les farines à base de céréales en ajoutant entre 10% et 30 % de quinoa pour le pain, jusqu'à 40 % pour les pâtes et 70 % pour les biscuits. Les usages de quinoa seul répondent également à une demande internationale croissante de produits sans gluten (DIDIER BAZILE, 2015).

Le quinoa est aussi utilisé en complément dans l'alimentation animale. La plante entière sert de fourrage vert. Les résidus de récolte sont intégrés dans l'alimentation des bovins, Ovins, Porcs, chevaux et volailles. Différents essais de transformation en ensilage existent au

chili et en Bolivie pour conserver au quinoa transformé une haute valeur nutritionnelle, équivalente au fourrage vert de base **(DIDIER BAZILE, 2015)**.

Les sociétés andines intègrent le quinoa dans la médecine traditionnelle .L'utilisation de ses différentes partie (Feuilles, tiges, graines) est aujourd'hui de plus en plus étudiée, pour leurs propriétés abortives, cicatrisantes, anti-inflammatoires, analgésiques et désinfectantes .Elles servent également dans les cas de fractures, d'hémorragies internes et comme insectifuge.

Aux Etats –unis, la plante est étudiée pour mieux comprendre certaines propriétés anti-cancérigènes. Les principes actifs de quinoa lui permettent d'être associés à toute une gamme de produits transformés destinés à l'alimentation, aux cosmétiques, à la pharmacie...etc **(DIDIER BAZILE, 2015)**.

Pour ne citer que quelque exemples, l'amidon de quinoa offre une excellente stabilité dans des conditions de gel et de dégel, c'est pourquoi il sert d'alternative aux amidons chimiquement modifiés .Ainsi, il dispose d'un fort potentiel pour l'industrie de granule d'amidon pour la production d'aérosols, de pâtes, d'excipients dans l'industrie plastique ....etc **(DIDIER BAZILE, 2015)**.

La saponine localisée dans la couche externe du grain de quinoa présente une toxicité variable, aussi bien pour les animaux que pour les hommes. Mais son maintien lors des programmes de sélection et d'amélioration des plantes offre divers avantages : le premier et son effet en tant qu'insecticide naturel puissant et ses propriétés antifongiques naturelles, le second est les possibilités de la valoriser comme un sous-produit marchand, lors de la transformation du quinoa pour le rendre comestible pour l'homme. La saponine trouve différentes applications en médecine et pharmacie, du fait des changements qu'elle induit dans la perméabilité intestinale utile pour l'absorption de certain médicament, pour ses effets favorisant l'hypocholes térolémie ou encore ses propriétés antibiotiques et antifongiques **(DIDIER BAZILE, 2015)**.





# Chapitre I

## Culture de quinoa

## Chapitre II

# Salinité

# Chapitre III

Matériel

et

Méthode

# Chapitre IV

## Résultats et discussion

## Chapitre II : La salinité

### II.1. Définition de la salinité :

La plupart des auteurs s'accordent pour considérer qu'un sol, une eau d'irrigation ou une solution nutritive sont salés lorsqu'il contiennent des concentrations anormalement élevées en chlorure, sulfates, carbonates ou bicarbonates de sodiums, calcium ou magnésium (**Brun, 1980**). Toutefois le terme salinité semble indiquer la prédominance de Na Cl.

Selon **POLJKOFF et GALE (1975)**, **STROGONOV (1940)** in **ARBAUI (1997)**, l'effet de la salinité sur les plantes est déterminé non seulement par la qualité absolue d'ion en excès, mais aussi par la quantité relative de certains autres ions, lorsque la quantité totale de sels dans le sol dépasse 0.5 % du poids sec, ce sol devient impraticable, pour toute culture, il n'est pas envisageable d'utiliser pour l'irrigation une eau contenant plus de 03 g de sel.

On peut aussi définir la salinisation comme le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols. Cette quantité (la salinité des sols) est appréciée au laboratoire par la quantité d'électrolytes ou de solutés libérée par le sol au contact de l'eau dans un rapport de volume sol/eau qui peut être celui de la saturation en eau (pâte saturée), ou un rapport de lixiviation. La classification agronomique internationale, sous l'impulsion des USA (**BELKACEM BEKKOUSSA et al, 2013**) retient dans les années 1960 une valeur de conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée de sol supérieure à  $4 \text{ ds.m}^{-1}$ , comme la limite inférieure des (salins sols) le seuil de salinité au-delà duquel la plupart des plantes cultivées voient leur productivité baisser.

La Salinité est mesurée par la conductivité électrique des extraits aqueux représentant l'ensemble des ions qui ont pu être mobilisés sous forme ionique par la dissolution et ne représentent qu'indirectement la distribution des formes d'accumulation des sels. L'état hydrique du sol joue un grand rôle dans la répartition des formes d'accumulation des solutés, dans un sol entièrement déshydraté, les solutés sont sous forme solide. De même, durant l'assèchement par évaporation d'un sol, les concentrations des solutions restantes, avant la précipitation des sels, augmentent à proportion de la réduction de volume. Les sels et solutés s'accumulent donc sous formes diverses dans le sol. En phase ionique, les solutés de la solution du sol représentent la forme mobile de la salinité. Les ions de la solution sont également susceptibles d'échanger avec les phases solides dotées de capacités d'échanges qui

présentent un stock d'ions adsorbés. Enfin des sels sont susceptibles de précipiter sous forme solide dans la porosité du sol (BELKKACEM BEKKOUSSA et al ,2013).

## **II.2. La salinité dans le monde et en Algérie**

### **II.2.1. Dans le monde**

Les zones arides et semi-arides constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre.

Dans ces zones souvent marquées par des périodes sévères de sécheresse. La salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes. A l'échelle mondiale, il est estimé que presque 800 millions d'hectares de terres sont affectés par le sel, que ce soit par la salinité (397 millions d'ha) ou par les conditions de sodisation associées aux teneurs en sodium (434 millions ha). En effet, la salinité s'étend sur plus de 6 % de la superficie totale de la planète, dont 3.8 % sont situées en Afrique. Ce phénomène devient de plus en plus inquiétante car la salinité réduit la superficie des terres cultivables et menace la sécurité alimentaire dans ces régions (BENIDIRE et al, 2015).

La salinisation des terres doit être considérée comme un risque majeur susceptible d'affecter environ 25 % des superficies irriguées ou 10 % de la production alimentaire mondiale .Au-delà du processus de dégradation des ressources en sol et en eau, il met plus généralement en péril la viabilité des exploitations agricoles et la durabilité des systèmes d'irrigation. Ce risque est particulièrement élevé dans certains pays arides pour lesquels l'irrigation représente la principale source de développement agricole et de satisfaction des besoins alimentaires (MARLET et JOB, 2006).

### **II.2.2. En Algérie**

Les sols salins, qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, sont très répandus dans le tell Algérien (ou la salinité des sols est le principal problème de la mise en valeur) et dans les Hautes plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solontchak ou les chlorures de sodium sont en quantités telles (plus de 0.2 %) que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop (BENCHETRIT 1956).

Les sols d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS/m et un pourcentage de sodium échangeable qui varie de 5 à 60 % de la C.E.C (AUBERT, 1975). DAOUD et HALIM (1994), notent qu'en Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètre irrigués.

### II.3. Origine des sols salins

L'origine des sels responsables de cette salinité est diverse : marine actuelle ou ancienne , pétrographique due aux ions libérés par l'altération de certaines roches sédimentaire , volcanique , hydrothermale , éolienne apportée par des embruns , elle est aussi très souvent anthropique induite par la mise en valeur hydro agricole et autres aménagements ( eaux d'irrigation , remontées de nappes phréatiques , engrais , solutions nutritives des serres et des cultures hors sol , effluents urbains , etc...).

Ces sols salit représenteraient sur la planète une superficie de l'ordre de 260 millions (DUDAL, 1990 in loyer, 1991) en fonction de l'intensité du phénomène pris en compte. Très répartis dans les régions arides à semi arides, ils couvrent de grandes surfaces surtout en Australie, Amérique du sud, Chine et Moyen –Orient (LOYER, 1991). Donc on peut dire que la salinisation des sols se manifeste par deux voies, qui sont :

#### II.3.1.Salinisation primaire

Le taux des sels dans le sol est la résultante de leur lessivage vers les couches profondes par les eaux de pluie et des remontées capillaires sous l'effet de l'évaporation de l'eau en surface.. Les sels solubles remontent à la surface des sols, ou ils forment des croûtes ou des structures poudreuses. Les remontée capillaires et la salinisation sont d'autant plus importantes qu'il existe une nappe phréatique peu profonde et salée (BOIVIN et al ,1985) , aussi la dégradation des couches superficielles des sol salés , par formation de structures poudreuses et l'accroissement des vents lié aux modifications climatique , entraînent la déflation éolienne dans les cuvettes salées du Delta (Mou Genot B .1982) , aussi les matériaux emportés vont saliniser d'autres terres et s'accumulent sur les maigres touffes de végétation subsistant pour former des nebka . De plus on ajoute que la salinisation par transport éolien est aggravée par la présence des embruns, susceptibles d'apporter à eux-seul de 100 à 200 kg / ha de sel par ans (DOWNES, 1961, COPE, 1958, YAALON, 1963). Aussi dans les régions arides et



semi-arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol.

### II.3.2. Salinisation secondaire

La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semis – arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols. Le principal impact est la salinisation secondaire des sols (**BADRAOUI et al, 2000**).

Selon **ANTIPOLIS (2003)**, la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, cette salinisation concerne des surfaces plus réduites que la salinité primaire mais à des conséquences économique plus importantes car elle peut dégrader gravement la fertilité de zones cultivées.

## II.4. Principaux sels solubles

Les sels solubles sont les agents de dégradation de la pierre les plus actifs , utilisant l'eau comme vecteur de migration et de transformation , leur origine est vaste , depuis les eaux souterraines , les matériaux eux-mêmes , la pluie et la pollution atmosphérique , l'air marin ...ils voyagent en solution dans les matériaux vers les zones d'évaporation de l'eau ou ils précipitent et finissent par s'accumuler (**PHILIPPE SOUCHU et al ,29 Juin 2016**) .

Nous distinguons trois grands groupes de sels solubles : les chlorures, les carbonates et les sulfates (**Hulin, 1983 in Boutelli, 2012, Aubert, 1982**).

### Chlorures

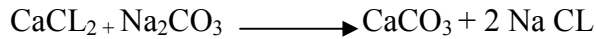
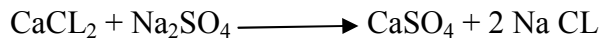
Le chlorure est un sel principal responsable de la formation des sols salés, il a une solubilité très élevée et une forte toxicité pour les végétaux.

Parmi ces sels nous avons :

**-Chlorure de sodium (Na Cl) :** c'est le sel le plus répandu, très soluble et hautement toxique.

**-Chlorure de potassium (KCL):** c'est un sel voisin du Na Cl mais peu trouvé dans la nature.

**-Chlorure de calcium (Ca Cl<sub>2</sub>):** c'est un sel relativement rare dans les sols, car il réagit avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour former du CaSO<sub>4</sub> ou CaCO<sub>3</sub>.



### Sulfates

Les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols parmi ces sels nous avons :

**-Les sulfates de calcium (Ca SO<sub>4</sub>) :** Le gypse (Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O) est la forme la plus répandue, de point de vue toxicité il est peu dangereux de fait de sa faible solubilité mais il peut freiner le développement du système racinaire dans le cas d'une forte accumulation dans le sol.

**-Les sulfates de magnésium (Mg SO<sub>4</sub>) :** c'est un composant typique des sols salés, on le trouve souvent dans les eaux souterraines, sa solubilité est très élevée ce qui le rend un sel toxique.

**-Les sulfates de sodium (Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) :** composant typique des sols, sa solubilité de l'ordre de 3000 g/l, fait de lui un sel hautement toxique.

**-Les sulfates de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) :** il se trouve en faible quantité

### Carbonates

D'après FAO et UNESCO, 1967 in Boutell, (2012) les sels carbonatés sont très répandus dans les sols, parmi ces sels nous avons :

**-Le carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>) :** sa solubilité est plus élevée, il donne du Mg (HCO<sub>3</sub>) en présence de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

**-le carbonate de sodium (NaCO<sub>3</sub>) :** c'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant.

**-le carbonate de potassium (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>):** il est extrêmement rare de la trouve en grande quantité, car il est pratiquement comparable à celui de NaCO<sub>3</sub>.

## **II.5. Cause de la salinité**

Il peut y avoir un certain nombre de causes du développement de salinité de sol, par exemple :

1/ Les eaux d'irrigation se chargent d'une quantité plus ou moins importante de sels qui proviennent de l'érosion des montagnes **(FAIZ et al, 1 Janvier 1990)**.

2/ Le climat aride ou semi-aride et la forte évaporation qui en découle, exposent les sols à la concentration des dépôts salins .En s'accumulant ces dépôts ont augmenté la toxicité du sol **(FAIZ et al, 1 Janvier 1990)**.

3/ La structure topographique qui ne facilite pas le drainage, l'eau salée a gagné, par infiltration, les couches souterraines **(FAIZ et al, 1 Janvier 1990)**.

4/ L'élévation de la nappe phréatique par voie capillaire, elle atteint finalement la surface d'où elle s'évapore, laissant une couche blanche **(FAIZ et al, 1 Janvier 1990)**.

5/ Les bases précipitation **(MADRAM, 2005)**.

6/ Le taux élevé d'évapotranspiration **(MADRAM, 2005)**.

7/ intrusion d'eau de mer aux régions côtières **(MADRAM, 2005)**.

## **II.6. Relation entre La salinité et les plantes**

### **II.6.1. Définition du stress**

Les scientifiques adoptèrent le terme de stress pour tout facteur environnemental potentiellement préjudiciable pour les organismes vivants.

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.

Donc le stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux **(Jones et al .1989)** ou encore une condition non optimale causé par un facteur qui tend à altérer l'équilibre des fonctions d'un organisme **(Orcut et al)**.

### II.6.2. Stress salin et les plantes

Le stress salin se définit 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 (NAIMA FOUZIA, 2017).

Généralement, un taux élevé de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  cause le stress salin, ce dernier 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  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Le stress altère 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 (LESS et GALILI, 2008).

Face à ce danger, toutes les plantes ne sont pas égales. Certaines, nommées glycophytes, ne sont pas capables de supporter la présence de sel.

Les halophytes, au contraire, ont développé des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme (LUTTGE et al, 2000, CALU, 2006).

Suivant la production de biomasse des végétaux en présence de sel, de grands groupes de plantes ont été discernés, les halophytes et les halophobes ou glycophytes (LESS et GALILI, 2008).

### II.6.3. Effet de la salinité sur la plante

Les effets de la salinité sur les plantes sont complexes et ses conséquences incluent la toxicité par les ions (PANG et al, 2007). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement la  $\text{NaCl}$ .

De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de  $\text{Na}^+$  (GREGORY., 2005). La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène nommé l'épictèse, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante (HELLER., 2004). A l'échelle agronomique, les risques de salinisation varient de 4 à 16 mmhos/cm. A partir de 8 mmhos/cm, la plupart des plantes cultivées ont leurs rendements fortement abaissés par la salinité. Seuls les végétaux halophiles prospèrent dans des milieux de salinité supérieure à 16 mmhos/cm (KENFAOUL., 1997).

#### II.6.4: Effet de la salinité sur la croissance et le développement des plantes :

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (BOUAOUINA et al, 2000). La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente.

Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (CHARTZOULAKIS et KLAPAKI, 2000). De même le sel diminue la croissance de l'appareil végétatif par la réduction du nombre des feuilles, réduit la surface foliaire (Ben KHALED et al, 2007).

La salinité diminue la croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus.

Au niveau des feuilles, ce phénomène est associé à une baisse de turgescence, suite à une diminution du gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu.

La compartimentation des ions entre les organes (racines/partie aériennes), les tissus (épiderme/mésophile) ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation à la contrainte saline (OUERGHI et al, 2000). La salinité accompagnée par une réduction dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire (Mohamed et al, 1998). Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (LEVIGNERON et al, 1995).

### II.6.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse

L'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels de l'espèce et de la plante, ce qui est évident qu'une concentration basse de sels peut stimuler la photosynthèse. Un environnement stressant qui affecte la croissance, affecte évidemment la photosynthèse, de nombreux auteurs montrent que la capacité de la photosynthèse est étouffée par la salinité et cela chez différentes espèces de plantes (**OMAMI., 2005**).

Selon **TAIZ et ZEIGER., 2002** les stress environnementaux qui affectent la croissance, altèrent également la photosynthèse.

### II.6.6. Effets de la salinité sur la germination

Souvent la salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et le développement de la plantule, c'est le cas de la luzerne qui voit sa germination inhibée par des fortes concentrations en sel, alors que ces mêmes concentrations entraînent un simple retard de germination chez L'Atriplex (**ZID, 1974**).

Des travaux montrent que seul les processus de germination et non la capacité de germination est altérée en milieu salé (**UNGAR, 1978., GUERRIER, 1983 in ARBAUI 1997**).

Beaucoup d'auteurs admettent que le stress salin peut affecter la germination de deux façons:

- En diminuant la vitesse d'entrée et la qualité d'eau absorbée par les graines.
- En augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans des graines à des doses qui deviennent toxiques (**ARBAOUI, 1997**).

La salinité agit sur la germination en ralentissent sa vitesse se qui expose plus semence au risque, et en diminuant plus ou moins fortement son taux selon la concentration en sel dont Na Cl. Elle intervient vraisemblablement par deux effets, l'un osmotique et l'autre toxique.

L'effet osmotique se traduit par la difficulté se trouve l'embryon à absorbe une quantité d'eau suffisante pour déclencher les.

## II.7. Tolérance des plantes a la salinité

Les plantes poussant dans les conditions où le sol est affecté par la salinité subissent des perturbations d'ordre physiologique et biochimique (**BEN NACEUR et al., 2001**). La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (**MALLEK-MAALEJ et al. 1998**).

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

### II.7.1. Compartimentation

Un organisme peut difficilement exclure totalement le  $\text{Na}^+$  de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions ( $\text{Na}^+$   $\text{Cl}^-$ ) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (**HOUALA et al., 2007**) et éventuellement, à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (**MUNNS, 1993**). Pour être contrôlé, le déplacement des ions au travers des membranes implique un transport actif, consommateur d'énergie, qui utilise différents transporteurs (en densité variable) à la surface des membranes cellulaires (**TYERMAN et SKERRET, 1999; ORCUTT et NELSEN, 2000**). Une fois vacuolisé, le  $\text{Na}^+$  en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métabolique (**TYERMAN et SKERRET, 1999; KERRETT, 1999**).

### II.7.2. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique du cytoplasme, suite à un stress osmotique provoqué par la présence de Na Cl dans le milieu extérieure est réalisé par l'accumulation de solutés organiques. Parmi ces composés s'accumulant lors du stress salin, on trouve les acides aminés comme la proline (**HASSANI et al., 2008**); des sucres (fructose, saccharose) et leur dérivés alcool (glycérol, mannitol, pinitol) (**KELLER et LUDLOW, 1993**) et des méthylamines (glycine bétaine) (**WERETILNYK et al., 1989**). Parmi ces composés s'accumulent lors du stress salin.

### II.7.3. La régulation de la croissance

Le stress provoque une augmentation de la concentration en ABA dans la partie aérienne ou une réduction des concentrations en cytokinine (**GUO et DAVID HO, 2008**). Ceci résulte en une croissance et une transpiration réduites (**ITAI, 1999**). La réduction de la croissance est

une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (ZHU, 2018).

En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété (RUBIO et al., 2008). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation (GUO et DAVIDHO, 2008).





### Conclusion

L'objectif principale de ce travail consiste à étudier l'effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la croissance et la production de trois variétés de quinoa (*Santo maria*,  $Q_{12}$ , *Pidje* panicule principale).

D'après les résultats trouvés lors de notre expérience quelque aspect important a révélé le comportement de cette culture dans notre région :

#### **Concernant les caractères phénologiques et morphologiques (croissance) :**

- ✓ L'influence de la salinité sur les stades de développement des trois variétés étudiées s'est manifestée par une adaptation à la salinité.
- ✓ Le stress salin entraîne une réduction significative dans la hauteur des plantes chez la variété  $V_1$  et  $V_2$ , cependant la variété  $V_3$  a donné la meilleure hauteur. Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère.
- ✓ le stress salin se traduit par une réduction de la surface foliaire chez la plante quinoa. Cette diminution de la surface foliaire se présente comme étant la principale stratégie développée par le quinoa pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau en condition de stress salin. On voit que  $V_1S_0$  est classée en premier groupe (groupe A) présentant la surface foliaire la plus élevée avec ( $25.33 \text{ cm}^2$ ) mais comme les résultats montrent on voit que le stress salin entraîne une réduction significative de la surface foliaire chez les trois variétés.
- ✓ Le stress salin entraîne une réduction significative dans le nombre de ramifications par plante surtout chez la variété  $V_1$  et  $V_2$ .
- ✓ Le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le nombre de panicules chez les trois variétés, on voit que la variété  $V_2$  présente le nombre de panicules le plus élevé suivi par la variété  $V_3$  et  $V_1$ .
- ✓ Le stress salin entraîne une réduction significative dans le poids de panicule principale chez la variété  $V_2$ . Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère.

#### **Concernant les caractères de production :**

- ✓ Le PMG est un composant important pour le rendement, d'après les résultats obtenus le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le poids de 1000 grains et on a

enregistré que la variété  $V_1$  présente le poids de 1000 grains la plus élevée suivie par  $V_2$  et  $V_3$ , cela indique que le quinoa s'adapte et tolère la salinité.

- ✓ Pour la matière sèche aérienne, le stress salin n'entraîne pas une réduction est on remarque que la variété  $V_1$  représente le meilleur poids de matière sèche aérienne au témoin  $S_0$  avec 05 g suivie par les traitements  $S_3$ ,  $S_1$ , et enfin le traitement  $S_2$  (Différence négligeable).
- ✓ Pour la matière sèche racinaire et d'après les analyse statistique, on déduit que le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le poids et on enregistre que  $V_1$  présente le poids le plus élevée avec 0.45 g dans le traitement  $S_0$  suivie par la variété  $V_2$  et  $V_3$ .

### **Concernant le caractère hydro-pédologique:**

- ✓ L'augmentation de la salinité dans l'eau d'irrigation par l'ajout de sel Na Cl a entraînée une accumulation des sels dans le sol dans les traitements  $S_2$ ,  $S_3$ .

Enfin, le quinoa montre comme une plante hautement tolérante à la salinité (Halophyte), les trois variétés ont montré une adaptation remarquable à ces conditions, mais la variété *Santo maria* est meilleure par rapport aux deux autres variétés.

Pour un bon choix des variétés adaptées au stress salin, il est nécessaire d'étudier d'autres variétés de quinoa.

# Conclusion

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur,  
ma vie, mon bonheur, qui peut être fier et trouver ici les résultats de longues  
années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie,  
maman que j'adore*

*Merci pour les valeurs nobles, l'éducation, et le soutien permanent venu de  
toi*

*Mes chers frères : Hossem et Hichem pour vous exprimer toute mon affection  
et ma tendresse*

*A ma tendre et chère belles-sœurs :*

*Maria, Ahlem et Sihem*

*A ceux je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu  
pour leurs conseils, aides, et encouragements*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à  
mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études, mes  
aimables amies.*

*A toutes les personnes qui connaissent Ilhem de près ou de loin, seulement  
pour leur existence qu' « Allah » leur accorde santé et prospérité*

*Ilhem*

### INTRODUCTION

Le quinoa est une culture qui constituait un aliment de base des populations indiennes depuis 5000 ans. Le développement technique de cette culture était bien avancé et répartie sur tout le territoire des incas. Par sa rusticité et sa richesse en protéine, cette espèce peut être cultivée en Algérie surtout dans les sols arides et semi-arides.

L'amélioration des rendements en grain, dans une région passe essentiellement par la recherche d'une meilleure adaptation à l'environnement et de trouver des variétés qui réalisent des bons résultats.

Le sol est actuellement considéré comme une interface dans l'environnement et une ressource pour le développement. Naturellement, le sol est une ressource lentement renouvelable. Or, du fait des activités humaines et des mauvaises relations actuelles entre les sols et les sociétés humaines, les sols sont soumis à différentes formes de dégradation, le plus souvent irréversibles. **(BOUALLA et al ,2012).**

La salinité constitue une gêne majeure qui affectent le sol et l'eau et par conséquent au développement de la production agricole et même, mener à la stérilité des sols. Elle se rencontre à de nombreuses zones du bassin méditerranéen et pour plusieurs raisons.

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la croissance et la production de quelques variétés de quinoa.

Ce travail contient de partie est structuré à la manière suivante :

La première partie est consacrée à un aperçu bibliographique et La deuxième partie de ce mémoire est consacrée à l'expérimentation qui décrit le matériel et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude, les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion. Enfin une conclusion et perspective.



# Introduction



## Liste des abréviations

<b>%</b>	Pour cent
<b>C<sup>0</sup></b>	Degrés Celsius
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>ds</b>	Déci siemens
<b>ESP</b>	Echangeable Sodium Pourcentage
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>g</b>	Gramme
<b>G%</b>	Le pourcentage définitif de germination
<b>ha</b>	Hectare
<b>INRAA</b>	Institut National de la recherche Agronomique, Station d'Adrar
<b>INRF</b>	Institut National de Recherche forestière
<b>ITDAS</b>	Institut Technique du développement de l'Agriculture Saharienne
<b>ITGC</b>	Institut Technique des Grandes cultures
<b>Kg</b>	Kilogramme
<b>L</b>	Litre
<b>m</b>	Mètre
<b>MADRPM</b>	Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes
<b>mm</b>	Millimètre
<b>ml</b>	Millilitre
<b>mmhos</b>	Millimhos
<b>MPa</b>	Méga pascal
<b>ms</b>	Milli siemens
<b>N<sup>0</sup></b>	Nombre
<b>PH</b>	Potentiel d'hydrogène
<b>RFU</b>	Réserve facilement utilisable
<b>RU</b>	Réserve utile
<b>SAR</b>	Sodium Adsorption Ration
<b>tn</b>	Tonnes

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Durée de la phase semis – Levée.....	<b>50</b>
<b>Figure 02:</b> Durée de la phase levée – Deux feuilles vraies.....	<b>51</b>
<b>Figure 03:</b> Durée de la phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies.....	<b>52</b>
<b>Figure 04 :</b> Durée de la phase quatre feuilles – Six feuilles vraies.....	<b>53</b>
<b>Figure 05 :</b> Durée de la phase six feuilles vraies – Ramification.....	<b>54</b>
<b>Figure 06 :</b> Durée de la phase ramification – Début de formation de panicule.....	<b>55</b>
<b>Figure 07 :</b> Durée de la phase début de formation de panicule – panicule.....	<b>56</b>
<b>Figure 08 :</b> Durée de la phase panicule – Début de floraison.....	<b>57</b>
<b>Figure 09:</b> Durée de la phase début de floraison – Floraison.....	<b>58</b>
<b>Figure 10:</b> Durée de la phase floraison – grain laiteux.....	<b>59</b>
<b>Figure 11:</b> Durée de la phase grain laiteux – grain pâteux.....	<b>60</b>
<b>Figure 12:</b> Durée de la phase grain pâteux – maturité.....	<b>61</b>
<b>Figure 13:</b> Hauteur des plantes (cm).....	<b>63</b>
<b>Figure 14:</b> Surface foliaire au stade panicule.....	<b>65</b>
<b>Figure 15:</b> Nombre de ramifications de trois variétés en fonction de la solution de Na Cl....	<b>67</b>
<b>Figure 16:</b> Nombre de panicules de trois variétés en fonction Des solutions de Na Cl.....	<b>69</b>
<b>Figure 17:</b> Poids de la panicule principale moyen.....	<b>71</b>
<b>Figure 18:</b> Poids de 1000 grains.....	<b>73</b>
<b>Figure 19 :</b> Production en matière sèche aérienne.....	<b>75</b>
<b>Figure 20:</b> Production en matière sèche racinaire.....	<b>76</b>
<b>Figure 21 :</b> La salinité des sols en ds / m (CE).....	<b>78</b>





## Liste des photos

<b>Photo 01</b> : Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du sud (la densité de gris reflète l'importance relative de la culture) (d'après National Research council, 1989).....	<b>05</b>
<b>Photo 02</b> : Culture de la plante quinoa (ITDAS, 2019).....	<b>06</b>
<b>Photo 03</b> : Le système racinaire de la plante quinoa (FAO, 2013).....	<b>07</b>
<b>Photo 04</b> : La tige de la plante quinoa (ITDAS, 2019).....	<b>07</b>
<b>Photo 05</b> : les feuilles de la plante quinoa (FAO, 2013).....	<b>08</b>
<b>Photo 06</b> : L'inflorescence de la plante quinoa (FAO, 2013).....	<b>08</b>
<b>Photo 07</b> : La fleur de la plante quinoa (FAO, 2013).....	<b>09</b>
<b>Photo 08</b> : Fruit du quinoa (FAO, 2013).....	<b>09</b>
<b>Photo 09</b> : Semences de quinoa (FAO, 2013).....	<b>10</b>
<b>Photo 10</b> : Le site expérimental (Originale ,2019).....	<b>39</b>
<b>Photo 11</b> : La variété Q <sub>12</sub> (ITDAS, 2019).....	<b>40</b>
<b>Photo 12</b> : La variété Santo Maria (ITDAS, 2019).....	<b>40</b>
<b>Photo13</b> : La variété Pidjde panicule principale (ITDAS, 2019).....	<b>40</b>
<b>Photo 14</b> : La serre en plastique (Originale, 2019).....	<b>40</b>
<b>Photo15</b> : Les pots en plastique (Originale, 2019).....	<b>41</b>
<b>Photo 16</b> : Le gravie (Originale, 2019).....	<b>41</b>
<b>Photo 17</b> : Le sol (Originale, 2019).....	<b>41</b>
<b>Photo 18</b> : Le semis (Originale, 2019).....	<b>42</b>
<b>Photo 19</b> : L'essai de capacité de rétention (Originale, 2019).....	<b>43</b>
<b>Photo 20</b> : La germination du grain de quinoa (Originale, 2019).....	<b>44</b>

<b>Photo 21</b> : Stade semis – Levée (Originale, 2019).....	<b>50</b>
<b>Photo 22</b> : Stade Levée – Deux feuilles vraies (Originale, 2019).....	<b>51</b>
<b>Photo 23</b> : Phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies (Originale ,2019).....	<b>52</b>
<b>Photo 24</b> : Phase quatre feuilles – six feuilles vraies (Originale,2019).....	<b>53</b>
<b>Photo 25</b> : Phase six feuilles - Ramification (Originale, 2019).....	<b>54</b>
<b>Photo 26</b> : Phase ramification – Début de formation de panicule (Originale,2019).....	<b>55</b>
<b>Photo 27</b> : Phase début de formation de panicule – Panicule (Originale, 2019).....	<b>56</b>
<b>Photo 28</b> : Phase panicule - Début de floraison (Originale ,2019).....	<b>57</b>
<b>Photo 29</b> : Phase début de floraison –Floraison (Originale, 2019).....	<b>58</b>
<b>Photo 30</b> : Phase floraison – Grain laiteux (Originale, 2019).....	<b>59</b>
<b>Photo 31</b> : Phase grain laiteux – Grain pâteux (Originale ,2019).....	<b>60</b>
<b>Photo 32</b> : Phase grain pâteux - maturité (Originale ,2019).....	<b>61</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> Mécanisme de résistance et de tolérance du quinoa à la sécheresse (d après Mujica et al ,2001).....	<b>17</b>
<b>Tableau 02:</b> Mécanismes de résistance du quinoa au froid (d’après Majica et al ., 2001).....	<b>19</b>
<b>Tableau 03 :</b> Composition des grains de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche) (d’après Tapia et al ., 2000, Feillet 2000).....	<b>21</b>
<b>Tableau 04:</b> Comparaison des besoins humains en acides aminés et des teneurs en acides aminés essentiels des protéines du lait, du quinoa, du blé et du soja (mg d’acides aminés/g de protéine) (Adaptés de FAO., 1985, FAO., 1970, Ayala 2001).....	<b>21</b>
<b>Tableau 05 :</b> Caractéristique du sol.....	<b>39</b>
<b>Tableau 06:</b> Dispositif expérimental.....	<b>44</b>
<b>Tableau 07 :</b> Identification des stades phénologiques du quinoa (ITDAS, 2019).....	<b>45</b>
<b>Tableau 08:</b> La durée du stade phénologiques en jours.....	<b>46</b>
<b>Tableau 09 :</b> Analyse de la variance de l’effet de variété (Hauteur des plantes).....	<b>63</b>
<b>Tableau 10 :</b> Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Hauteur des plantes).....	<b>63</b>
<b>Tableau 11 :</b> Groupes homogènes d’interaction variétés*Solutions (Hauteur des plantes)...	<b>64</b>
<b>Tableau 12 :</b> Analyse de la variance (Surface Foliaire).....	<b>66</b>
<b>Tableau 13 :</b> Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Surface Foliaire).....	<b>66</b>
<b>Tableau 14 :</b> Groupes homogènes de l’interaction variété*solution (Surface Foliaire).....	<b>66</b>
<b>Tableau 15 :</b> Groupes homogènes des variétés (Nombre de ramification).....	<b>68</b>
<b>Tableau 16 :</b> Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Nombre de ramification)...	<b>68</b>
<b>Tableau 17 :</b> Groupes homogènes de l’interaction variétés * solutions (Nombre de ramification).....	<b>68</b>
<b>Tableau 18 :</b> Groupes homogènes des variétés (Nombre de panicules).....	<b>69</b>

<b>Tableau 19</b> : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Nombre de panicules).....	<b>70</b>
<b>Tableau 20</b> : Groupes homogènes de l'interaction variétés*solutions(Nombre de panicule)	<b>70</b>
<b>Tableau 21</b> : Groupes homogènes des variétés (Poids de la panicule principale).....	<b>71</b>
<b>Tableau 22</b> : Groupes homogènes des solutions salées (Nombre de panicule).....	<b>72</b>
<b>Tableau 23</b> : Groupes homogènes de l'interaction variétés*solutions (Nombre de panicule)	<b>72</b>
<b>Tableau 24</b> : Groupes homogènes des variétés (Poids de 1000 grains).....	<b>73</b>
<b>Tableau 25</b> : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Poids de 1000 grains).....	<b>73</b>
<b>Tableau 26</b> : Groupes homogènes de l'interaction variété*solutions (Poids de 1000 grains).	<b>74</b>
<b>Tableau 27</b> : Groupes homogènes des variétés (Production en matière sèche aérienne).....	<b>75</b>
<b>Tableau 28</b> : Groupes homogènes des solutions salées (Production en matière sèche aérienne).....	<b>75</b>
<b>Tableau 29</b> : Groupes homogènes de l'interaction variétés*solutions (Production en matière sèche aérienne).....	<b>76</b>
<b>Tableau 30</b> : Groupes homogènes des variétés (Production en matière sèche racinaire).....	<b>77</b>
<b>Tableau 31</b> : Groupes homogènes des solutions salées (Production en matière sèche racinaire).....	<b>77</b>
<b>Tableau 32</b> : Groupes homogènes de l'interaction variétés*solutions (Production en matière sèche racinaire).....	<b>77</b>
<b>Tableau 33</b> : Groupes homogènes des variétés (Salinité du sol en ds/m).....	<b>78</b>
<b>Tableau 34</b> : Groupes Homogènes des solutions (Salinité du sol en ds/m).....	<b>78</b>
<b>Tableau 35</b> : Groupes homogènes de l'interaction (Variété*solutions) (Salinité du sol en ds/m).....	<b>79</b>





## Chapitre III : Matériel et méthode

### III.1. Objectif de travail

L'objectif de cette expérimentation est d'étudier l'effet de la salinité sur 03 variétés de quinoa pour évaluer les caractères morphologique et productive.

### III.2. Site expérimental

L'expérimentation est réalisée sous serre ouverte sur les extrémités de dimension (7.30 m × 6.10 m × 2.20 m), au département d'agronomie à l'université de Biskra durant la campagne 2018/2019.



**Photo 10: Le site expérimental (Originale ,2019)**

### III.3. Caractéristiques du sol

Le tableau suivant représente les caractéristiques du sol

**Tableau 5 : Caractéristique du sol**

Paramètre	Résultat	Identification
PH	6.68	Neutre
CE	02.65 ds/m	Faiblement salé
Calcaire total	38.7 %	Fortement calcaire
Texture	SG=55/SF=26.7/AI=18.3	Sableux – limono

### III.4. Matériel d'étude

#### III.4.1. Matériel végétal

La présente étude a été portée sur 03 variétés de quinoa, la variété *Santo maria* ( $V_1$ ), la variété  $Q_{12}$  ( $V_2$ ), et la variété *Pidjde* panicule principale ( $V_3$ ).



**Photo 11: La variété  $Q_{12}$**

(ITDAS, 2019)



**Photo 12: La variété *Santo Maria***

(ITDAS, 2019)



**Photo13: La variété *Pidjde* panicule principale**

(ITDAS, 2019)

#### III.4.2. Matériel technique utilisé

\*Serre en plastique (7.30 m × 6.10 m × 2.20 m )



**Photo 14: La serre en plastique (Originale, 2019)**

\*Pots en plastique (24 cm)



**Photo15: Les pots en plastique (Originale, 2019)**

\*Gravier



**Photo 16: Le gravie (Originale, 2019)**

\*Eau d'arrosage

\*Engrais potassique (K 50 %)

\*Engrais (20/20/20)

\*Sol



**Photo 17: Le sol (Originale, 2019)**

### III.5. Méthodologie de travail

#### III.5.1. Préparation des pots et semis

Le sol échantillonné provient d'une parcelle agricole située au niveau du département de la science agronomique Biskra.

Le sol a été tamisé pour extraire les gros cailloux et les pierres, ce sol a été prélevé pour préparer un substrat de semis, le substrat a été réparti dans 36 pots d'un volume de 08 Kg, une couche de 1-2 centimètre de gravier de taille moyenne a été placée au fond des pots afin de faciliter le drainage.

Dans chaque pot ont été repiqués 03 poquets à 2 à 3 graines par poquets, les pots sont ensuite irrigués à leur capacité de rétention (03 L), le semis a été réalisé le **17/12/2018**.



**Photo 18: Le semis (Originale, 2019)**

#### III.5.2. La capacité de rétention

Pour déterminer la capacité de rétention, on a amené un pot vide et on a le remplit avec le sol, et puis on a le peser, on a trouvé 11.75 Kg, ce dernier présente le poids du pot plus le sol sèche, et puis on a prendre le pot et on a le met dans un bassin contient l'eau, et après 24 heures on a le peser et on a trouvé 14.13 Kg est ca présente le poids du pot plus le sol humide.

Pour déterminer la capacité de rétention on déduit le poids de pot plus le sol humide (14.13) par le poids du pot plus le sol sèche (11.75), on a trouvé environ 03 L.

Donc on déduit que la capacité de rétention de ce sol est environ 03 L.



**Photo 19 : L'essai de capacité de rétention (Originale, 2019)**

### III.5.3. Fertilisation minérale

Potassium (50 %) est apporté à la dose de 03 g / pot avec le semis. **(ITDAS)**

NPK (20/20/20) est apporté à la dose de 20 g / l au stade deux feuilles vraies et le deuxième apporté au stade panicule. **(ITDAS)**

### III.5.4. Préparation d'eau d'arrosage

On a préparée 04 solutions, chaque solution à une valeur de conductivité électrique cette dernière identifier la salinité d'eau d'irrigation, et dans ce cas on a utilisée le Na Cl pour préparer les différentes concentrations des solutions.

La solution  $S_0$  → Témoin = eau de robinet = 03.84 g/l = 06 ds/m (eau moyennement salé).

**Obs.** Pour connaître la conductivité électrique on a utilise le conductivimètre.

La solution  $S_1$  → eau d'irrigation moyennement salé.

On a préparé cette solution pour que la conductivité électrique sera 08 ds/m, donc on doit mettre 05, 12 g de Na Cl dans 1 L d'eau distillé, ou bien on prépare le  $S_1$  utilisant  $S_0$ , et dans ce cas la on doit ajouter 01, 28 g de Na Cl dans 1 L d'eau ( $S_0$ ).

La solution  $S_2$  → eau d'irrigation salée (16 ds/m, 10.24 g/l).

Pour préparer cette solution on a ajouté 6,4 g de Na Cl dans un litre d'eau ( $S_0$ ).

La solution  $S_3$  → eau d'irrigation très fortement salé (20 ds/m, 12.18g/l).

Pour préparer cette solution on a ajouté 08, 34 g de Na Cl dans un litre d'eau ( $S_0$ ).

### III.5.5. Dispositif expérimentale

L'essai comporte 03 variétés de quinoa ( $V_1$ = Santo maria,  $V_2$ = Q12,  $V_3$ = Pidjde panicule principale), soumises au stress salin par irrigation à quatre niveaux (Témoin = eau de robinet =  $S_0$  = 3.9g/l,  $S_1$ = 6 g/l,  $S_2$ = 10 g/l,  $S_3$ = 13 g/l) de Na Cl.

Chaque traitement est répétée 03 (trois) fois selon un dispositif de type factoriel bloc.

**Tableau 06: Dispositif expérimental**

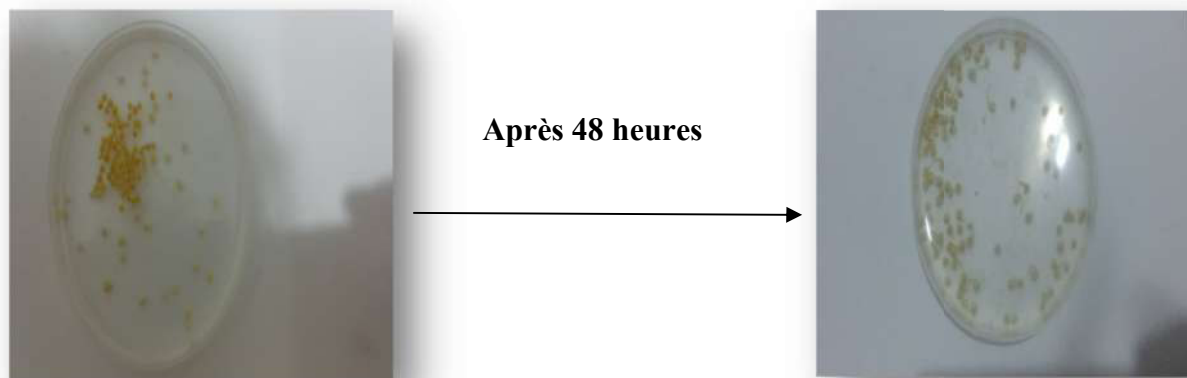
Bloc 01	Bloc 02	Bloc 03
$V_1 S_0$ $V_1 S_1$	$V_3 S_2$ $V_3 S_3$	$V_2 S_0$ $V_2 S_3$
$V_1 S_2$ $V_1 S_3$	$V_3 S_3$ $V_3 S_1$	$V_2 S_2$ $V_2 S_1$
$V_2 S_0$ $V_2 S_1$	$V_2 S_2$ $V_2 S_3$	$V_1 S_1$ $V_1 S_0$
$V_2 S_2$ $V_2 S_3$	$V_2 S_0$ $V_2 S_1$	$V_1 S_3$ $V_1 S_2$
$V_3 S_0$ $V_3 S_1$	$V_1 S_2$ $V_1 S_3$	$V_3 S_0$ $V_3 S_1$
$V_3 S_2$ $V_3 S_3$	$V_1 S_0$ $V_1 S_1$	$V_3 S_2$ $V_3 S_3$

### III.5.6. Paramètre mesurés

#### III.5.6.1. Paramètre morphologique

##### A/ Test de germination

La détermination du pourcentage des grains susceptibles de germer est réalisée par l'imbibition de 100 grains dans l'eau en condition de température  $25\text{ C}^0$ , pendant 48 heures



**Photo 20 : La germination du grain de quinoa (Originale, 2019)**

**B/ stades de développement****Tableau 07 : Identification des stades phénologiques du quinoa (ITDAS, 2019)**

<b>Les stades</b>	<b>Identification</b>
<b>Stade lavé</b>	*Est atteint lors de la sortie des feuilles cotylédonaire. * On note la date lorsque la levée a été atteinte par 90 % des plantes lavées.
<b>Deux feuilles vraies</b>	*On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes.
<b>Quatre feuilles vraies</b>	*L'apparition des deuxièmes paires des feuilles vraies. *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes.
<b>Six feuilles vraies</b>	*L'apparition de la 3 <sup>ème</sup> paire des feuilles vraies. *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes de la parcelle.
<b>Ramification</b>	* A partir de stade de 08 feuilles, les feuilles cotylédonaire jaunies et tombe et laisse une cicatrice sur la tige. * On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes.
<b>Début de la formation da panicule</b>	*L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante. La tige s'allonge et son diamètre augmente. *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes.
<b>Panicule</b>	*L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, et la composition des glomérules et les boutons floraux. *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes
<b>Début de floraison</b>	*L'ouverture d'une 1 <sup>ère</sup> fleur de l'inflorescence *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50



	% des plantes
<b>Floraison</b>	*L'ouverture de 50 % des fleurs de l'inflorescence *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes.
<b>Grain laiteux</b>	*L'existence d'un liquide blanchâtre dans le fruit *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes
<b>Grain pâteux</b>	*L'intérieur du fruit devient d'une consistance pâteuse. *On note la date lorsque le stade a été atteint par 50 % des plantes
<b>Maturité physiologique</b>	*On note la date lorsque le stade a été atteint par 90 % des plantes

Tableau 08: La durée du stade phénologiques en jours

Les stades	Nombre de jour théorique
Stade levée	07-10 j
Deux feuilles vraies	15-20 j
Quatre feuilles vraies	25-30 j
Six feuilles vraies	35-45 j
Ramification	45-50 j
Début de la formation de panicule	55-60 j
Panicule	65-70 j
Début de la floraison	75-80 j
Floraison	90-100 j
Grain laiteux	100-130 j
Grain pâteux	130-160 j
Maturité physiologique	160-180 j
Nombre totale de jours	Environ 180 j (06 mois)

**C/ Hauteur de la plante (HP)**

La hauteur de la plante (cm) est mesurée par une règle graduée au stade panicule (KADRI et al ,2009).

**D/ Surface foliaire**

Déterminée en prenant cinq feuilles supérieures au hasard pour mesurer la surface foliaire, cette dernière est estimée par la méthode de ADJAL (2006) qui consiste de :

- Placer la feuille sur du papier
- Découper les contours de la feuille
- Peser la partie représente la feuille (PF)
- Déterminer par pesée le poids (Pp) correspondant à une surface SP connue d'un carré du même papier.
- Déduire la surface de la feuille SF par la formule suivant :

$$SF = \frac{PF*SP}{Pp}$$

**E/ Nombre de ramifications et panicules par plant**

On compte ces deux paramètres au stade panicule.

**F/ Biomasse sèche aérienne et racinaire**

La teneur en matière sèche et exprimer en g ou en pourcentage par apport au poids de l'échantillon.

La méthode de mesure consiste à mettre à l'étuve à 105 C<sup>0</sup> ,jusqu'à obtention d'une masse constante.

**G/ Poids de 1000 graines**

Après récolte pour chaque pot en prend une quantité de graines à partir de celles récoltées.

On compte 1000 graines et on les pèse pour chaque répétition.

**H/ Mesure de la salinité en ds/m (CE)**

Les échantillons du sol ont été pris après la récolte environ 10 jours à une profondeur de 30 cm. Les mesures de conductivité électrique est fait à l aide d'un conductivimètre pour un rapport (1/5).

**III.5.6.2. Analyse statistique**

L'analyse de variance a été effectuée à l'aide du logiciel **XLSTAT(2009)**. La comparaison des moyennes a été selon le test de Newman-Keuls.

# Partie I

## Synthèse bibliographique

## Partie II

# Etude Expérimentale

## *Remerciement*

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

*Nous remercions vivement notre encadreur :*

*Madame Kessai Abba pour son aide, sa compréhension et ses conseils.*

*Nous tenons à remercier les membres du jury Ms Guimer, Ms Ben Ismail pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail*

*Nos sincères remerciements vont également aux Enseignants de spécialité hydro-pédologie, Md Mabrek, Ms Samir Boudhibi, Ms Samir Merdaci, Md Hiouni Fatima, Ms Hadjeb Ayoub, Ms Khaled Boukehil, Ms Khechai Salim , .....etc*

*Et tous les enseignants à la faculté des sciences de la nature et la vie, université Mohamed Khider Biskra*

*Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin pour la réalisation de ce travail en particulier.*

*J.L#EM*



**Références**

**bibliographiques**



## Références bibliographiques

1. **Ayala G., Ortega L., Moron C., 2001.** Quinoa (chenopodium quinoa willd) : Valor nutritivo y usos de la quinoa .In : IZquierdo fernandez J.I et al., eds .cultivos Andinos .Santiago FAO.
2. **Belkacem Bekkoussa et al., 2013.** origine de la salinité et des principaux éléments majeurs des eaux de la nappe phréatique de la plaine de Ghriss ,Nord-Ouest algérien . Journal des sciences hydrologiques.
3. **Bosque, S.H., Ilemieur, R., Van Damme, P., Jacobsen, S.E., 2003.** Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (chenopodium quinoa willd). Food Reviews International, 19:111-119.
4. **Brack Egg., (2003).** Pérou : diez mil años de domesticación . Lima :Editorial Bruno
5. **Boivin et J.Y. Le BRUSQ., 26 Avril 1985.** Désertification et salinisation des terres au Sénégal : Problèmes et remèdes, centre de DAKAR, P (1-3).
6. **Chauhan G.S., Eskin N.A.M and Tkachuk R., 1992.** Nutrients and antinutrients in quinoa seed cereal chem., 69,85-88.
7. **Dini I., Tenore G.C and Dinia., 2004.** Phenolic constituents of Kancolla seeds .Food chem., 84,163-168.
8. **Didier Bazile., (09 Février 2015).** les enjeux d'une conquête.
9. **Espindola G., 1986.** Resquestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas del quinoa al déficit hídrico thesis : Colegio de post-graduados, universidad chapingo (Mexico).
10. **Espindola G., 1992.** Proyecto de fortalecimiento y modernización .IBTA-BM. In : Informe Anual 1992. Programa quinoa. La Paz :Estacion Experimental de patacamaya, 37-42.
11. **Faiz, Mohammed El, (1 Jan 1990).** Salinité et Histoire de L'Irak pré -islamique, Journal of the economic and social History of the orient, London.
12. **Galwey N.W., 1993.** The potential of quinoa as a multi -purpose crop for agricultural diversification : a review .Ind.Crops Prod., 1,101-106.
13. **Georges Aubert., 1975.** observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sols sodiques. szevice scientifiques cenraux, 70-74, route d'Aulnyas
14. **ITDAS, (2015).** Protocole d'observation de la culture du quinoa .P14

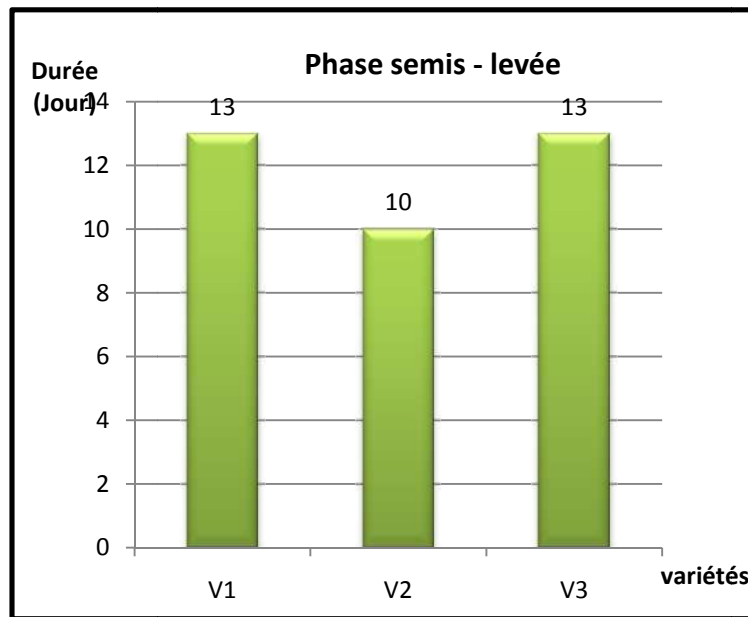
15. **Jacobsen S.E., 1997** .Adaptation of quinoa (chenopodium quinoa) to Northern European agriculture : studies on developmental pattern.Euphytica, 96,41- 48.
16. **Jael Calla, (2012)**. Manejo agronomico del cultivo du quinoa
17. **KADRI.K.,MAALAM.S.,CHEIKH.M.H.,BENABDALLAH.A.,RAHMOUNE.C., BEN NACEUR.M.2009**.Effet du stress salin sur la germination,la croissance et la production en grain de quelques accessions tunisiennes D'orge (HORDEUM VULGARE L.).Sciences and technologie C- N<sup>0</sup> 29 Juin (2009):73
18. **Lacharme.M, 2001**.le control de la salinité dans les rizières
19. **Laguna P., Caceres Z and Carimentrand A ., (2006)**.Del altiplano sur boliviano hasta el mercado global : coordinacion y estructuras de gobernancia en la cadena de valor de la quinoa organica y del comercio Justo .Agroalimentaria22,65 ,-76.
20. **Mujica,A.,Jacobobsen ,S.E., IZ quierdo ,J.,Marathee ,J.P(coord),2001**.Quinoa (chenopodium quinoa willd):ancestral cultivo andino ,alimento del presente y futuro .CIP,UNAP,FAO,CD cultivos Andinos ,Version 1.0 FAO (Ed). Santiago, chile.
21. **MADRPM (Ministère de l'agriculture du développement rural et des pêches Maritimes), (2005)** .Fiche technique sur les cultures alternatives : Quinoa amarante et épeautre ,1-2 .
22. **Naima F ., 2017**. Effet du stress salin sur la germination et la développement des plantes d'haricot, Thèse de master 2, université Djilali Bounaama de khemis Miliana.
23. **Philippe Souchu, (29 Juin 2016)**. Les sels solubles, premier agent patogène des pierres.le site institutionnel du lerm.
24. **Risic and Galwey N.W., 1989**. The pattern of genetic diversity in the Anden grain crop quinoa (chenopodium quinoa willd).I. Associations between characteristics.Euphytica, 41,147-162.
25. **San Martin R.,Ndjokok and Hostettmannk .,2007**.Novel molluscicide against pomacea canaliculata based on quinoa (chenopodium quinoa) saponins.Crop Prot .,27,310-319.
26. **Sophie L.,(06 mai 2008)**.Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altipilano Bolivien.Thèse pour obtenir le garde de docteur de l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech ),INRA,VE1116 Agroclim-84000 Avignon ,IRD,UR 60 CLIFA ,la paz Bolivie .
27. **Tapia M.E et al ., 1979**.La quinoa y la kaniwa cultivos andinos. Serie librosy Materiales Educativos 49.Bogota:IICA, CIID.

- 28. Vidal Apaza (INIA), Gladys Caceres (INIA), Rigoberto Estrada (INIA), Rember Pinedo (FAO) 2013 .Catélogo de varie dades comerciales de quinoa en el peru**
- 29. Wilson H.D., (1988a).**Allozyme variation and morphological relation ship of chenopodium hircinum (S.L).Syst.Bot., 13,215-288.
- 30. Wilson H.D., (1988b).**Quinoa biosystematics.I: Domesticated population .Econ .Bot., 42,416-477.
- 31. [https://agronomie.info/Fr/Les-vegetaux-et le-stress/](https://agronomie.info/Fr/Les-vegetaux-et-le-stress/)**
- 32. [https://agronomie.info/Fr/le stress salin/](https://agronomie.info/Fr/le-stress-salin/)**

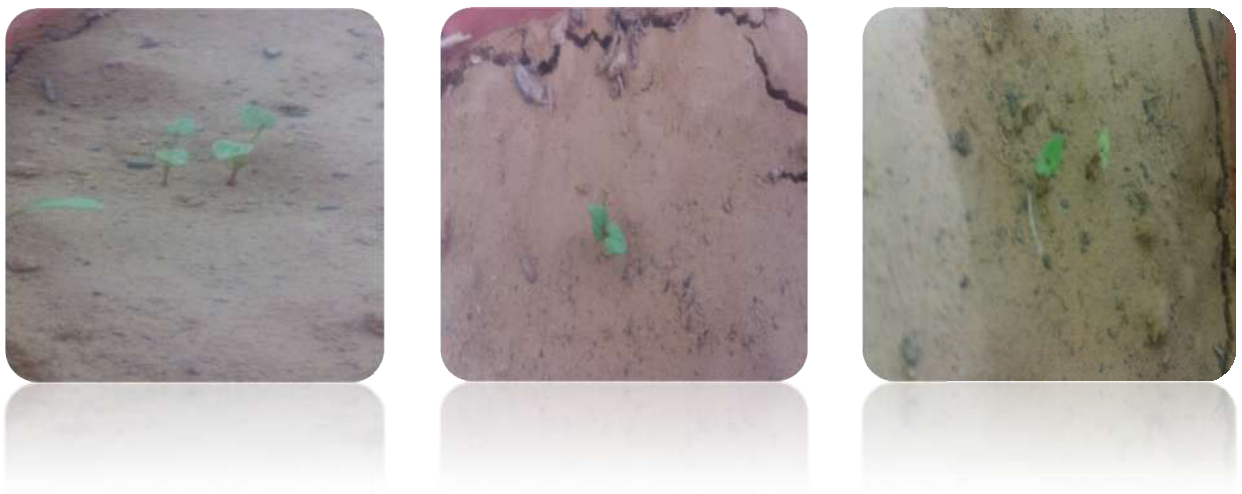
**IV.1/ L'effet du stress salin sur les caractéristique phénologique “ Date et durée de différentes phases de développement de plant ”**

**IV.1.1. Phase Semis – Levée**

La figure (01) montre que la durée de cette phase varie en fonction de la variété, chez la variété (V<sub>2</sub>) la levée plus précoce (10 jours), suivie par (V<sub>1</sub> et V<sub>3</sub>) (13 jours).



**Figure 01: Durée de la phase semis – Levée**



**Photo 21 : Stade semis – Levée (Originale, 2019)**

IV.1.2.Phase levée – Deux feuilles vraies

La figure (02) montre que la variété (V2) atteint le stade deux feuilles vraies dans 15 jours, suivi par les deux variétés (V<sub>1</sub>, V<sub>3</sub>) (19 jours).

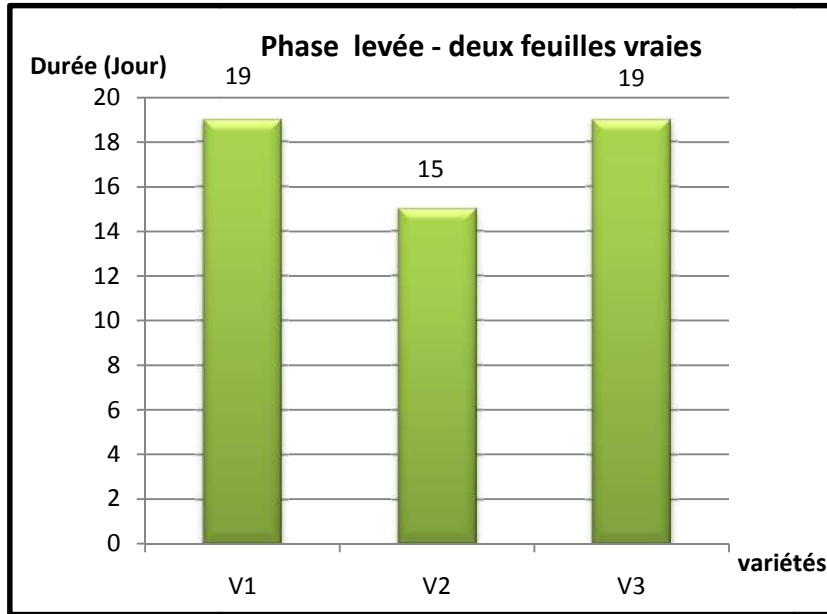


Figure 02 : Durée de la phase levée – Deux feuilles vraies



Photo 22: Stade Levée – Deux feuilles vraies (Originale, 2019)

IV.1.3. Phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies

La figure (03) montre que le stade quatre feuilles vraies atteint en premier lieu chez les variétés (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>) avec une durée de 24 jours, suivie par la variété (V<sub>3</sub>) avec une durée de 28 jours.

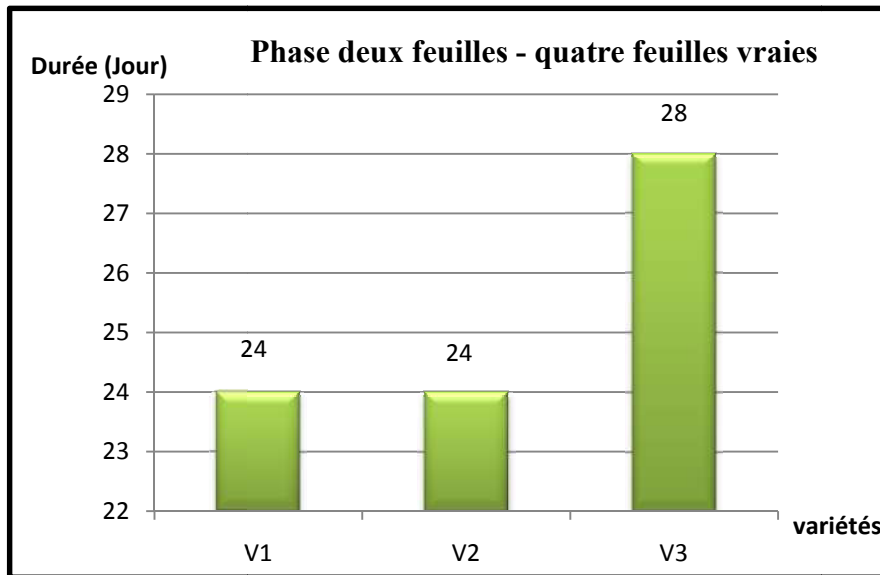


Figure 03: Durée de la phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies



Photo 23 : Phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies (Originale ,2019)

IV.1.4. Phase quatre feuilles– six feuilles vraies

La figure (04) montre que la variété (V<sub>2</sub>) atteint le stade six feuilles dans (35 jours) suivie par la variété (V<sub>1</sub>) dans (36 jours) et à la fin la variété (V<sub>3</sub>) avec (40 jours).

On déduit que La durée des phases précédentes est généralement influencée par le facteur variétal non par le facteur salin, vu que l'introduction du stress est appliquée après ce stade.

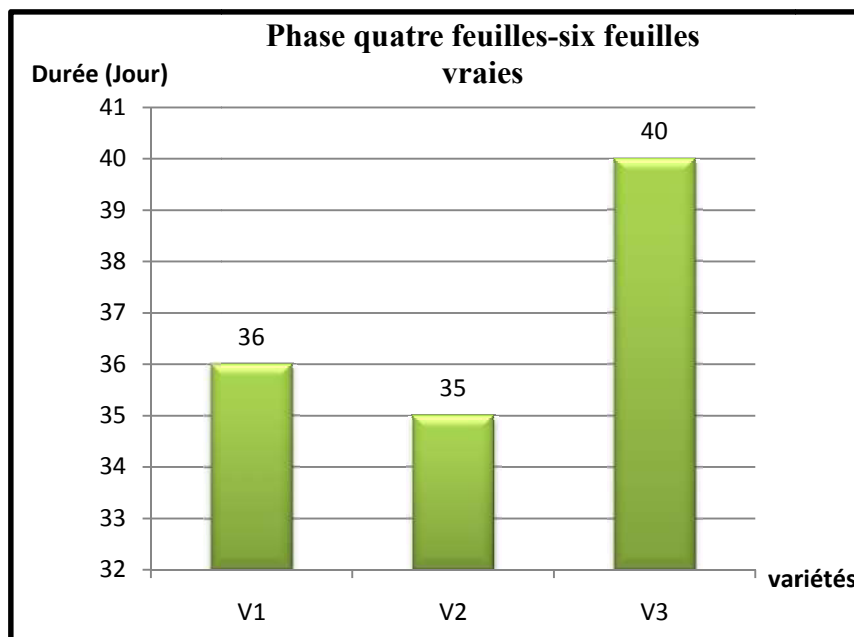


Figure 04 :Durée de la phase quatre feuilles – Six feuilles vraies



Photo 24 : phase quatre feuilles – six feuilles vraies (Originale,2019)

IV.1.5. Phase six feuilles vraies – Ramification

Après l’irrigation avec l’eau salée (application du stress salin), la figure (05) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>), le stade de ramification est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 46 jours, suivie par la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 47 jours, alors que la variété V<sub>1</sub> à enregistrer la plus longue durée de 55 jours.

On remarque que le stress salin a causée un retard dans la croissance de la plante d’environ 02 jours entre S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> pour les trois variétés.

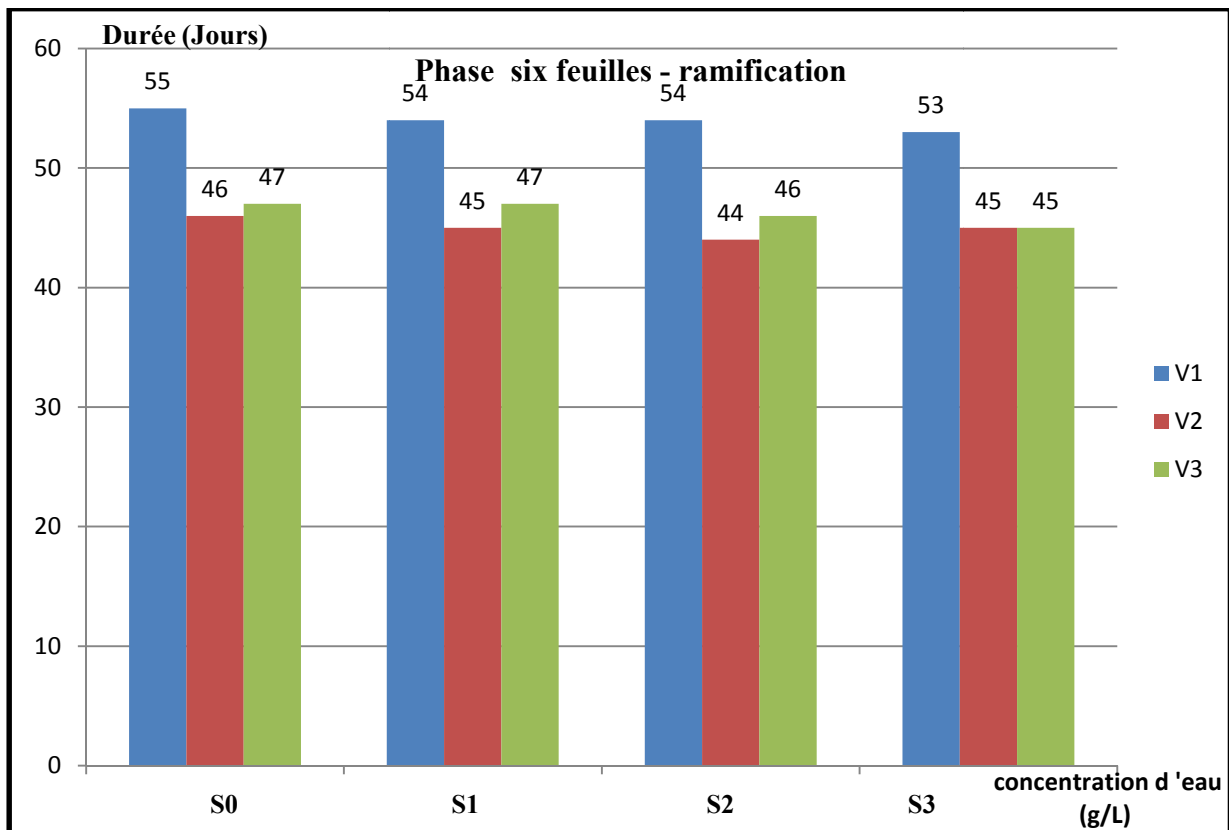


Figure 05 : Durée de la phase six feuilles – Ramification



Photo 25 : Phase six feuilles - Ramification (Originale, 2019)



IV.1.6. Phase ramification – Début de la formation de panicule

La figure (06) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>) le stade début de formation de panicule est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>1</sub> avec une durée de 57 jours, suivie par la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 59 jours, alors que la variété V<sub>2</sub> à enregistrer la plus longue durée de 63 jours.

On remarque que le stress salin à causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 01 jusqu'à 04 jours entre S<sub>0</sub> , S<sub>1</sub> , S<sub>2</sub> , S<sub>3</sub> pour les trois variétés.

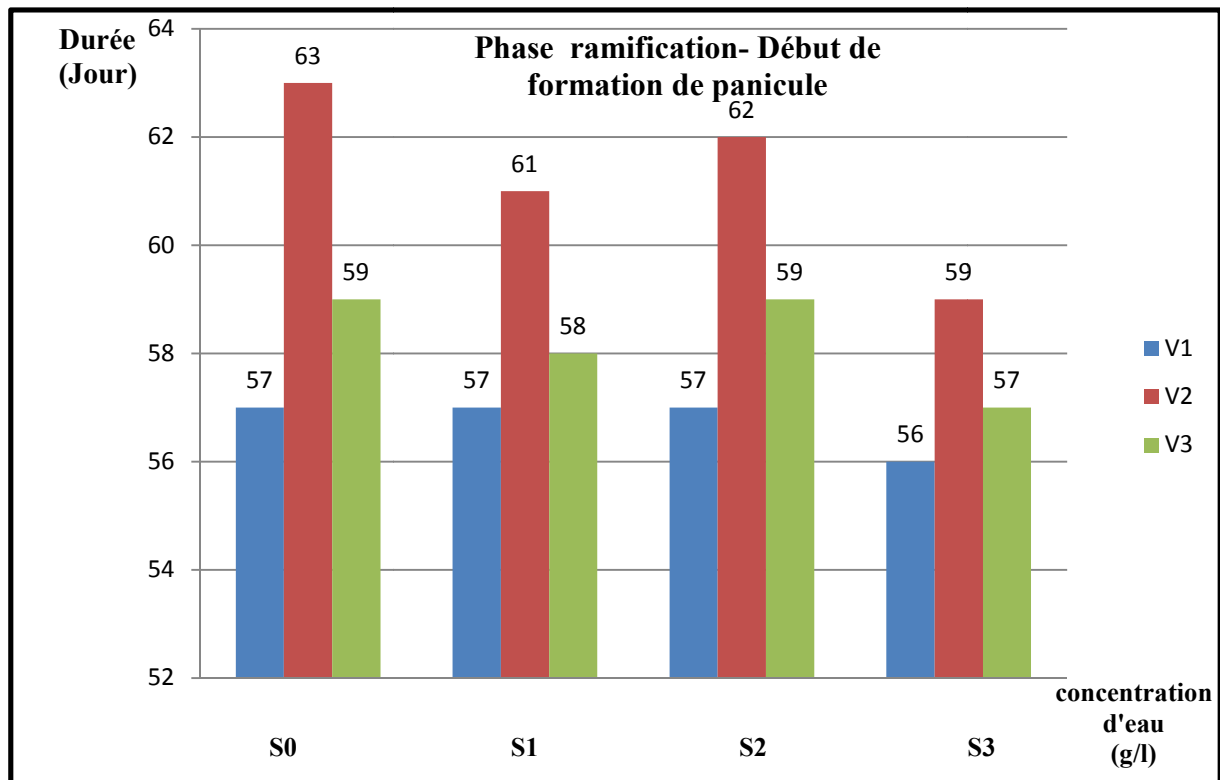


Figure 06 :Durée de la phase ramification – Début de formation de panicule



Photo 26 : Phase ramification – Début de formation de panicule (Originale,2019)

IV.1.7. Phase début de formation de panicule – Panicule

La figure (07) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>) le stade de panicule est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 86 jours , suivie par la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 90 jours , alors que la variété V<sub>1</sub> à enregistrer la plus longue durée de 94 jours.

On marque que le stress salin a causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 02 jusqu'à 03 jours entre S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> pour les trois variétés

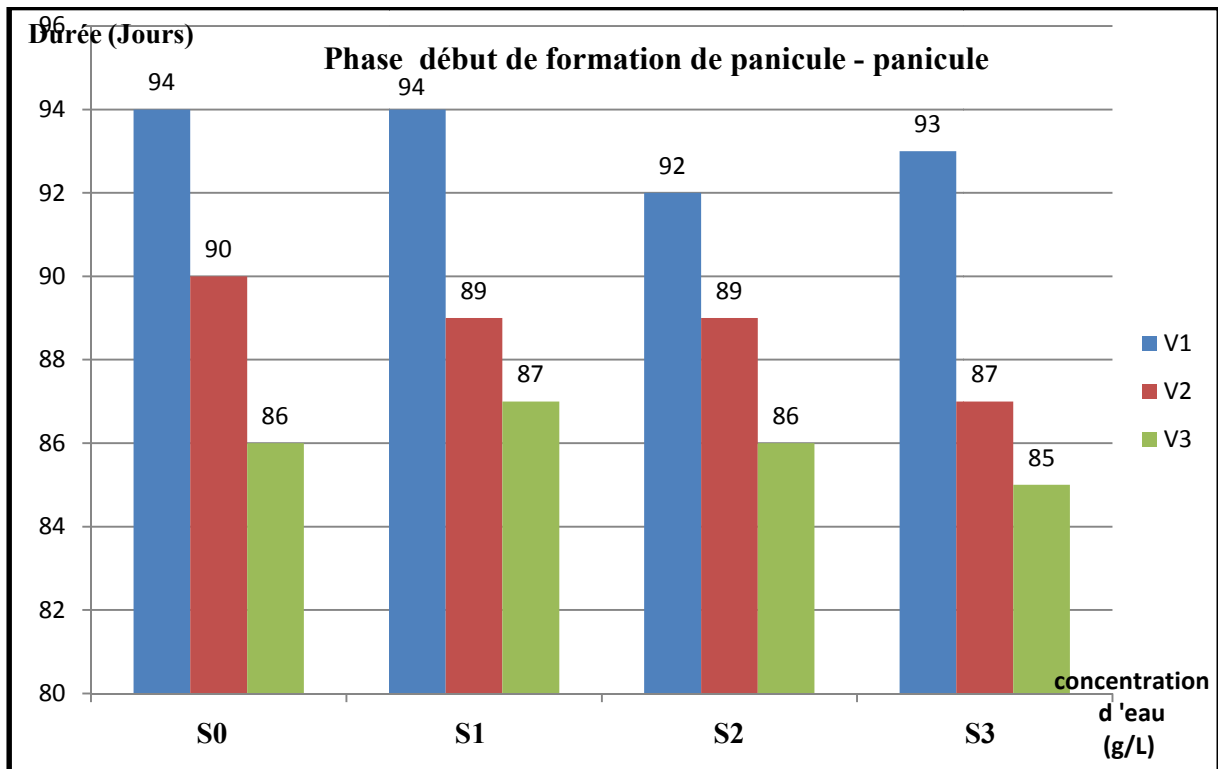


Figure 07 : Durée de la phase début de formation de panicule – panicule



Photo 27 : Phase début de formation de panicule – Panicule (Originale, 2019)

IV.1.8. Phase Panicule – Début de floraison

La figure (08) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>), le stade début de floraison est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 96 jours, suivie par la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 100 jours, alors que la variété V<sub>1</sub> à enregistrer la plus longue durée de 106 jours.

On marque que le stress salin a causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 02 jusqu'à 06 jours entre S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> pour les trois variétés.

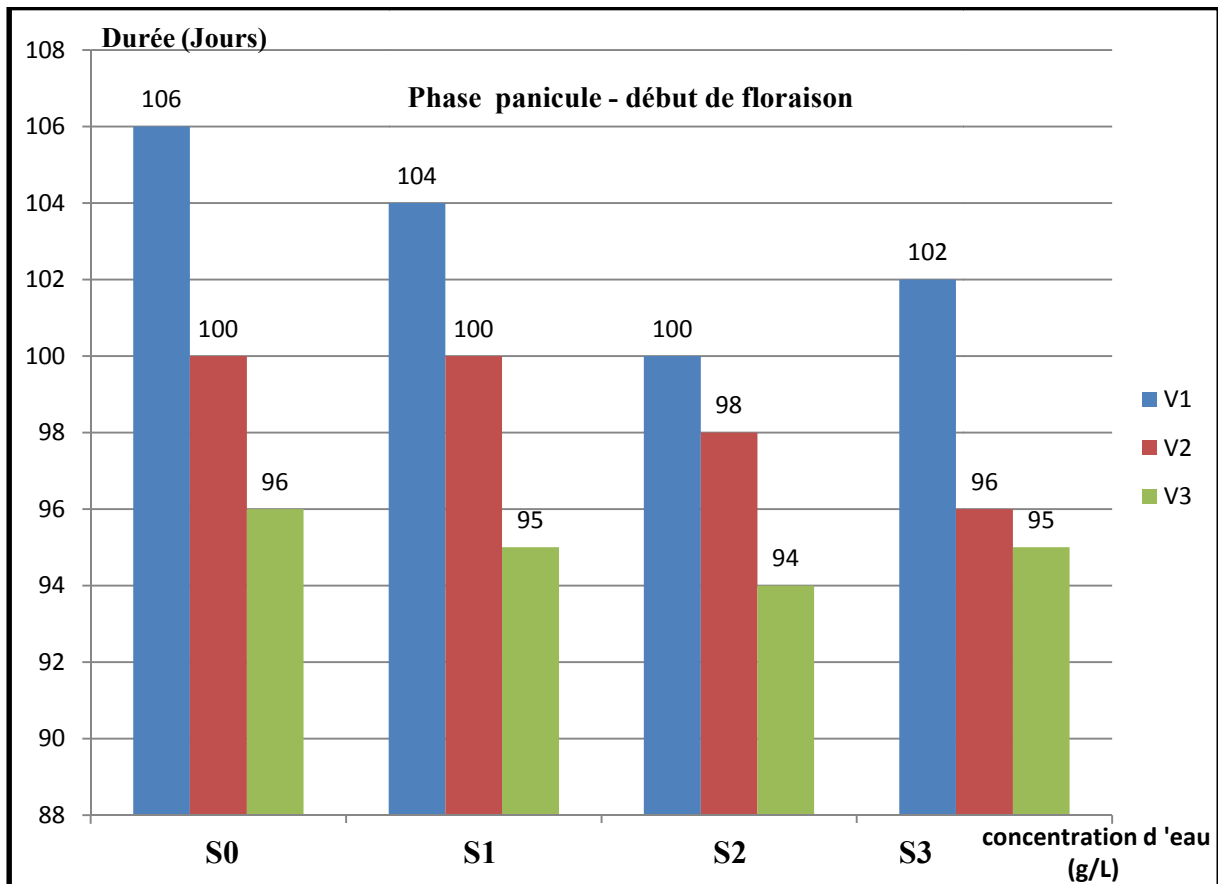


Figure 08: Durée de la phase panicule – Début de floraison



Photo 28 : Phase panicule - Début de floraison (Originale ,2019)

IV.1.9. Phase début de floraison-Floraison

La figure (09) montre que dans le traitement ( $S_0$ ), le stade de floraison est atteint en premier lieu chez la variété  $V_3$  avec une durée de 101 jours, suivie par la variété  $V_2$  avec une durée de 119 jours, alors que la variété  $V_1$  à enregistrer la plus longue durée de 126 jours.

On marque que le stress salin à causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 02 jusqu'à 04 jours entre  $S_0, S_1, S_2, S_3$  pour les trois variétés.

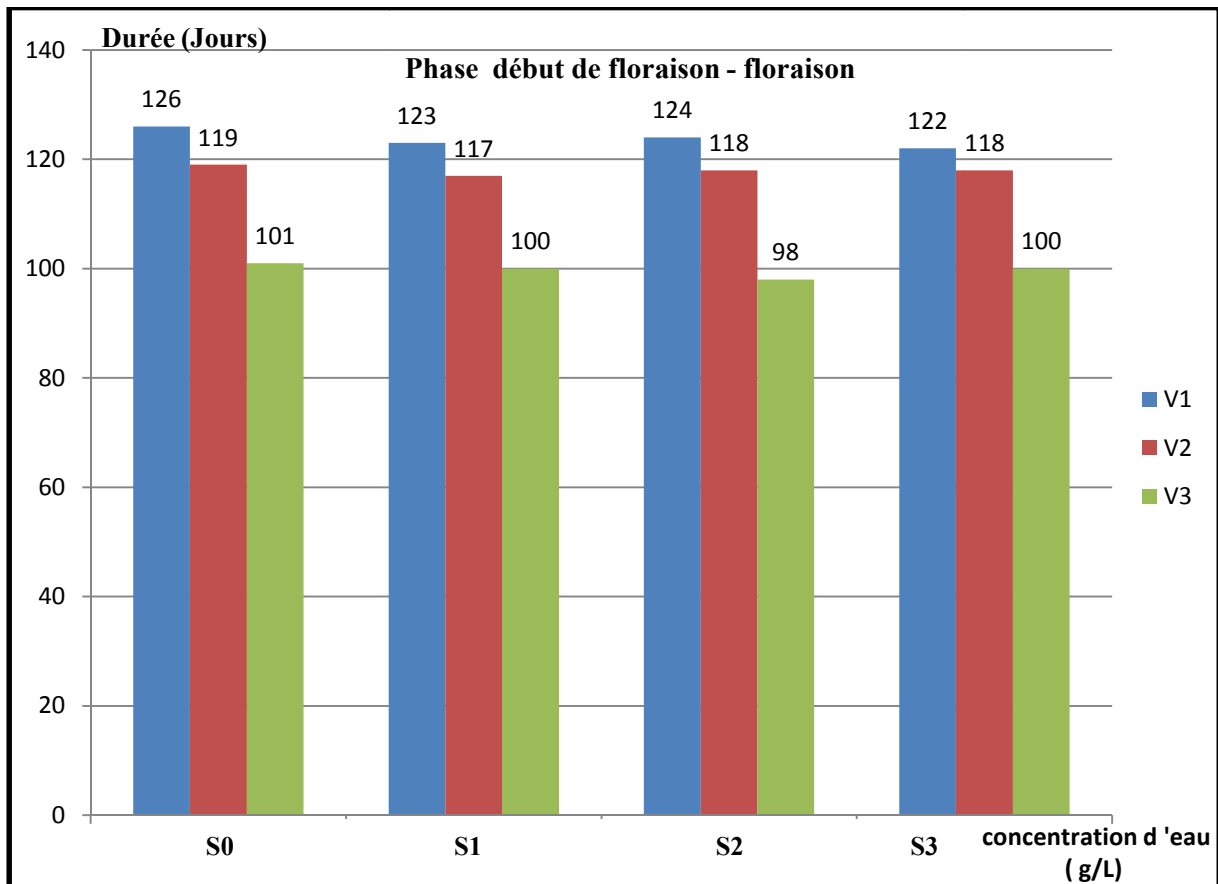


Figure 09: Durée de la phase début de floraison – Floraison



Photo 29 : Phase début de floraison –Floraison (Originale, 2019)

IV.1.10.Phase floraison – Grain laiteux

La figure (10) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>) le stade grain laiteux est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 121 jours, suivie par la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 129 jours, alors que la variété V<sub>1</sub> à enregistrer la plus longue durée de 136 jours.

On remarque que le stress salin a causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 02 jusqu'à 06 jours.

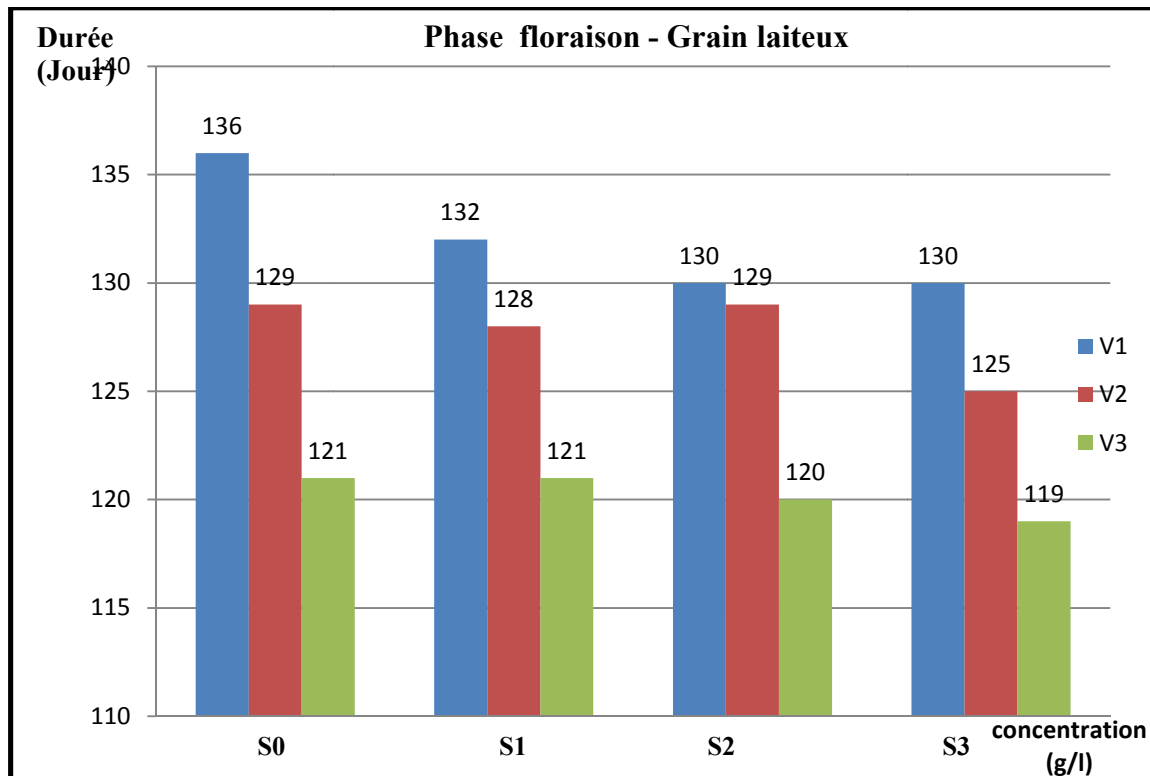


Figure 10 : Durée de la phase floraison – grain laiteux



Photo 30: Phase floraison – Grain laiteux (Originale, 2019)

IV.1.11.Phase grain laiteux – Grain pâteux

La figure (11) montre que dans le traitement (S<sub>0</sub>), le stade de grain pâteux est atteint en premier chez la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 148 jours, suivie par la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 156 jours, alors que la variété V<sub>1</sub> à enregistrer la plus long durée de 166 jours.

On marque que le stress salin a causée un retard dans la croissance de la plante d'environ 02 jusqu'à 06 jours entre S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> pour les trois variétés.

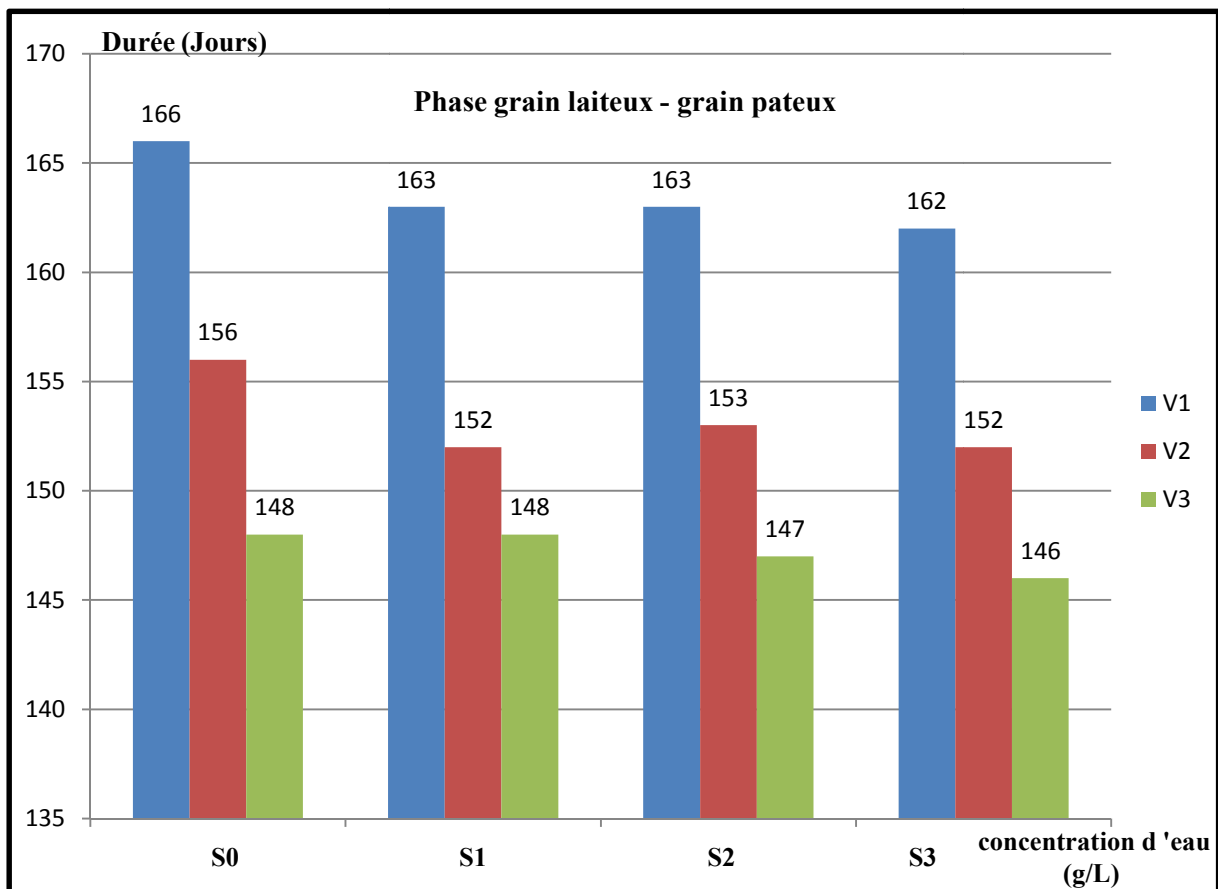


Figure 11: Durée de la phase grain laiteux – grain pâteux



Photo 31 : Phase grain laiteux – Grain pâteux (Originale ,2019)

IV.1.12. Phase grain pâteux – maturité.

La figure (12) montre que dans le traitement S<sub>0</sub>, Le stade de maturité est atteint en premier lieu chez la variété V<sub>3</sub> avec une durée de 154 jours, suivie par la variété V<sub>2</sub> avec une durée de 164 jours, alors que la variété V<sub>1</sub> a enregistré la plus longue durée de 207 jours.

On remarque que le stress salin a marqué un retard dans la croissance de la plante d'environ 2 jusqu' a 4 jours entre S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub> pour les trois variétés.

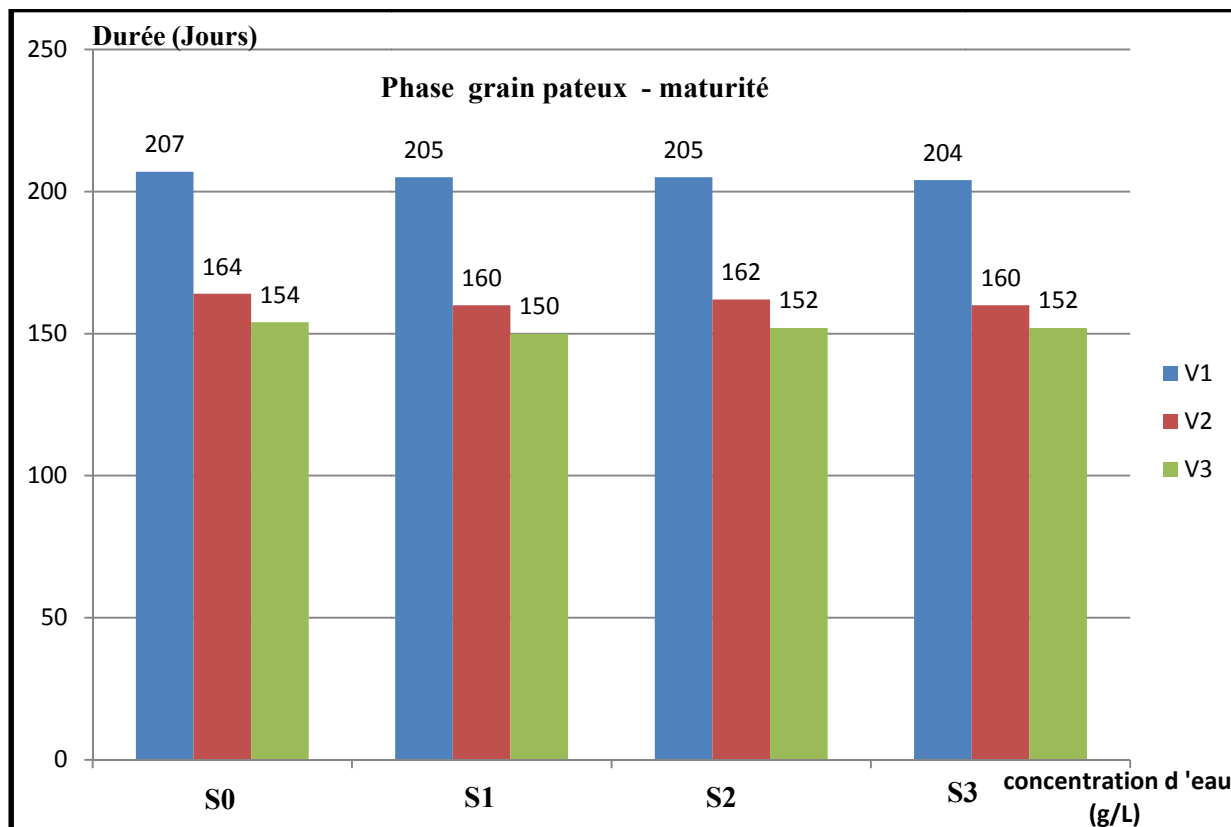


Figure 12: Durée de la phase grain pâteux – maturité



Photo 32 : Phase grain pâteux - maturité (Originale ,2019)

## IV.2. L'effet du stress salin sur les caractéristiques morphologique

### IV.2.1. Hauteur des plantes en cm (HP)

La figure (13) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( $S_0$ ) présente une hauteur la plus élevée par rapport aux autres traitements, l'analyse statistique montre d'après le tableau (10) une différence significative de l'effet de stress salin sur la hauteur, le traitement ( $S_0$ ) est classée en groupe A présentant la hauteur la plus élevée (31,8 cm), suivie par le traitement  $S_1$  et  $S_2$  en groupe B et le traitement  $S_3$  est classée en dernier groupe (groupe C), aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet de variété tableau (09) ou la variété  $V_3$  est classé en premier lieu (groupe A) présentant la hauteur la plus élevée (27,31cm) et les variétés  $V_1$  et  $V_2$  sont classées en groupe B.

L'interaction (variété \* solution) montre d'après le tableau (11) que statistiquement il y a une différence significative, ou on enregistre que  $V_3S_0$  est classée en premier groupe (groupe A) présentant la hauteur la plus élevée (36,2cm) suivie par les groupes  $V_1S_0$  et  $V_2S_0$  qui se sont classées en groupe B, suivie par le groupe  $V_3S_1$ ,  $V_3S_2$ ,  $V_3S_3$  qui sont classées en groupe C alors le dernier groupe D est classé par  $V_1S_1$ ,  $V_1S_2$ ,  $V_1S_3$  et  $V_2S_1$ ,  $V_2S_2$ ,  $V_2S_3$ .

Le stress salin entraîne une réduction significative de la hauteur des plantes chez la variété  $V_1$  et  $V_2$ . Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère. En effet, la hauteur des plantes a été réduite de 36.34 % entre le témoin et  $S_3$ .

Selon **KADRI et al. (2009)** plus la concentration de Na Cl augmente l'hauteur des plantes diminue, cela est en concordance avec nos résultats obtenus.



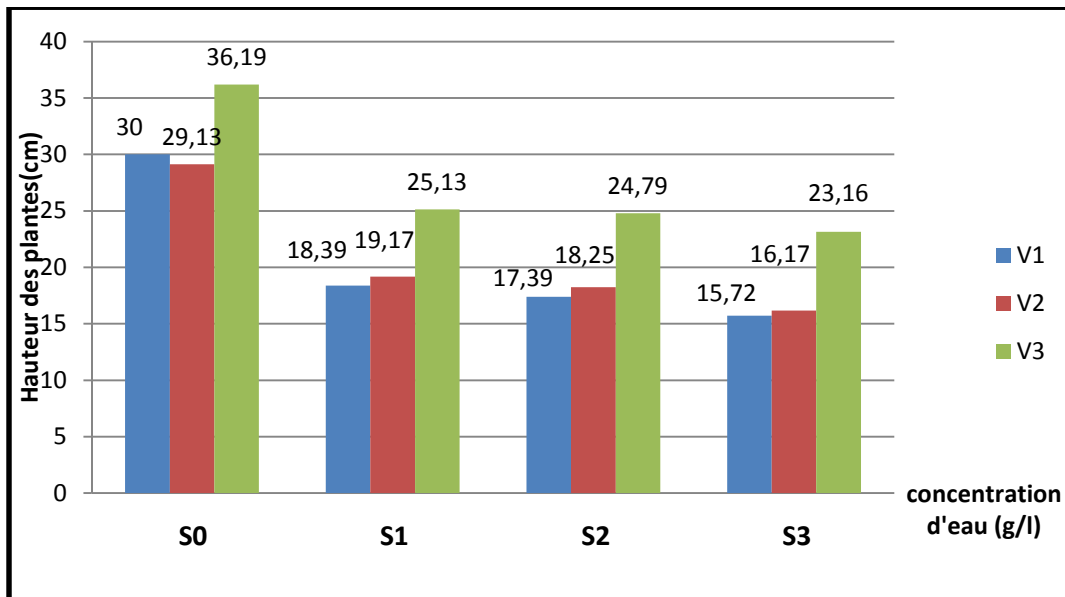


Figure 13 : Hauteur des plantes (cm)

Tableau 09 : Analyse de la variance de l'effet de variété (Hauteur des plantes)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V3	27,318	A
V2	20,680	B
V1	20,375	B

Tableau 10 : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Hauteur des plantes)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
S0	31,773	A
S1	20,897	B
S2	20,143	B
S3	18,350	C

Tableau 11 : Groupes homogènes d'interaction variétés\*Solutions (Hauteur des plantes)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
Var-V3*Trt-S0	36,190	A	
Var-V1*Trt-S0	30,000		B
Var-V2*Trt-S0	29,130		B
Var-V3*Trt-S1	25,130		C
Var-V3*Trt-S2	24,790		C
Var-V3*Trt-S3	23,160		C
Var-V2*Trt-S1	19,170		D
Var-V1*Trt-S1	18,390		D
Var-V2*Trt-S2	18,250		D
Var-V1*Trt-S2	17,390		D
Var-V2*Trt-S3	16,170		D
Var-V1*Trt-S3	15,720		D

#### IV.2.2. Surface foliaire

La figure (14) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( $S_0$ ) présente une surface foliaire la plus élevée par rapport aux autres traitements, l'analyse statistique montre d'après le tableau (13) une différence significative de l'effet de stress salin sur la surface foliaire, le traitement ( $S_0$ ) est classée en groupe A présentant la surface foliaire la plus élevée ( $20.67 \text{ cm}^2$ ), suivie par le traitement  $S_1$  et  $S_2$  en groupe B et le traitement  $S_3$  est classée en dernier groupe (groupe C), aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet de variété tableau (12) ou la variété  $V_1$  est classée en premier lieu (groupe A) présentant la surface foliaire la plus élevée ( $19.73 \text{ cm}^2$ ) suivie par la variété  $V_2$  qui se classe en groupe B et dernièrement la variété  $V_3$  qui se classée en groupe C.

L'interaction (variété \* solution) montre d'après le tableau (14) que statistiquement il ya une différence significative, ou on enregistre que  $V_1S_0$  est classée en premier groupe (groupe A) présentant la surface foliaire la plus élevée avec ( $25.33 \text{ cm}^2$ ) mais comme les résultat montre on vue que le stress salin entraine une réduction significative de la surface foliaire chez les trois variétés, par exemple le groupe  $V_1 S_0$  se classée en groupe A, suivie par  $V_1 S_1$  qui se classée en groupe B, et puis suivie par  $V_1 S_2$  qui se class en groupe C, et a la fin on a  $V_1 S_3$  qui se classée en groupe H.

Aussi pour la variété  $V_2$ , on vu qu'elle se classifie en plusieurs groupes, par exemple le groupe  $V_2 S_0$  est classé on groupe D suivie par  $V_2 S_1$  et  $V_2 S_2$  qui se classée en groupe F et à la fin  $V_2 S_3$  qui se classée en groupe I.

Aussi pour la variété  $V_3$ , on vue qu'elle se classifie en plusieurs groupes, le  $V_3 S_0$  est classée on groupe E, suivie par  $V_3 S_1$  et  $V_3 S_2$  qui se classée en groupe G et à la fin la variété  $V_3 S_3$  qui se classée on groupe G.

Donc le stress salin entraine une réduction significative de la surface foliaire chez toutes les variétés, cette réduction est plus sévère avec l'augmentation du sel.

D'une manière générale, le stress salin se traduit par une réduction de la surface foliaire chez la plante quinoa. Cette diminution de la surface foliaire se présente comme étant la principale stratégie développée par le quinoa pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau en condition de stress salin.

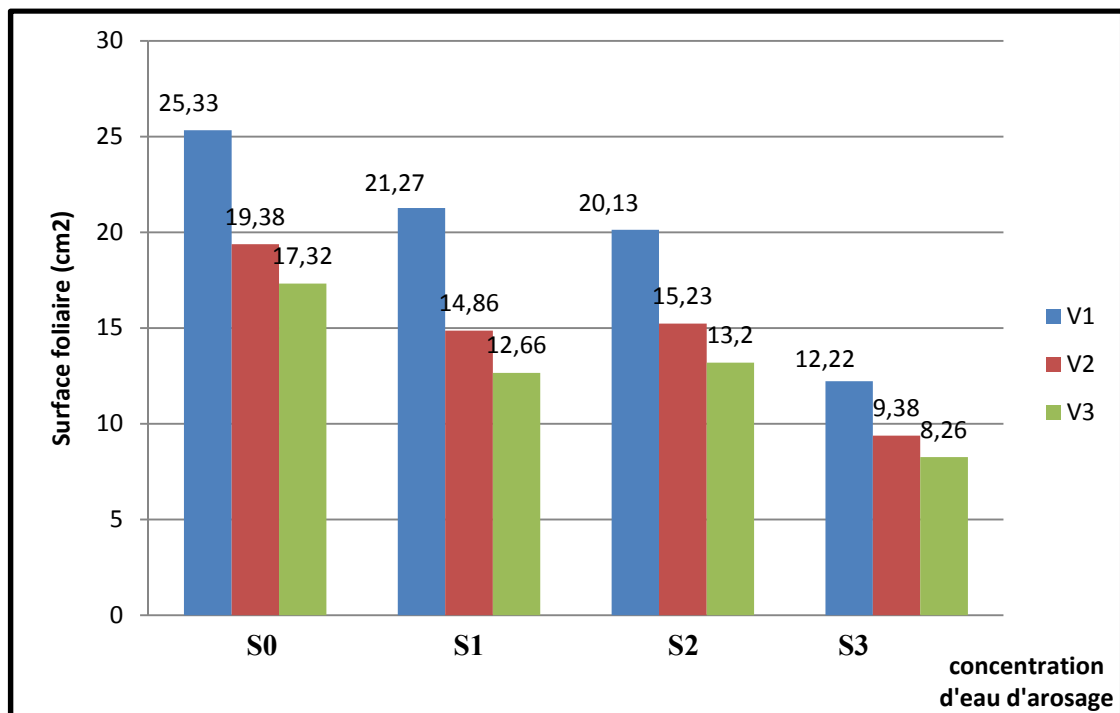


Figure 14: Surface foliaire au stade panicule

**Tableau 12 : Analyse de la variance (Surface Foliaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
V1	19,738	A		
V2	14,713		B	
V3	12,860			C

**Tableau 13 : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Surface Foliaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
S0	20,677	A		
S1	16,263		B	
S2	16,187		B	
S3	9,953			C

**Tableau 14 : Groupes homogènes de l'interaction variété\*solution (Surface Foliaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes							
Var-V1*Trt-S0	25,330	A							
Var-V1*Trt-S1	21,270		B						
Var-V1*Trt-S2	20,130			C					
Var-V2*Trt-S0	19,380				D				
Var-V3*Trt-S0	17,320					E			
Var-V2*Trt-S2	15,230						F		
Var-V2*Trt-S1	14,860						F		
Var-V3*Trt-S2	13,200							G	
Var-V3*Trt-S1	12,660							G	H
Var-V1*Trt-S3	12,220								H
Var-V2*Trt-S3	9,380								I
Var-V3*Trt-S3	8,260								J

### IV.2.3. Le nombre des ramifications par plante

La figure (15) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( $S_0$ ) présente le nombre de ramifications la plus élevée par rapport aux autres traitements, l'analyse statistique montre d'après le tableau (16) une différence significative de l'effet de stress salin sur le nombre de ramifications moyen par plante, le traitement ( $S_0$ ) est classée en groupe A présentant le nombre des ramifications la plus élevée (32), suivie par le traitement  $S_1$  qui se classée aussi en groupe A et  $S_2$  en groupe B et le traitement  $S_3$  est classée en dernier groupe (groupe C), aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet de variété tableau (15) ou la variété  $V_1$  et  $V_3$  sont classé en premier lieu (groupe A) présentant le nombre de ramification la plus élevé (26) et les variétés  $V_2$  qui se classée en groupe B.

L'interaction (variété \* solution) montre d'après le tableau (17) que statistiquement il ya une différence significative, ou on enregistre que  $V_1 S_0$  est classée en premier groupe (groupe A) présentant le nombre de ramification la plus élevée (37), aussi  $V_1 S_1$ ,  $V_3 S_0$ ,  $V_3 S_1$  se classée en groupe A, suivie par les groupes  $V_2 S_0$ ,  $V_2 S_1$  qui se classée en groupe B suivie par  $V_3 S_2$  qui se class en groupe C suivie par  $V_1 S_2$ ,  $V_2 S_2$ ,  $V_3 S_3$  qui se sont classée en groupe D, alors que le dernier groupe E est classée par le groupe  $V_1 S_3$ ,  $V_2 S_3$ .

Donc le stress salin entraîne une réduction significative dans le nombre de ramification par plante surtout chez la variété  $V_1$  et  $V_2$ .

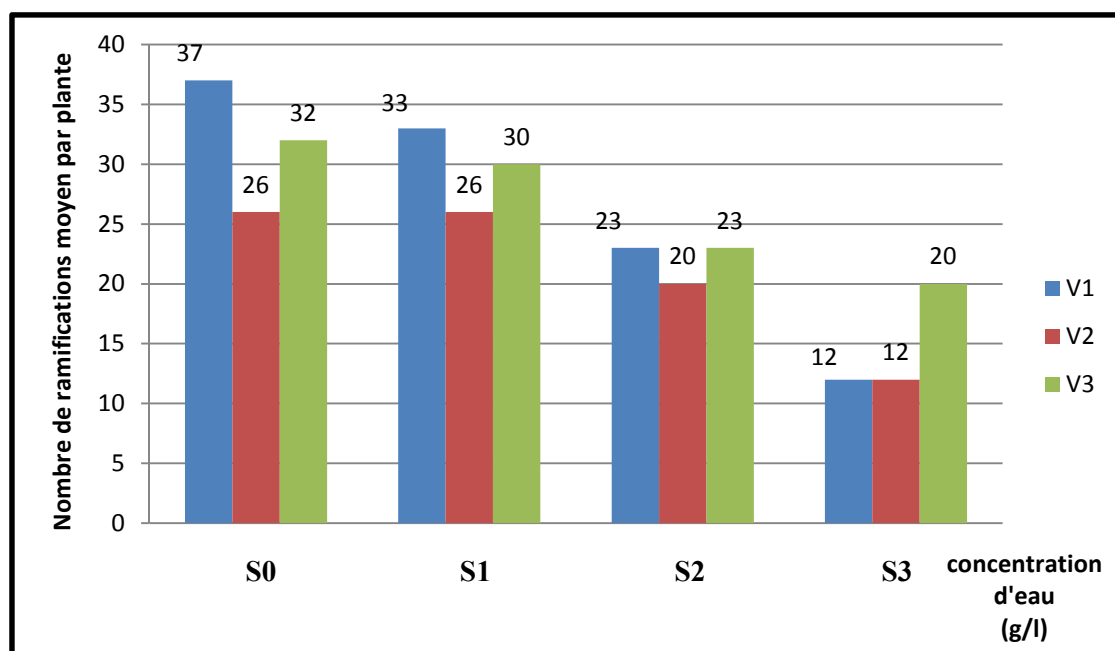


Figure 15 : Nombre de ramifications de 03 variétés en fonction de la solution de Na Cl

**Tableau 15 : Groupes homogènes des variétés (Nombre de ramification)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V1	26,250	A
V3	26,250	A
V2	21,000	B

**Tableau 16 : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Nombre de ramification)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
S0	31,667	A
S1	29,667	A
S2	22,000	B
S3	14,667	C

**Tableau 17 : Groupes homogènes de l'interaction variétés \* solutions (Nombre de ramification)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Var-V1*Trt-S0	37,000	A
Var-V1*Trt-S1	33,000	A B
Var-V3*Trt-S0	32,000	A B C
Var-V3*Trt-S1	30,000	A B C
Var-V2*Trt-S0	26,000	B C D
Var-V2*Trt-S1	26,000	B C D
Var-V1*Trt-S2	23,000	C D
Var-V3*Trt-S2	23,000	C D
Var-V2*Trt-S2	20,000	D
Var-V3*Trt-S3	20,000	D
Var-V2*Trt-S3	12,000	E
Var-V1*Trt-S3	12,000	E

**IV.2.4. Nombre de panicule par plant**

La figure (16) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( S<sub>0</sub>) présente le nombre de panicule le plus élevée par rapport aux autres traitements , l'analyse statistique montre d'après le tableau (19) une différence significative de l'effet de stress salin sur le nombre de panicule par plante ,le traitement ( S<sub>0</sub>) est classée en groupe A présentant la le

nombre de panicule la plus élevée (22), suivie par le traitement S<sub>1</sub> qui se classée aussi en groupe A et S<sub>2</sub> en groupe B et le traitement S<sub>3</sub> est classée en dernier groupe (groupe C) , aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet de variété tableau (18) ou la variété V<sub>2</sub> et V<sub>3</sub> sont classé en premier lieu ( groupe A) présentant le nombre de panicule (17,15 respectivement ) et dernièrement la variété V<sub>1</sub> qui se classée en groupe B.

L'interaction (variété \* solution) montre d'après le tableau (20) que statistiquement il ya pas une différence significative dans le nombre de panicule entre les variétés soumis sous stress salin, mais on remarque que la variété V<sub>1</sub> a influencée par le stress salin dans le traitement S<sub>3</sub>.

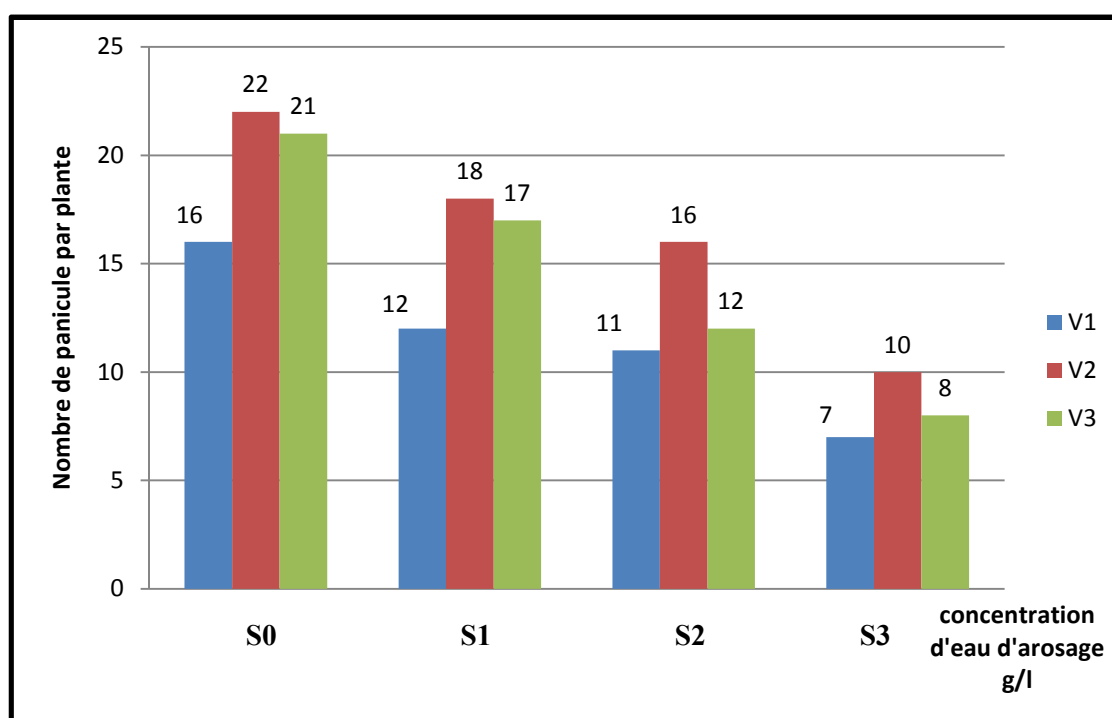


Figure 16: Nombre de panicules de trois variétés en fonction Des solutions de Na Cl

Tableau 18 : Groupes homogènes des variétés (Nombre de panicules)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V2	16,500	A
V3	14,500	A B
V1	11,500	B

Tableau 19 : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Nombre de panicules)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
S0	19,667	A	
S1	15,667	A	B
S2	13,000		B
S3	8,333		C

Tableau 20 : Groupes homogènes de l'interaction variétés\*solutions (Nombre de panicule)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
Var-V2*Trt-S0	22,000	A	
Var-V3*Trt-S0	21,000	A	
Var-V2*Trt-S1	18,000	A	B
Var-V3*Trt-S1	17,000	A	B
Var-V1*Trt-S0	16,000	A	B
Var-V2*Trt-S2	16,000	A	B
Var-V1*Trt-S1	12,000	A	B
Var-V3*Trt-S2	12,000	A	B
Var-V1*Trt-S2	11,000	A	B
Var-V2*Trt-S3	10,000	A	B
Var-V3*Trt-S3	8,000		B
Var-V1*Trt-S3	7,000		B

#### IV.2.5. Le poids moyen de la panicule principale

La figure (17) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( $S_0$ ) présente un poids de panicule principale la plus élevée par rapport aux autres traitements, l'analyse statistique montre d'après le tableau (22) une différence significative de l'effet de stress salin sur le poids de la panicule principale, le traitement ( $S_0$ ) est classé en groupe A présentant le poids de la panicule principale la plus élevée (01 mg), suivie par le traitement  $S_1$  et  $S_2$  qui sont aussi classés en groupe A, suivie par le traitement  $S_3$  qui se classe en dernier groupe (groupe B), aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet de variété tableau (21) où la variété  $V_2$  est classée en premier lieu (groupe A) présentant le poids de panicule principale la plus élevée (1.16 mg) suivie par la variété  $V_1$  qui se classe en groupe B, et dernièrement en a la variété  $V_3$  qui se classe en dernier groupe (groupe C).



L'interaction (variété \* solution ) montre d'après le tableau (23 ) que statistiquement il ya une différence significative , ou on enregistre que V<sub>2</sub>S<sub>0</sub> est classée en premier groupe (groupe A) présentant le poids de panicule principale la plus élevée ( 1.58 mg) suivie par les groupes V<sub>2</sub> S<sub>1</sub> et V<sub>1</sub> S<sub>0</sub> qui se sont classée aussi en groupe A, suivie par le groupe V<sub>1</sub>S<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>S<sub>2</sub> , V<sub>1</sub>S<sub>3</sub> , V<sub>2</sub> S<sub>2</sub> , V<sub>2</sub> S<sub>3</sub> qui sont classée en groupe B , Suivie par V<sub>3</sub> S<sub>0</sub> , V<sub>3</sub> S<sub>2</sub> qui se classée en groupe C alors le dernier groupe D est classé par V<sub>3</sub> S<sub>1</sub>, V<sub>3</sub> S<sub>3</sub> .

Le stress salin entraine une réduction significative dans le poids de panicule principale chez la variété V<sub>2</sub>. Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère.

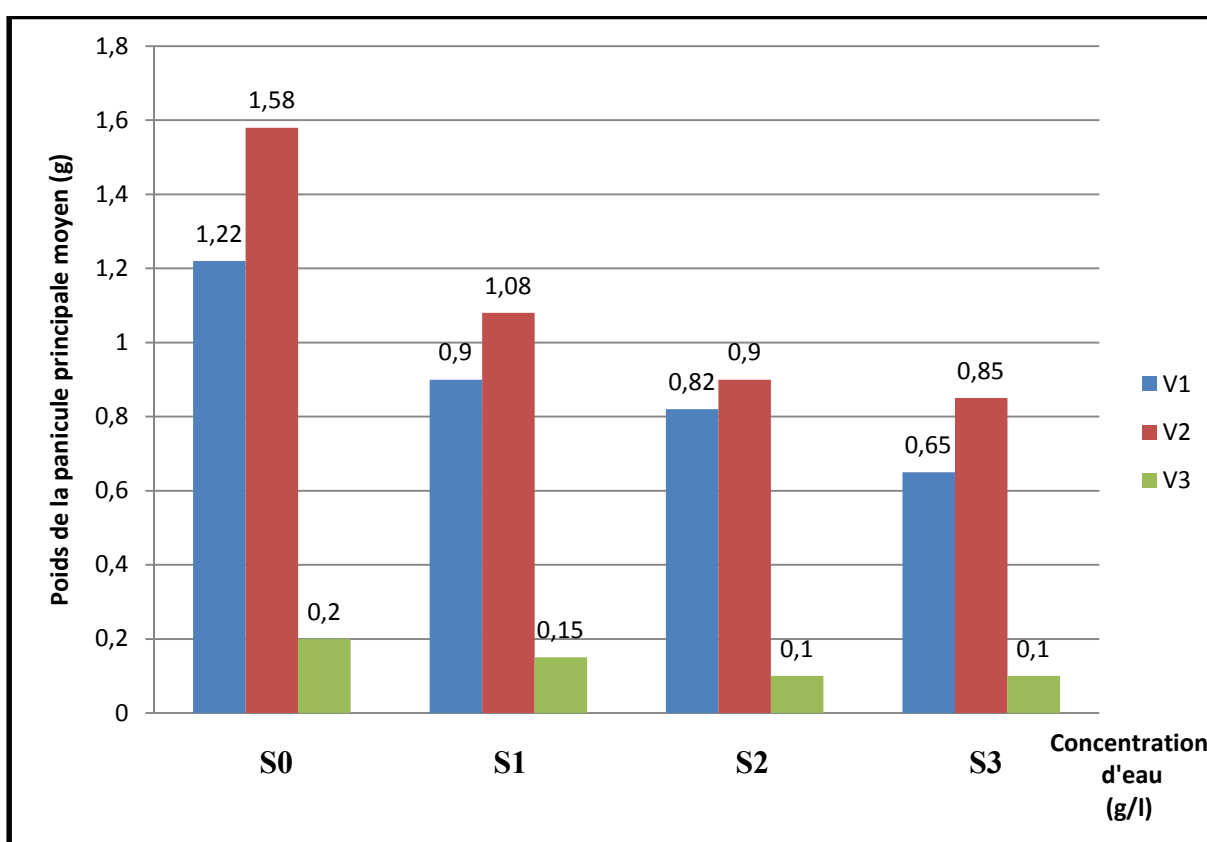


Figure 17 : Poids de la panicule principale moyen

Tableau 21 : Groupes homogènes des variétés (Poids de la panicule principale)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V2	1,163	A
V1	0,897	B
V3	0,213	C

**Tableau 22 : Groupes homogènes des solutions salées (Nombre de panicule)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
S0	1,000	A	
S1	0,790	A	B
S2	0,707	A	B
S3	0,533		B

**Tableau 23 : Groupes homogènes de l'interaction variétés\*solutions (Nombre de panicule)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
Var-V2*Trt-S0	1,580	A			
Var-V2*Trt-S1	1,320	A	B		
Var-V1*Trt-S0	1,220	A	B		
Var-V2*Trt-S2	0,900		B	C	
Var-V1*Trt-S1	0,900		B	C	
Var-V2*Trt-S3	0,850		B	C	
Var-V1*Trt-S2	0,820		B	C	
Var-V1*Trt-S3	0,650		B	C	D
Var-V3*Trt-S2	0,400			C	D
Var-V3*Trt-S0	0,200			C	D
Var-V3*Trt-S1	0,150				D
Var-V3*Trt-S3	0,100				D

### IV.3. L'effet du stress salin sur le composant de rendement

#### IV.3.1. Poids de 1000 grains (PMG en g)

La figure (18) montre que pour les trois variétés le traitement témoin ( S<sub>0</sub>) présente un poids de 1000 grains la plus élevée par rapport aux autres traitements , l'analyse statistique montre d'après le tableau (25) qu'il n y'a pas une différence de l'effet de stress salin sur le poids de 1000 grains ,le groupe V<sub>1</sub> S<sub>0</sub> présente le poids de 1000 grains la plus élevée ( 02.03 g), suivie par le traitement S<sub>1</sub> , S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub> respectivement, aussi statistiquement on a pas observé une différence pour l'effet de variété tableau (24) ou on a marquer que tout les variété se classée en groupe A .

L'interaction (variété \* solutions) montre d'après le tableau (26) que statistiquement il ya pas une différence, ou on enregistre que tout les groupes sont classée en premier groupe (groupe A).

Donc le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le poids de 1000 grains cela indique que le quinoa s'adapte et tolère la salinité.

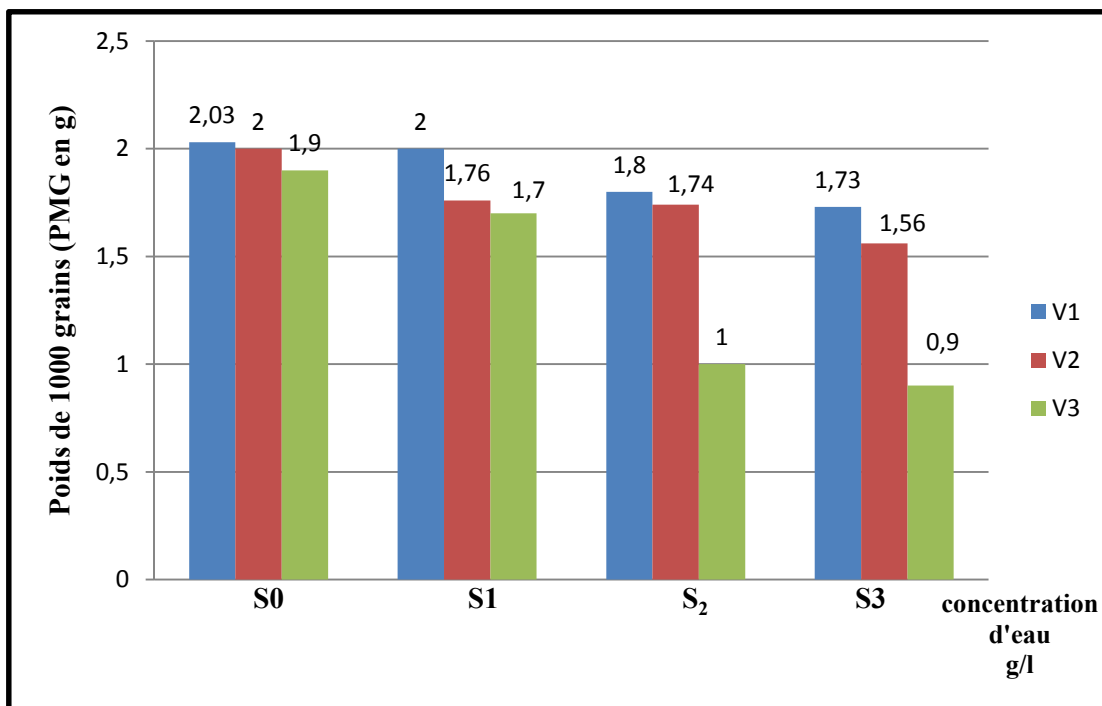


Figure 18 : Poids de 1000 grains

Tableau 24 : Groupes homogènes des variétés (Poids de 1000 grains)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V1	1,895	A
V2	1,765	A
V3	1,375	A

Tableau 25 : Groupes homogènes des concentrations de Na Cl (Poids de 1000 grains)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
S0	1,977	A
S1	1,820	A
S2	1,520	A
S3	1,397	A

**Tableau 26 : Groupes homogènes de l'interaction variété\*solutions (Poids de 1000 grains)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Var-V1*Trt-S0	2,030	A
Var-V2*Trt-S0	2,000	A
Var-V1*Trt-S1	2,000	A
Var-V3*Trt-S0	1,900	A
Var-V1*Trt-S2	1,820	A
Var-V2*Trt-S1	1,760	A
Var-V2*Trt-S2	1,740	A
Var-V1*Trt-S3	1,730	A
Var-V3*Trt-S1	1,700	A
Var-V2*Trt-S3	1,560	A
Var-V3*Trt-S2	1,000	A
Var-V3*Trt-S3	0,900	A

### IV.3.2. La biomasse

#### IV.3.2.1. Matière sèche

##### a. Matière sèche aérienne

D'après la figure (19) on remarque que la variété  $V_1$  représente le meilleur poids de matière sèche aérienne au témoin  $S_0$  avec 05 g suivie par les traitements  $S_3$ ,  $S_1$ , et enfin le traitement  $S_2$  avec un faible poids.

L'analyse statistique n'a montré des différences significatives ni entre variétés ni entre solutions de Na Cl.

Donc le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le poids de matière sèche aérienne.

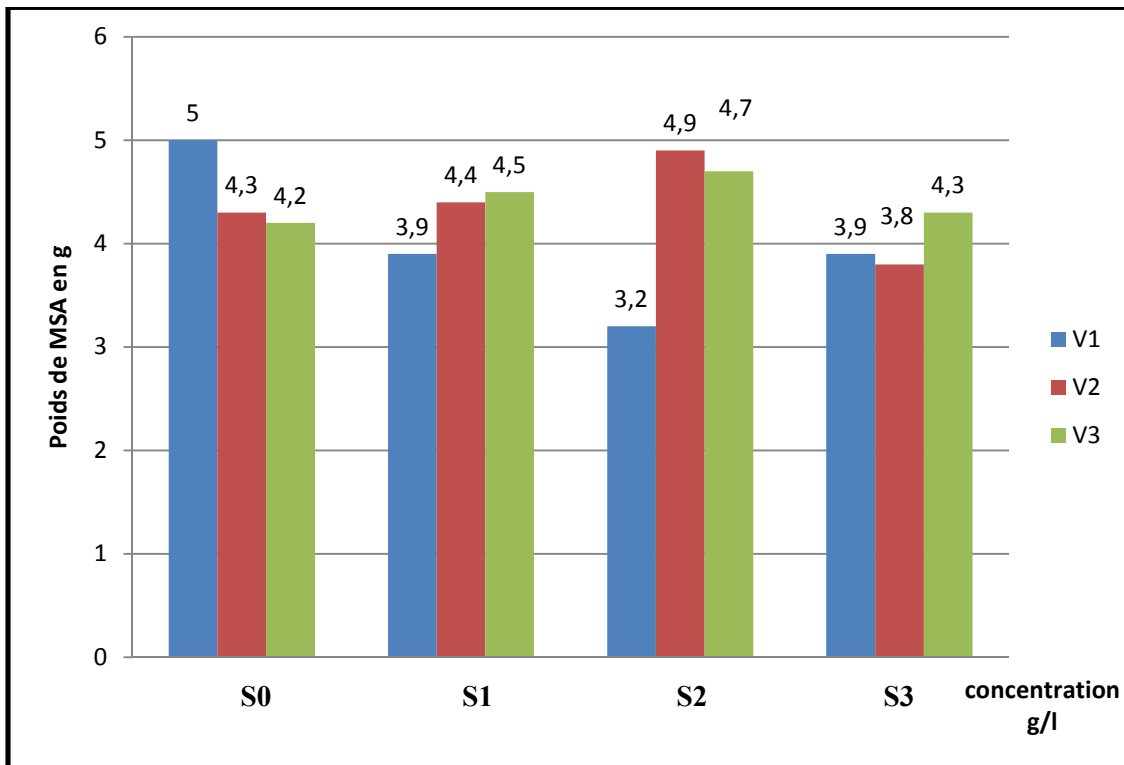


Figure 19 : Production en matière sèche aérienne

Tableau 27 : Groupes homogènes des variétés (Production en matière sèche aérienne)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V3	4,425	A
V2	4,350	A
V1	4,000	A

Tableau 28 : Groupes homogènes des solutions salées (Production en matière sèche aérienne)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
S0	4,500	A
S1	4,267	A
S2	4,267	A
S3	4,000	A

Tableau 29 : Groupes homogènes de l'interaction variétés\*solutions (Production en matière sèche aérienne)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Var-V1*Trt-S0	5,000	A
Var-V2*Trt-S2	4,900	A
Var-V3*Trt-S2	4,700	A
Var-V3*Trt-S1	4,500	A
Var-V2*Trt-S1	4,400	A
Var-V2*Trt-S0	4,300	A
Var-V3*Trt-S3	4,300	A
Var-V3*Trt-S0	4,200	A
Var-V1*Trt-S3	3,900	A
Var-V1*Trt-S1	3,900	A
Var-V2*Trt-S3	3,800	A
Var-V1*Trt-S2	3,200	A

**b. Matière sèche racinaire**

D'après la figure (20) on remarque que la variété V<sub>1</sub> représente le meilleur poids de matière sèche racinaire au témoin S<sub>0</sub> avec 0.45 g suivie par les traitements S<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>, et enfin le traitement S<sub>3</sub> avec un faible poids.

L'analyse statistique n'a pas montrer des différences significatives ni entre variétés ni entre solutions de Na Cl.

Donc le stress salin n'entraîne pas une réduction dans le poids de matière sèche racinaire.

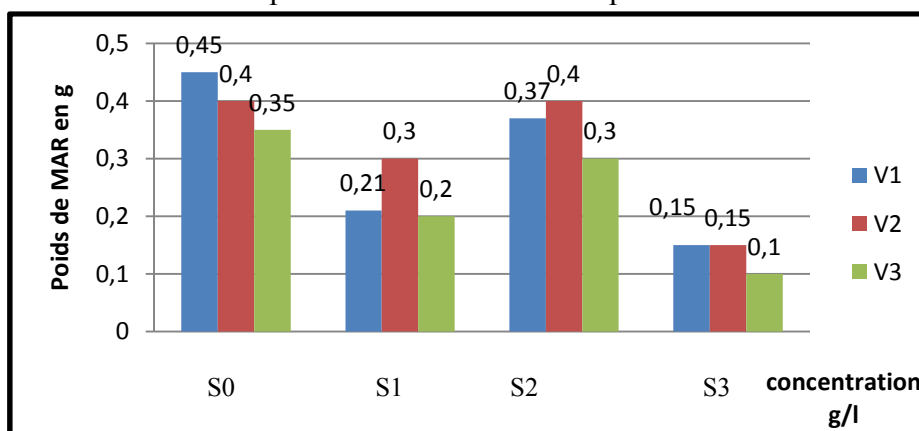


Figure 20 : Production en matière sèche racinaire

**Tableau 30 : Groupes homogènes des variétés (Production en matière sèche racinaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V3	4,425	A
V2	4,350	A
V1	4,000	A

**Tableau 31 : Groupes homogènes des solutions salées (Production en matière sèche racinaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
S0	4,500	A
S1	4,267	A
S2	4,267	A
S3	4,000	A

**Tableau 32 : Groupes homogènes de l'interaction variétés\*solutions (Production en matière sèche racinaire)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Var-V1*Trt-S0	5,000	A
Var-V2*Trt-S2	4,900	A
Var-V3*Trt-S2	4,700	A
Var-V3*Trt-S1	4,500	A
Var-V2*Trt-S1	4,400	A
Var-V2*Trt-S0	4,300	A
Var-V3*Trt-S3	4,300	A
Var-V3*Trt-S0	4,200	A
Var-V1*Trt-S3	3,900	A
Var-V1*Trt-S1	3,900	A
Var-V2*Trt-S3	3,800	A
Var-V1*Trt-S2	3,200	A

IV.4. Mesure de la salinité du sol en ds/m (CE)

La figure (21) montre que la valeur la plus élevée de la CE est 6,72 (ds/m) a été trouvé dans le traitement S<sub>3</sub> pour la variété V<sub>3</sub>. L'analyse statistique n'a pas montré une différence significative de l'effet de variété sur la conductivité électrique du sol (Tableau 33).

Cependant l'analyse statistique de l'effet de traitement (Na Cl) sur l'accumulation des sels dans le sol a montrée une différence significative par le test Newman- Keuls ou le traitement S<sub>3</sub> se classe en groupe A (Tableau 34).

L'analyse de l'interaction entre ( variété et solution) à montré une différence significative par le test Newman- Keuls ou on observe deux groupe A, B (Tableau 35).

On conclue que l'augmentation de la salinité dans l'eau d'irrigation par l'ajout de sel Na Cl a entraînée une accumulation des sels dans le sol dans les traitements S2, S3.

Tout les résultats précédentes nous a permet de déduire que la variété V<sub>3</sub> a présenté une meilleure adaptation a la salinité par rapport aux autres variétés V1, V2.

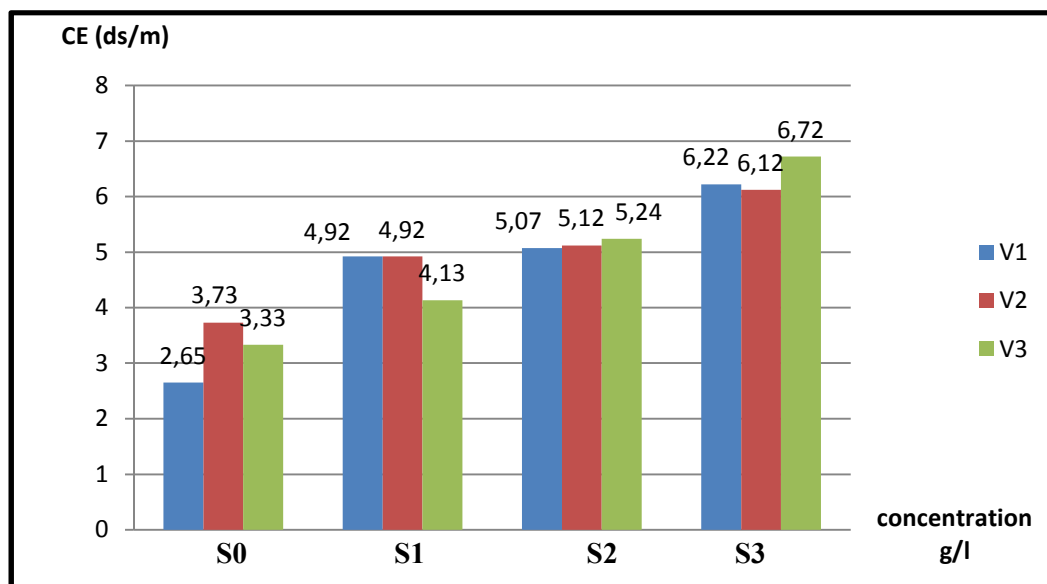


Figure 21 : La salinité du sol après la récolte (ds / m)



**Tableau 33 : Groupes homogènes des variétés (Salinité du sol en ds/m)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
V2	4,971	A
V3	4,855	A
V1	4,715	A

**Tableau 34 : Groupes Homogènes des solutions (Salinité du sol en ds/m)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
S3	6,353	A	
S2	5,143	A	B
S1	4,654		B
S0	3,237		C

**Tableau 35 : Groupes homogènes de l'interaction (Variété\*solutions) (Salinité du sol en ds/m)**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
var-V3*trt-S3	6,720	A	
var-V1*trt-S3	6,220	A	B
var-V2*trt-S3	6,120	A	B
var-V3*trt-S2	5,240	A	B
var-V2*trt-S2	5,120	A	B
var-V1*trt-S2	5,070	A	B
var-V1*trt-S1	4,920	A	B
var-V2*trt-S1	4,913	A	B
var-V3*trt-S1	4,130	A	B
var-V2*trt-S0	3,730	A	B
var-V3*trt-S0	3,330	A	B
var-V1*trt-S0	2,650		B







## Summary

In Alegria, exactly in aride régions that characteristed by the drought ,the rerety of the rain ,the élévation of the température , soil salinity and irrigation water are constraints that adversely affect agricultural production in terms of the quantity and quality.

The objective of this experiment is to détermine the acclimatization of three variety of quinoa (Santo maria, Q<sub>12</sub> , Pidjde panicule prancipale) against the salinity.

The trial was conducted during the year 2018/2019 at the Departement of Agronomic Sciences at Mohamed Khider Biskra University.

Irrigation is carried out by four different concentrations of Na Cl (03.84 g/l ,05.12 g/l ,10.24 g/l, 12.08 g/l)

The measurd parameters are : Stage of developement, the periode of each phase, plant height (HTT), leaf area, number of branches in plant, number of panicles in plant, production of dry matter and the weight of 1000 grains.

The results show that the plant of quinoa considered as one of the plants that bear the salinity, where it acclimatizates adapting a lot of mécanisme like the decrease in the number if branches, the number of leafs and her areas .....

Overall it can be said that the Q<sub>12</sub> variety ranks in first position of the varieties that tolerate the salinity followed by Santo maria variety and lastely the Pidjde panicule prancipale.

**Keywords:** quinoa, salinity, adaptation, production



## Table des matières

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des photos**

**Liste des abréviations**

Introduction.....01

### **Partie I: Synthèse bibliographique**

#### **Chapitre I : Culture du quinoa**

I.1. Origine et histoire.....04

I.2. L'aire de répartition.....05

I.3. Classification botanique.....06

I.4. Description de la morphologie de la plante.....06

I.5. Phénologie du quinoa.....10

I.6. Génétique et diversité du quinoa.....12

I.7. Exigences de la culture.....14

I.7.1. Exigences climatiques.....14

I.7.2. Exigences édaphiques.....14

I.7.3. Exigences hydriques.....15

I.8. Une plante résistante adaptée à son milieu.....15

I.8.1. Résistance à la sécheresse.....15

I.8.2. Résistance au froid.....18

I.8.3. Résistance à la salinité.....19

I.8.4. Résistance au vent, neige, grêle.....20

I.8.5. Résistance aux maladies, parasites et ravageuses.....	20
I.9. Importance de la culture de quinoa.....	20
I.9.1. Importance nutritionnelle.....	20
I.9.2. Importance économique.....	22
I.9.3. Utilisation de quinoa.....	23

## **Chapitre II : Salinité**

II.1. Définition de la salinité.....	26
II.2. La salinité dans le monde et en Algérie.....	27
II.2.1. Dans le monde.....	27
II.2.2. En Algérie.....	27
II.3. Origine des sols salins.....	28
II.3.1. Salinisation primaire.....	28
II.3.2. Salinisation secondaire.....	29
II.4. Principaux sels solubles.....	29
II.5. Cause de la salinité.....	31
II.6. Relation entre la salinité et les plantes.....	31
II.6.1. Définition du stress.....	31
II.6.2. Stress salin et les plantes.....	32
II.6.3. Effet de la salinité sur la plante.....	32
II.6.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement des plantes.....	33
II.6.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse.....	34
II.6.6. Effet de la salinité sur la germination.....	34
II.7. Tolérance des plantes a la salinité.....	35



II.7.1. Compartimentation.....	35
II.7.2. Ajustement osmotique.....	35
II.7.3. La régulation de la croissance.....	35

## **Partie II : Etude expérimentale**

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

III.1. Objectif de travail.....	39
III.2. Site expérimental.....	39
III.3. Caractéristique du sol.....	39
III.4. Matériel d'étude.....	40
III.4.1. Matériel végétal.....	40
III.4.2. Matériel technique utilisé.....	40
III.5. Méthodologie de travail.....	42
III.5.1. Préparation des pots et semis.....	42
III.5.2. La capacité de rétention.....	42
III.5.3. Fertilisation minéral.....	43
III.5.4. Préparation d'eau d'arrosage.....	43
III.5.5. Dispositif expérimental.....	44
III.5.6. Paramètre mesurés.....	44
III.5.6.1. Paramètre morphologiques.....	44
III.5.6.2. Analyse statistique.....	48

### **Chapitre IV : Résultats et discussion**

IV.1. L'effet de stress salin sur les caractéristiques phénologique.....	50
--	----

IV.1.1. Phase semis –levée.....	50
IV.1.2. Phase levée – Deux feuilles vraies.....	51
IV.1.3. Phase deux feuilles – Quatre feuilles vraies.....	52
IV.1.4.Phase quatre feuilles –Six feuilles vraies.....	53
IV.1.5. Phase Six feuilles vraies – Ramification.....	54
IV.1.6. Phase Ramification- Début de formation de panicule.....	55
IV.1.7. Phase début de formation de panicule – panicule.....	56
IV.1.8. Phase de panicule - début de floraison.....	57
IV.1.9. Phase début de floraison –Floraison.....	58
IV.1.10. Phase floraison - grain laiteux.....	59
IV.1.11. Phase grain laiteux- Grain pâteux.....	60
IV.1.12.Phase grain pâteux – Maturité physiologique.....	61
IV.2. L'effet de stress salin sur les caractéristiques morphologiques.....	61
IV.2.1. L'hauteur des plantes en cm (HP).....	62
IV.2.2. La surface foliaire.....	64
IV.2.3. Le nombre des ramifications moyen par plante.....	67
IV.2.4. Le nombre des panicules par plante.....	68
IV.2.5. Le poids de la panicule principale (g).....	70
IV.3. L'effet de stress salin sur le composant du rendement.....	72
IV.3.1. Poids de 1000 grains (PMG en g).....	72
IV.3.2. La biomasse.....	74
IV.3.2.1. Matière sèche.....	74
a/ Matière sèche aérienne.....	74

b/Matière sèche racinaire.....	76
IV.4.Mesure de la salinité du sol en ds/m (CE).....	78
Conclusion.....	81
Références bibliographiques.....	83
Annexes.....	86

## ملخص

في الجزائر و تحديدا في المناطق الجافة التي تمتاز بالجفاف, قلة الأمطار و ارتفاع درجة الحرارة, تعتبر ملوحة الأراضي و مياه السقي من بين أكثر العوائق المؤثرة سلبا على الإنتاج الزراعي من حيث الكمية و النوعية.

إن الهدف من هذه التجربة هو تحديد تأقلم ثلاث أنواع من نبتة الكينوا (Q<sub>12</sub>, Pidjde panicule principale, Santo maria) مع الملوحة.

أجريت التجربة خلال السنة الجامعية 2019/2018 بقسم العلوم الزراعية لجامعة بسكرة , حيث تمت عملية سقي النباتات بأربعة تراكيز مختلفة (03.84 غ/ل, 05.12 غ/ل, 10.24 غ/ل, 12.18 غ/ل) و ذلك باستعمال الملح Na Cl, حيث قمنا بدراسة و مراقبة مراحل تطور نبتة الكينوا, و دراسة الفترة المستغرقة في كل مرحلة, و تحديد طول النبات, مساحة الأوراق, عدد التفرعات و السنابل في كل نبتة, الكتلة الجافة الخاصة بالجزء الهوائي و الجزء الجذري, وزن 1000 بذرة .

و تبين النتائج أن نبتة الكينوا تعد من النباتات المتحملة للملوحة , حيث تتأقلم بتبنيها لعدة ميكانيزمات من بينها التقليل من عدد الأوراق و مساحتها, التقليل من عدد التفرعات , و عموما يمكن القول أن صنف Q<sub>12</sub> هو في مقدمة الأصناف المدروسة المتحملة للملوحة يتبعها مباشرة الصنف Santo maria و في الأخير الصنف Pidjde panicule principale .

**كلمات مفتاحية :** الكينوا , الملوحة , تأقلم , إنتاج

## Résumé

En Algérie, exactement dans les régions arides, qui se caractérise par la sécheresse, la rareté du pluie, l'élévation de la température, la salinité du sol et de l'eau d'irrigation constituent des contraintes qui influent négativement sur la production agricole, sur le plan de la quantité et la qualité.

L'objectif de cette expérimentation est de déterminer l'adaptation de trois (03) variétés de quinoa (Santo maria, Q12, Pidjde panicule principale) contre la salinité.

L'essai a été conduit durant l'année 2018/2019 au département des sciences agronomiques à l'université Mohamed Khider Biskra.

L'irrigation est réalisée par quatre concentration différentes de Na Cl (03.84g/l, 05.12g/l, 10.24g/l, 12.18 g/l) .

Les paramètres mesurés sont : Stades de développement, la dureté de chaque stade, l'hauteur de la plante, la surface foliaire, le nombre de ramifications et panicules par plante, la biomasse aérienne et racinaire, le poids de 1000 graines.

Les résultats montrent que le quinoa est considéré comme l'une des plantes qui tolère le stress salin ou elle s'acclimater adeptes plusieurs mécanisme parmi lesquelles : la diminution dans le nombre des feuilles, la surface foliaire, le nombre de ramification .....etc.

Globalement on peut dire que la variété Q<sub>12</sub> se classe en première position de variété résistante à la salinité, suivie par la variété Santo maria et à la fin la variété Pidjde panicule principale

**Mots Clés :** quinoa, salinité, adaptation, production