

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

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : DES
SCIENCES AGRONOMIQUES

N° :...



DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE
ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PRODUCTION VEGETALE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : **Abedlkarim Amel**

Cherif Yassamine

Hamouma Samira

Intitulé :

**Effet du stress hydrique sur la croissance et le rendement
de quelques variétés introduites de Quinoa (*Chenopodium
quinoa* Willd) cultivées dans la région de M'sila.**

Soutenu devant le jury :

Mr GUENDOUZEN.O	MAA	Université de M'sila	Président
Mr KADRIA	MCB	Université de M'sila	promoteur
Mr TOURCHIT.N	MAA	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicaces

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

- Aux deux plus chères personnes de ma vie, À mon super-père *Ahmed* qui a travaillé très dur pour nous. À ma très chère Maman *Dalila*, il n'y a pas de mot qui puisse te décrire les combats que tu passes ou ton sacrifice

laissez-moi te témoigner ma profonde gratitude à travers ce modeste travail.

À ma petite sœur *Salsabile*, je te souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

À mon adorable frère, *Walid* mon idole, que Dieu te bénisse et comble votre vie de bonheur et de réussite. À toutes ma famille.

À la plupart des enseignants, qui m'a touché, qui m'a aidé, qui étant le soutien en tout temps j'ai besoin, qui ne cachent jamais un mot ou une information, qui se consacrent aux sciences et à l'éducation ; Mr. Kadri. A, Mr. Tourchite. N, Mlle. Tir

je t'aime du fond du mon cœur

À mon binôme dans ce travaille *Samira*, Merci pour tous les moments que nous avons passé ensemble, pour nos éclats de rire et notre complicité. j'espère que vous trouverez votre bonheurs dans les années à venir

À ma sœur et mon frère *Marwa* et *Oussama* j'espère que vous trouverez bonheurs et la bonne chance pendant toute la vie.

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

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

Yassamine



Dédicace :

Je dédie Ce modeste Travail à:

A ma chère **mère**

A mon cher **père**

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard de
me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes
objectifs

A mes **frères**

A mes **sœurs**

A mes **chères amis**

Chérif Yassamine , Abdelkrim Amel

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

A tout ma famille

SAMIRA

Dédicace:

بسم الله والصلاة والسلام على حبيبنا وشفيعنا يوم الدين محمد صلى الله عليه وسلم تسليما
كثيرا

وبعد

{ الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات }

إلى كل من عبد لي الطريق وأنار لي حوافها لأصل إلى هنا,
إلى من شجعني,

إلى من أضاء شموع يديه وقت انطفاء قنديلي '

لكل من مد ليا يد العون ساعة الضيق

لكل من ينتظر نجاحي هذا بفارغ الصبر

حفظكم الله وأدامكم ذراعي الأيمن

إلى أرواح غادرتني قبل

شهودها ساعتها هذه

وطويلا ما انتظرتها,

رحمكم الله وغفر لكم وجمعني بكم في الفردوس الأعلى إن شاء الرحمن

الحمد لله أولا وأخيرا,

فـ "اللهم انفعنا بما علمتنا, وعلمنا ما ينفعنا "

Amel



Remerciement

Tous nos remerciements vont d'abord à Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail. Ce travail de thèse a atteint son terme grâce à l'assistance et à la collaboration de nombreuses personnes.

Nous profitons de cette occasion de gratitude et de reconnaissance pour remercier tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur, **Monsieur KADRI Adelp** pour avoir accepté d'encadrer ce travail, ainsi que pour sa gentillesse, ses conseils constructifs, son attention, son dévouement, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de travail.

Que Dieu vous récompense et te donne santé, merci et mille mercis. Nous adressons aussi nos plus vifs et ardents remerciements à **Mr.**

GUENDOUZEN Omar pour avoir bien voulu présider le jury.

Nos tenons également à remercier **Mr. TOURCHIT NADIRE** qui a bien voulu nous honorer de sa présence dans ce jury et d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont aussi à **Mr. Tourchit** pour le soutenir et l'aider.

Nous remercions aussi à tout le personnel du laboratoire et particulièrement **Mdm. Merzaka** et **Mdm. Amina**, pour leur précieuse aide et leur compréhension.

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

Nos remerciements vont aussi à l'agriculture d'El Oued **Mr. Taher Berjohe**.

Nous remercions aussi à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Yassamine

●LISTE DES ABREVIATIONS

- APG III: classification polygénétique
- B : Bloc
- cm : centimètres
- Cr : capacité de rétention
- E: Echantillon
- F.A.O: Food and Agriculture Organization.
- Fig : Figure.
- g : gramme.
- h : heure
- H% : l'humidité du sol à la capacité au champ
- I.T.D.A.S : Institut Technique de Développement d'Agriculture Saharienne.
- JC : avant Jésus-Christ.
- Kg : kilogramme.
- m :mètre.
- mg : milligramme.
- ml : millilitre
- NGsP : Le nombre total de graines par plante
- P :Poids
- PF: poids frais
- Pf: poids final
- PGsP :Le poids total des graines par plante
- Pi :poids initial
- PM : perméabilité membranaire
- PSF : Poids spécifique foliaire

- PS : poids sec
- PT : le poids de la pleine turgescence
- P100Gr : Le poids de 100 graines
- R : répétition
- RU : Réserve utile
- S : stressé
- SF :Surface foliaire
- T : Traitement.
- Tab : Tableau.
- TG: Taux de germination.
- TRE : La teneur relative en eau
- V : Variété.

LISTE DES FIGURES :

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Schéma de Quinoa (Pinterest)	04
Figure 02	Distribution géographique de la culture traditionnelle de la quinoa en Amérique du Sud	04
Figure 03	Système racinaire du Quinoa	06
Figure 04	Forme de la tige principale (coupe transversale)	06
Figure 05	Types des ramifications de quinoa	07
Figure 06	Forme des feuilles	07
Figure 07	Les formes d'inflorescences du quinoa	08
Figure 08	Inflorescence amaranthiforme et glomérulaire	08
Figure 09	Panicules de quinoa	08
Figure 10	Fleurs hermaphrodites et femelles du quinoa	09
Figure 11	Les différents grains de Quinoa	10
Figure 12	Les différentes formes des grains de Quinoa	10
Figure 13	Principaux pays importateurs du quinoa au monde en 2012 (Fagandini, 2014)	16
Figure 14	Situation géographique de la serre (Google Eearth)	22
Figure 15	Les graines des différentes variétés de quinoa (Photo Originale).	23
Figure 16	Test de germination des variétés de quinoa (Photos Original).	24
Figure 17	Germination des grains en alvéoles (Photo Original)	25
Figure 18	Préparation substrat de culture (Photos Original)	26
Figure 19	Préparation des pots. (Photo Original)	26
Figure 20	Le dispositif expérimental (Photo Original)	28
Figure 21	Transplants (Photo Original)	29
Figure 22	Mesure de la chlorophylle à l'aide d'un chlorophylle-mètre (Agro-Expo photo)	30
Figure 23	Mesure du poids après turgescence des feuilles (Photo Originale)	30
Figure 24	Mesure du poids sec des feuilles (Photo Originale)	31
Figure 25	Dosage des sucres solubles (Photos Original)	32
Figure 26	Dosage de la proline (Photo Original)	33
Figure 27	photo de tige du quinoa (Photo Original)	33
Figure 28	Le dosage de chlorophylle en fonction de l'hydratation	35
Figure 29	Analyse de variance de la hauteur de la tige (HTG1)	36

Figure 30	des photos des variétés qui présentent la différence de la hauteur de la plante(photo originale)	37
Figure 31	Analyse de variance de la hauteur de la plante ‘tige et partie florale’	38
Figure 32	Analyse de variance du Nombre d’entrenœuds	39
Figure 33	Analyse de variance de la Teneur relative en eau	40
Figure 34	Analyse de variance du dosage de sucre	41
Figure 35	Analyse de variance de dosage de proline	42
Figure 36	Analyse de variance du Poids total des grains	43
Figure 37	Analyse de variance du Poids de 100 grains	44
Figure 38	photo de rendement du quinoa (photo originale)	44
Figure 39	Poids de nombre global de grains du Quinoa	45
Figure 40	Des photos verticales des variétés du Quinoa (photo originale)	46
Figure 41	Analyse de variance de la Surface foliaire	47
Figure 42	Analyse de variance du Poids spécifique	48

LISTE DES TABLEAUX

Numéro:	Titre:	Page:
Tab 01	Classification scientifique du quinoa	05
Tab 02	Production de quinoa chiffres 2004 et 2010 (tonne)	16
Tab 03	Les prix d'exportation du quinoa 2007-2014 pour les principaux pays producteurs Pérou, Bolivie et Equateur	16
Tab 04	variétés de quinoa expérimentées.	23
Tab 05	Test de germination	24
Tab 06	Taux de germination des grains semés dans les alvéoles	25
Tab 07	Calcul de l'humidité du sol	27
Tab 08	Analyse de variance de le Chlorophylle	35
Tab 09	Analyse de variance de la hauteur de la tige (HTG1)	36
Tab 10	Analyse de variance de la hauteur de la plante(HTG2)	36
Tab 11	Analyse de variance du Nombre d'entrenœuds (NEN)	38
Tab 12	Analyse de variance de la Teneur relative en eau	39
Tab 13	Analyse de variance de dosage du sucre	40
Tab 14	Analyse de variance de dosage de proline	41
Tab 15	Analyse de variance du Poids total des grains	42
Tab 16	Analyse de variance du Poids de 100 grains	43
Tab 17	Analyse de variance de Nombre des graines	45
Tab 18	Analyse de variance de la Surface foliaire	46
Tab 19	Analyse de variance du Poids spécifique	47

Table des matières:

Titre	page
Liste desabréviations	
Tableaues des figures	
Tableau des tableaux	
Introduction	1
Première partie : Analyse Bibliographique	
Chapitres I: Généralités sur la culture de quinoa	
1. Histoire et origine du quinoa	4
2. Classification du quinoa	5
2.1 Classification scientifique	5
2.2 Classification morphologique	5
2.3 Description botanique et taxonomie	5
2.3.1 Les racines	5
2.3.2 La tige	6
2.3.3 Les ramifications	6
2.3.4. Les feuilles	7
2.3.5 Les organes floraux	7
2.3.6 Les fleurs	9
2.3.7 Les fruits	9
2.3.8 Les graines	9
3. Valeur nutritive	10
4. La durée du cycle de développement	10
5. Stades de développement du quinoa	11
6. Exigences de la culture	12
6.1 Les exigences agro écologiques	12
7. Le semis	12
8. La récolte	13
9. Les rendements	13
10. Utilisations de Quinoa	13
10.1 Alimentation humaine	13
10.2. Utilisations économiques	14
10.3 Alimentation animale	14
10.4 Utilisations médicinales	15
10.5 Autres utilisations industrielles	15
11. Importance de la culture du Quinoa	15

11.1 Dans le monde	15
12. Le marché mondial du quinoa	15
12.1 Les pays producteurs du quinoa	15
12.2 Les principaux pays consommateurs du quinoa au monde	16
12.3 Les prix de quinoa	16
12.4 Les principaux pays exportateurs du quinoa au monde	17
Chapitres II: Généralités sur le stress hydrique	
1. Définitions du stress	18
2. Différents types de stress	18
2.1.1. Stress hydrique	18
2.1.2 Stress salin	18
2.1.3. Stress thermique	18
2.3. L'eau dans la plante	18
2.4. Le stress hydrique	18
2. 5. Influence du stress hydrique sur le rendement	19
2.6. Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production	19
2.7. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique	20
Partie II : Matériels et méthodes	
Chapitres I: Matériels et méthodes	
A .1.Site d'expérimentation	22
B .Matériel végétal	23
B.1. Matériels et techniques utilisées	24
B.1.1. Test de germination	24
B.1.2.Semis en alvéoles	25
B.1. 3.Préparation du substrat de culture	26
B.1.4. Préparation des pots	26
B.1. 5.Détermination de l'humidité du sol à la capacité au champ	27
B.1.5.1.Détermination du taux de tarissement de l'eau du sol	27
B.1.5.2.Méthode d'application du stress hydrique	27
B.2. Le dispositif expérimental	27
B.2.1.Transplants	29
B.3.Paramètres étudiés	29
B.3.1Surface foliaire (SF cm ²)	29
B.3.2.Poids spécifique foliaire (PSF)	29
B.3.3.Les Paramètres du rendement	29
B.3.4.Mesure la chlorophylle	29
B.3. 5.La teneur relative en eau (TRE)	30

B.3.6.Dosage des sucres solubles	31
B.3.7.Dosage de Proline	32
B.3.8. Hauteur de tige(HTG1)	33
B3.9 Hauteur de la plante (HTG2)	33
B.3.10 Nombre d'entre nœuds	33
Chapitrer II: Résultats et Discussion	
1.Résultats	35
1.1. Résultats du premier essai	35
1.1.1 Analyse de variance de le Chlorophylle	35
1.1.2.Analyse de variance de la hauteur de la tige 'sans partie florale' (HTG1)	35
1.1.3.Analyse de variance de la hauteur de la plante 'tige et partie florale' (HTG2)	36
1.1.4. Analyse de variance du Nombre d'entrenœuds (NEN)	38
1.1.5.Analyse de variance de la Teneur relative en eau (TRE)	39
1.1.6. Analyse de variance de dosage dessucres totaux	40
1.1.7. Analyse de variance du taux de proline dans les feuilles	41
1.1.8. Analyse de variance du Poids total des grains (PT)	42
1.1.9. Analyse de variance du Poids de 100 grains (P100)	43
1.1.10.Analyse de variance de Nombre des graines (NG)	44
1.1.11.Analyse de variance de la Surface foliaire (SF)	45
1.1.12. Analyse de variance du Poids spécifique (PSF)	47
Conclusion	50
Les références Bibliographiques	52
Annex	56

Introduction

Introduction

Le quinoa est une culture importante pour l'alimentation humaine et animale (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014). En effet, cette espèce possède des caractéristiques très importantes en termes de valeur nutritionnelle élevée (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014), ce qui fait d'elle une plante qui peut servir d'aliment de base pour l'humanité (Antonio et al ; 2010).

Le Quinoa se caractérise aussi par sa forte tolérance aux conditions abiotiques stressantes et sa faculté d'adaptation à différentes conditions environnementales. Elle est tolérante à la sécheresse et a besoins de faibles quantités en eau pour se développer (Antonio et al ;2010). Elle est tolérante au froid et peut être cultivée en haute altitude dans les zones de montagne. Toutes ces caractéristiques lui permettent d'être cultivé dans les terres agricoles arides, salines et pauvres. (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014), et dans une large gamme de ph du sol, comme les sols acides par exemple. Elle se caractérise aussi par une grande variabilité génétique (Ritva A et al;2011).

Les changements climatiques que connaît notre planète ces dernières années se manifestent principalement par la diminution des précipitations et par l'augmentation progressive de la température. Selon les modèles météorologiques concernant les pays du nord de l'Afrique, les moyennes de précipitations dans les années à venir seraient réduites de 20 à 50% par rapport aux moyennes actuelles (Boughdiri et al ;2020).

Dans les régions arides et semi-arides, le manque de précipitations, le taux d'évapotranspiration élevé et la mauvaise gestion des ressources en eau entraînent des problèmes de sécheresse, de salinité et de désertification. Plus de 800 millions d'hectares dans le monde présentent des problèmes de salinité de leur sols (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014). Les contraintes environnementales entraînent une diminution importante de la production agricole et limitent les zones de production agricole dans le monde.

En Algérie les conditions climatiques et environnementales sont difficiles. Pour réaliser une production agricole importante et garantir notre sécurité alimentaire ; Il faut chercher de nouvelles cultures qui soient bien adaptées aux différentes conditions climatiques notamment celles avec des contraintes environnementales sévères (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014). Grâce à ses caractéristiques de tolérance aux stresses abiotiques, à leurs adaptabilité auxsols pauvres, à leur capacité de tolérer des niveaux élevés de gel (TebriM. ; 2020), le quinoa peut jouer ce rôle.

L'objectif à travers ce travail est de connaître l'effet du stress hydrique sur la croissance et le rendement de 5 variétés introduites de quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivées dans la région de M'sila. Notre étude comporte deux parties :

La première partie concerne une étude bibliographique comportant deux chapitres :

Chapitres I: Généralités sur la culture de quinoa.

Chapitres II: Généralités sur le stress hydrique

La deuxième partie on s'intéresse à l'étude expérimentale comportant deux chapitres :

Chapitres I: Matériel et Méthodes.

Chapitre II: Résultats et Discussion.

Partie I

Analyse Bibliographique

1.Histoire et origine du quinoa :

Depuis l'antiquité dans les hautes Andes d'Amérique du sud, le quinoa était considéré comme une culture vivrière importante. Selon les deux langues, Quechua et Aymara le synonyme du nom quinoa est « grain mère ». Dans l'empire Inca la culture de cette plante occupait une place prépondérante après le maïs dans l'alimentation humaine **(Bhargava A, OhriD; 2016)**.

Depuis l'antiquité (3000 avant JC) le quinoa a été considéré comme une source alimentaire très importante dans les régions andines. Cependant, en 1532 après JC, après la conquête de la région par les espagnols, le quinoa a été relégué au second plan par la pomme de terre et l'orge.

Néanmoins, l'échec de la révolution verte dans les Andes et les énormes destructions causées par la sécheresse sur les autres cultures ont permis aux cultures indigènes, comme le quinoa, de revenir sur le devant de la scène, car elles ont montré beaucoup moins de baisse de rendements dans des conditions environnementales sévères. **(Bhargava et al;2006)**

Le quinoa a été domestiqué avec succès il y a 5000 à 7000 ans et selon les traces archéologiques découvertes dans les grottes d'Ayacucho au Pérou il y a 6400 à 7800 ans **(Del Castillo et al; 2008)**. Cette plante annuelle à feuilles triangulaires et panicules composées a été cultivée et consommée par les populations indigènes de Colombie, équateur, Pérou, Bolivie et Chili.



Fig 02. Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud **(d'après National Research Council, 1989)**

2 Classification du quinoa

2.1 Classification scientifique

Depuis 2009 Le quinoa est rangé dans la famille des Amaranthacées par la nouvelle classification phylogénétique (APGIII) (Herbillon, 2015), alors que l'ancienne classification le considère comme une plante dicotylédone angiosperme de appartenant à la famille des *Chenopodiaceae* (Tableau 01).

Tableau 1: Classification scientifique du quinoa

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

(Herbillon, 2015)

.2.2 Classification morphologique

Le quinoa est considéré comme une pseudo-céréale. Appartenant au groupe de plantes C3. C'est une plante herbacée annuelle et dicotylédone (Yazar A, İnce Kaya C; 2014). La variabilité morphologique que montre le quinoa concerne les feuilles, les panicules et les grains. Les caractères morphologiques les plus constants pour la classification taxonomique concernent le port de la plante (ramification), la forme de l'inflorescence (amaranthi forme ou gloméri forme), la forme de la feuille et du grain. Par contre, parmi les caractères les plus variables et moins fiables pour la classification des vérités il y a la hauteur de la plante, sa couleur et celle du grain (Del Castillo C et al; 2008).

2.3 Description botanique et taxonomie

2.3.1 Les racines :

Le système racinaire du quinoa est bien développé et profond car il est de type pivotant et très ramifié. Ces caractéristiques du système racinaire lui confèrent plus de tolérance aux situations de sécheresses. (Yazar A, İnce Kaya C; 2014)

La germination du quinoa est extrêmement rapide car il n'y a pas de période de dormance des grains. En premier lieu les radicules 'allonges et continue de croître pour donner une racine pivotante qui peut atteindre une profondeur de 30 cm. A partir de cette dernière des racines secondaires et tertiaires vont se développer et se ramifier. Grâce à ce fabuleux système racinaire pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux le quinoa peut résister à la sécheresse et avoir une bonne stabilité de croissance. Le système racinaire est tellement robuste qu'il peut soutenir une plante de plus de 2 m de hauteur (Herbillon ;2015)



Fig 03. Système racinaire du Quinoa (Gandarillas,1979)

2.3.2 La tige :

Le quinoa possède une tige dont l'épaisseur varie entre 1 et 8 cm (Herbillon;2015), elle peut être ligneuse, ramifiée ou non ramifiée. La coloration des tiges est très variable, elle peut être uniformément verte, verte avec des aisselles colorées (surtout rouges), verte avec des stries violettes ou rouges, ou bien uniformément rouge. A l'intérieur de la tige, on trouve une moelle de couleur blanche à crème, de texture molle chez les jeunes plants puis devenant aérée et spongieuse à l'approche de la maturité. La tige de cette plante peut présenter de nombreuses ramifications comme elle peut avoir une tige unique, au collet elle est cylindrique et devient plus anguleuse à partir des ramifications avec une position alterne des feuilles le long de chacune des quatre faces, sa hauteur est entre 50 cm et 2 m (Herbillon;2015).

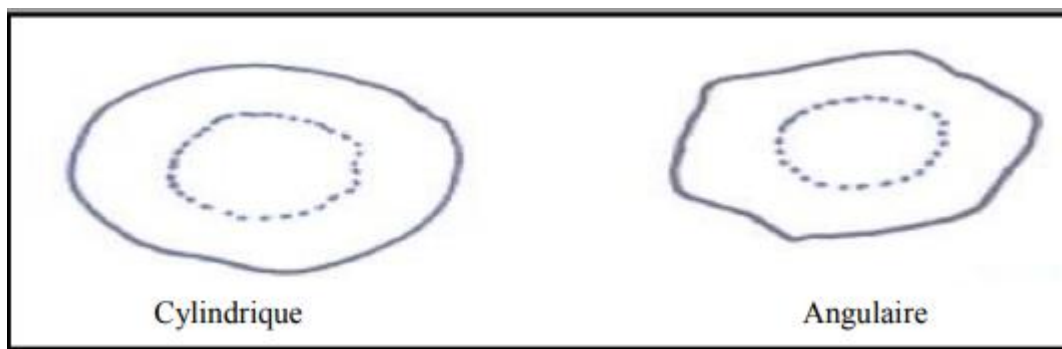


Fig 04. Forme de la tige principale (coupe transversale) (Biodiversity International et FAO, 2013).

2.3.3 Les ramifications :

Les branches naissent à l'aisselle de chaque feuille sur la tige. Leur longueur varie selon la variété et les conditions environnementales, allant de quelques centimètres jusqu'à une longueur équivalente à celle de la tige principale. Il existe des génotypes très ramifiés (quinoa des vallées), parfois même à partir de la base (quinoa du niveau de la mer), tandis que d'autres présentent une tige unique (quinoa des hautes plaines). Il existe également des génotypes intermédiaires. D'un point de vue commercial, la ramification des plants est indésirable pour la production des graines de quinoa ; c'est pourquoi dans le cadre d'une culture à grande échelle, l'ensemencement est effectué avec une densité ne laissant aucune opportunité aux plants de se ramifier. (Herbillon; 2015)

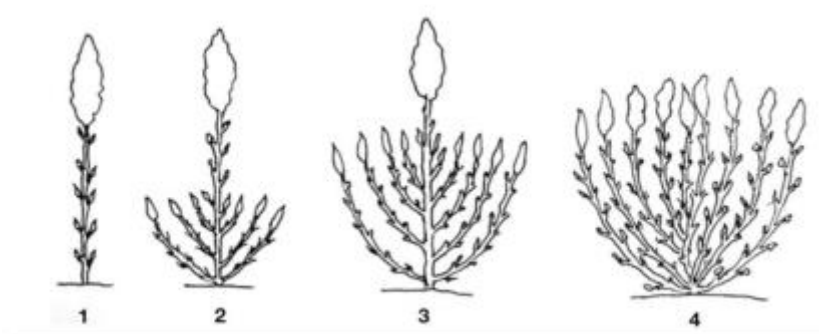


Fig 05. Type des ramifications de quinoa

2.3.4. Les feuille :

La même plante a des feuilles polymorphes, les feuilles alternes ont un limbe en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou ondulé, charnu et tendre. Le nombre de dents ou de lobes des feuilles serait une caractéristique variétale (Del Castillo C et al; 2008)

Les feuilles larges sont fréquemment vertes chez les plantes plus jeunes, mais une fois la plante murit les feuilles deviennent jaunes, rouges ou violettes (Yazar A, İnce Kaya C; 2014-). La couleur des feuilles varie en fonction des génotypes : vertes, jaunes, rouges ou violettes. Ces couleurs sont le résultat de la présence de pigments végétaux appelés bétalaïnes qui sont de deux types (Herbillon; 2015):

- Bétacyanines (rouge-violet)
- Bétaxanthines (jaune)

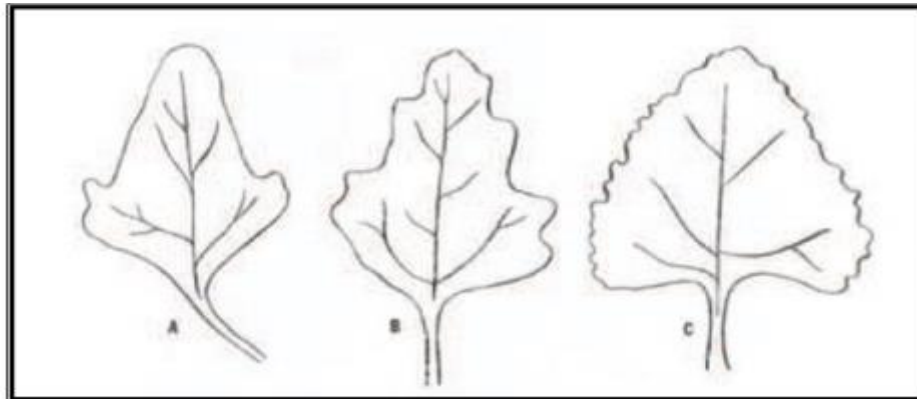


Fig 06. Forme des feuilles (Herbillon; 2015)

2.3.5 Les organes floraux :

Les fleurs du quinoa sont considérées comme de faux épis (panicule). Elles sont hermaphrodites disposées en inflorescence en grappes. L'inflorescence est terminale et de longueur variable et elle se trouve sous deux formes principales. La première forme est dite gloméri forme, c'est une forme ancestrale ayant donné le second type qui est amaranthi forme par mutation. Dans la région inférieure de la panicule les fleurs incomplètes (apétales) et très petites (3 mm au maximum) peuvent être hermaphrodites en position apicale ou pistillaires dans des proportions diverses selon la variété. (Del Castillo C et al; 2008).

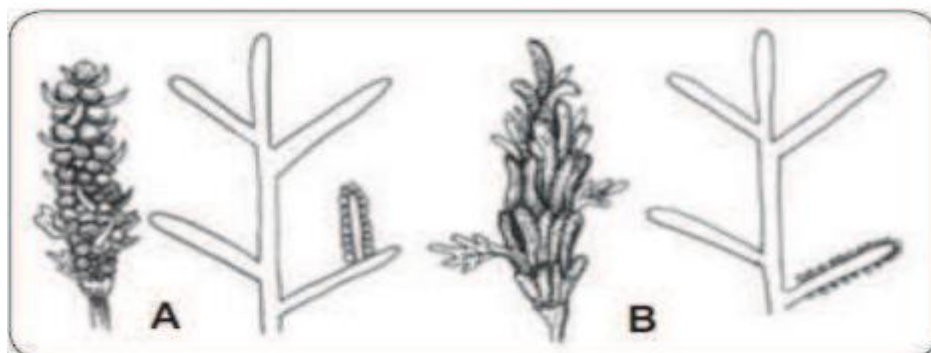


Fig 07. Les formes d'inflorescences du quinoa.

A) Glomérulaire ; B) amaranthiforme (Tapia et Fries; 2007)



Fig08. Inflorescence amaranthiforme et glomérulaire (Herbillon; 2015)

D'après les caractéristiques les plus importants du quinoa la présence faire mail hermaphrodite qui porte cinq lobes de périanthes, cinq anthères et un ovaire supérieur à deux ou trois branches stigmatiques est situé à l'extrémité distale. Quand on parle de l'inflorescence et une panicule de 15 à 70 cm de langue qui s'élève du sommet de la plante et à l'aisselle des feuilles inférieures. Dans quel que qui tu vas en trouve un mâle stérile dans certains au toutes les fleurs femelles. (Bhargava et al; 2006)

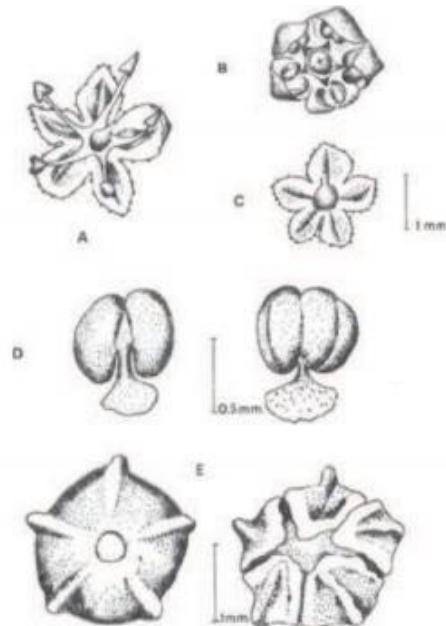


Fig 09. Panicules de quinoa (Herbillon; 2015)

2.3.6 Les fleurs :

Les membres de la famille des Chenopodiaceae présentent des fleurs incomplètes sessiles est dépourvues de pétales. La présence de fleurs femelle unisexuées localisées à l'extrémité distale d'un groupe, et de fleurs hermaphrodites localisées à l'extrémité proximale c'est d'après les caractéristiques les plus intéressantes du quinoa. (Herbillon; 2015)

La fleur hermaphrodite est constituée d'un périgone sépaloïdes (cinq sépales), d'un gynécée (ou pistil) avec un ovaire ellipsoïdal et deux ou trois stigmates entourés par l'androcée, lui-même composé de cinq étamines recourbées et courtes, sa taille varie entre 2 et 5 mm. La fleur femelle se compose seulement d'un périgone et d'un gynécée sa taille varie de 1 à 3 mm. Le pourcentage de chacune d'elle dans le glomérule dépend de la variété (Herbillon;2015).



A) Fleur hermaphrodite en période d'anthèse ; B) Fleur hermaphrodite avant l'anthèse ; C) Fleur femelle ; D) Etamine avant la déhiscence, vue interne et externe, respectivement ; E) Fruit recouvert par le périgone, vue ventrale et dorsale, respectivement

Figure 10. Fleurs hermaphroditiques et femelles du quinoa (Gandarillas, 1979)

2.3.7 Les fruits :

Le fruit est un akène qui comprend plusieurs couches. Il est de forme cylindrique à lenticulaire, à savoir périgone péricarpe et épisperme. (Del Castillo C et al ;2008) Pour chaque fruit on trouve une seule graine avec une couleur, forme et taille variées. Également il existe trois formes de graines : conique, cylindrique et ellipsoïdale ; qui pourraient être réparties dans trois catégories de taille : grande taille (2,2 à 2,6 mm), taille moyenne (1,8 à 2,1 mm) et petite taille (< 1,8 mm) (Herbillon ;2015).

2.3.8 Les graines :

Selon les cultivars, une variabilité touche la taille et la couleur des graines où se trouve le noir le plus dominant sur le rouge et le jaune, qui à leur tour dominant la couleur des graines blanches. (Bhargava et al ; 2006). La forme du grain du peut être sous quatre formes : cylindrique, lenticulaire, conique et ellipsoïdale. Les graines sont très petites c'est pourquoi la masse de 1000 graines est généralement faibles (3-6gr). (Yazar A, İnce Kaya C; 2014)



Fig11. Les différents grains de Quinoa (Lime; 2013)

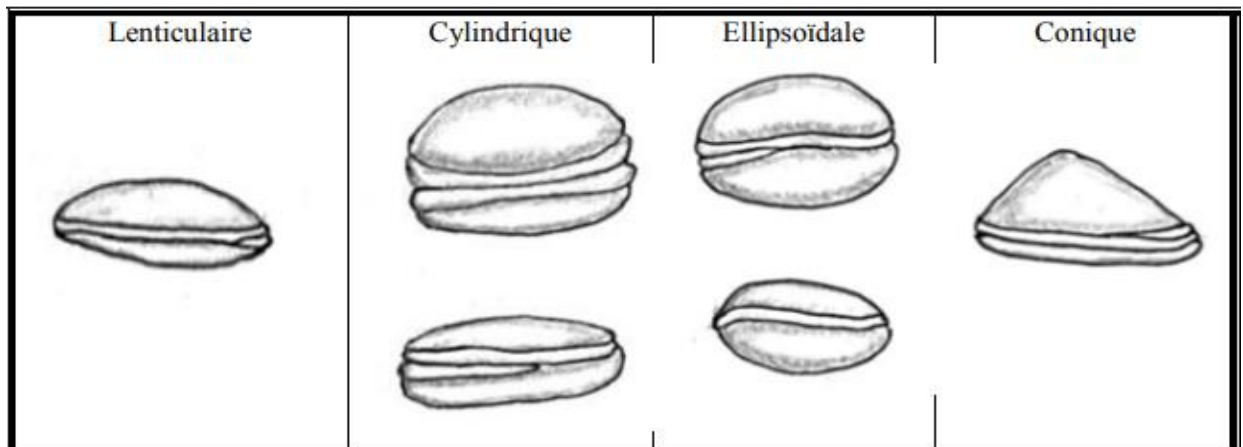


Fig12. Les différentes formes des grains de Quinoa (Biodiversity International et FAO, 2013)

3. Valeur nutritive :

Le quinoa est une source de protéine importante car elle contient une teneur très élevée de cet élément (14 à 21%) contrairement à la majorité des céréales (7 à 12 %). Elle représente une composition équilibrée et complète de groupe des acides aminés essentiels plus précisément la lysine. En outre, le quinoa nous offre un taux de minéraux élevé par rapport à celui des céréales classiques, en particulier le phosphore, le magnésium, potassium et le fer (Del Castillo Cet al; 2008).

Des études récentes montrent que le quinoa est très riche en vitamines, antioxydant et en acides gras. Pour cette raison la FAO a choisi le quinoa comme une culture pour garantir la sécurité alimentaire et classé le quinoa comme un aliment à haute valeur nutritive (Del Castillo Cet al; 2008). Selon Yazar et Ince Kaya le quinoa ne contient pas du gluten. (Yazar A, Ince Kaya C; 2014).

4. La durée du cycle de développement :

Cinq périodes peuvent différencier le cycle de croissance du quinoa :

Il y a, premièrement, du semi à l'émergence sur une période de 11 à 57 jours. Deuxièmement, de l'émergence à l'apparition (de la première paire de feuilles) sur une période de 5 à 9 jours. Troisièmement, de la première paire de feuilles à l'apparition des panicules (de 45 à 56 jours). Quatrièmement, des panicules à la floraison (de 11 à 31 jours) et enfin, de la floraison à la maturation (de 60 à 109 jours). (Del Castillo C et al ;2008).

5.Stades de développement du quinoa :

Différentes échelles pour décrire le développement phénologique du quinoa ont été proposé par de multiples auteurs. Espindola (1992) distingue, pour le quinoa, 9 étapes morpho-anatomiques qui sont les suivantes : 1 : étape d'émergence, 2 : étape cotylédonaire,3 : étape de quatre feuilles vraies,4 : étape de six feuilles vraies ,5 : ramification,6 : début de la panicule,7 : panicule,8 : début de la floraison, 9 : plein floraison,10 : stade laiteux,11 : stade pâteux,12 : maturité physiologique (Lebonvallet S ;2008).

La période végétative du **cycle végétative** est longue de 180 à 200 jours :

1. **Émergence : lorsque** la plantule sort du sol et étend les feuilles cotylédonaires, on peut observer les plantules sous forme de rangées nettes dans le sillon, mais tout dépend de l'humidité présente dans le sol, s'il est humide la graine lève le quatrième ou sixième jour après le semis. La plante peut supporter environ 7 jours sans être hydrater.

2. **Deux vraies feuilles :** Sur une période de 10 à 14 jours la plante peut vivre sans être hydrater. C'est lorsque deux vraies feuilles allongées qui ont déjà une forme lancéolée et la prochaine paire de feuilles se trouvent dans le bourgeon apical qui se produisent 10 à 15 jours après le semis et ont une croissance plus-tôt rapide des racines.

3. **Quatre vraies feuilles :** Les feuilles vertes cotylédonaires étant toujours présente (deux paires de feuilles étendues sont observées) les feuilles suivantes de l'apex se trouvant dans le bourgeon apical, au commencement de la formation des bourgeons axillaires de la première paire de feuilles, survient environ 25 à 30 jours après le semis.

4. **Six vraies feuilles :** Ici, les feuilles des cotylédons deviennent jaunâtres (Trois paires de vraies feuilles étalées sont visibles). Cette phase survient environ 35 à 45 jours après le semis, au cours de laquelle une protection de l'apex végétatif par les feuilles les plus adultes est nettement perceptible.

5. **Ramification** : jusqu'au troisième nœud, les feuilles axillaires sont présentes avec les huit vraies feuilles, on observe des cicatrices sur la tige après que les feuilles cotylédonaire tombent, cette production prend environ 45 à 50 jours après le semis.

6. **Début de saignement** : observée autour d'une agglomération de petites feuilles, qui recouvrent la panicule aux trois quarts. L'inflorescence est perceptible émergeant de l'apex de la plante, cela peut se produire environ 55 à 60 jours après le semis, de même un jaunissement de la première paire de vraies feuilles (feuilles qui ne sont plus photosynthétiquement actives) peut être observé et il y a un fort allongement de la tige, ainsi qu'un épaississement.

7. **Début de la floraison** : dans une période de 75 à 80 jours après le semis la fleur hermaphrodite apicale s'ouvre et présente des étamines séparées.

8. **Grain laiteux** : Se produisant environ 100 à 130 jours après le semis dans cette phase le déficit en eau est extrêmement préjudiciable au rendement, réduisant considérablement le remplissage des grains, on dit que le grain est laiteux lorsque les fruits qui sont dans les glomérules de la panicule sont pressés, explosent et libèrent un liquide laiteux.

9. **Grain pâteux** : les grains présentent une consistance pâteuse de couleur blanche quand il est une fois pressé, il peut survenir environ 130 à 160 jours après le semis.

10. **Maturité physiologique** : Après 160 à 180 jours de semis les grains sont mûrs physiologiquement, le taux de l'humidité varie de 14 à 16%, les grains sont remplis, la plante est verte et la défoliation complètement se réalise au période de floraison jusqu'à maturité physiologique. A cette phase la présence de pluie est préjudiciable car elle fait perdre la qualité et la saveur du grain (**Juan Pablo R; 2016**).

6. Exigences de la culture :

6.1 Les exigences agroécologiques :

Le quinoa est cultivé même sur les hautes altitudes (Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016), jusqu'à 3 800 m au-dessus du niveau de la mer (Rodriguez Calle J.P;2006). Il est peu adapté aux conditions climatiques froides et arides (Rodriguez Calle J.P;2006). L'intérêt de la culture est leur capacité d'adaptation dans les différentes conditions de stress abiotiques tels que le gel, la salinité et à la sécheresse (Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016).

Le quinoa est très adapté aux climats secs et à une humidité relative de 40 à 88% avec des températures de -4 à 38 °C (Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016), avec des précipitations annuelles de 1 500 mm à plus de 2 500 mm (Rodriguez Calle J.P;2006), mais il peut donner des rendements même quand les précipitations annuelles totales sont de 100 à 200 mm (Yazar A, İnce Kaya C;2014)

Il aime les sol sableux semi-profonds (Lim T ; 2013), mais il tolère des sols marginaux, arides (Lutz M, Bascuñán-Godoy L ; 2016), à alcalinité élevée (Rodriguez Calle J.P;2006) et argileux de pH de 4,5 à 8 selon les écotypes (Lim T ;2013)

Le quinoa se développe bien surtout dans les sols à texture moyenne et riche en matière organique, bien drainés et des pentes modérées (Yazar A, İnce Kaya C;2014). Dans le sol les grains germent à des températures optimales de 8 à 10 c° (Yazar A, İnce Kaya C;2014). Selon les conditions climatiques et le cultivar, la durée de croissance du quinoa varie environ de 90 à 180 jours (Yazar A, İnce Kaya C ; 2014).

7. Le semis :

Il se sème généralement la fin du mois d'aout et début du mois de septembre mais aussi en peut la retarder jusqu'au début du mois de décembre avec certaines variétés de cycle court (90 jours). La méthode de semis se diffère selon plusieurs paramètres : le système de semis (moderne ou traditionnel), la région de production (exemple : se faisant par poquets (hoyos) dans les régions méridionales arides et sur des sillons (surcos) ou à la volée dans les régions mieux arrosées).

La densité de semis est de 10à 15 kg /ha (**Del Castillo C et al ;2008**) pour avoir une densité de plante de 100000 à 160000 plante/ ha (**Lebon Vallet S; 2008**).

La profondeur idéale de semis et de 1 à 2 cm, dans un lit de semence bien meublé et une granulométrie très fine pour avoir un bon taux de germination. (**Yazar A, İnce Kaya C., 2014**)

8. La récolte :

Généralement la récolte s'effectue ver la fin du mois d'avril et ça dure environ deux mois à cause du non uniformité de la maturation des grains au niveau du champs, les plantes matures sont coupées ou arrachées et les groupé en botte et les laissée à l'aire libre pour les sécher pendant 30 à 45 jours le battage se fait soit d'une façon rudimentaire (manuellement ou à l'aide des animaux). Soit mécaniquement dans les deux cas on tapisse la terre par une toile pour éviter la perte des grain (**Del Castillo C et al; 2008**)(**Lebonvallet S; 2008**)

9. Les rendements :

Les rendement se varie selon le type de culture (moderne ou traditionnel) mais sont généralement faible ils vont de 400 à 1200kg/ha (**Dell Castillo C;2008**)

10. Utilisations du Quinoa :

10.1 Alimentation humaine :

Avant de consommer les différentes parties du quinoa tels que les feuilles, les inflorescences, les jeunes épis et les grains, il faut bien tremper dans l'eau et rincer pour éliminer les saponines amères. **(Lime T ;2013) (Yazar A, İnce Kaya C; 2014)**

Les feuilles de quinoa sont mangées comme des épinards **(Dell Castillo c ;2008)** et les inflorescences peuvent être consommées comme des légumes à inflorescence traditionnels, tels que le chou-fleur **(Juan Pablo R; 2016)**

Les grains de quinoa sont utilisés comme grains entiers comme le riz ou comme farine en étant transformés de différentes manières **(Yazar A, İnce Kaya C; 2014)(Jacobsen S E et al; 2012)**. Le quinoa peut être moulu en poudre et utilisé comme bouillie, ajoutés aux soupes, transformés en aliments pour le petit-déjeuner comme les flakes, les céréales ou les pâtes, les crêpes et le pain. Certaines recettes de quinoa comprennent des tamales, de la sauce huancaína et des casseroles, des ragoûts, des torrejas, des pilafs aux légumes, des pâtisseries, des biscuits, des bonbons et des desserts. **(Lime T; 2013)**

Il est peut être utilisé comme pâtisseries **(Yazar A, İnce Kaya C., 2014)** et comme petit-déjeuner riche en protéines mélangé avec du miel, des amandes ou des baies **(Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016)**.Le mélange de quinoa avec du maïs, du blé, de l'orge ou des pommes de terre produit des aliments à la fois nourrissants et nutritifs. **.(Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016)**

Une boisson protéinée à haute teneur issue du mélange d'extraits liquides de quinoa et de deux légumineuses : le mesquite (*Prosopis chilensis*) et le lupin (*Lupinus albus*) et aromatisée à la pulpe de framboise a été développée pour nourrir les enfants avec des carences nutritionnelles. Une fois cuits, ils ont une saveur de noix et ils restent séparés **(Lime T; 2013)**.

Un avantage nutritionnel supplémentaire du quinoa est qu'il peut être consommé par les patients cœliaques, car il est considéré comme une céréale sans gluten, car il contient de faibles concentrations de prolamines et a un lien phylogénétique distant avec les céréales contenant du gluten telles que les graminées (blé , orge et seigle) **(Lutz M, Bascuñán-Godoy L; 2016)**. Des enfants souffrant de malnutrition auraient été nourris avec de tels aliments enrichis de quinoa avec de bons résultats **(Lime T; 2013)**. Les grains de quinoa sans gluten conviennent à la préparation de régimes spéciaux pour la maladie cœliaque. Bien qu'il n'y ait aucune valeur commerciale, les feuilles de quinoa et les parties vertes sont une riche source de nutriments. **(Yazar A, İnce Kaya C., 2014)**

10.2. Utilisations économiques :

Le quinoa a une valeur nutritive importante, leurs grains sont utilisés pour faire de la farine et en mélange avec la farine de blé ou de maïs pour la fabrication de biscuits, de pain, les flocons, les tortilles, les crêpes et plusieurs d'aliments transformés. La gélification, la capacité d'absorption d'eau, la capacité d'émulsion et la stabilité sont de bonnes propriétés de la farine des grains de quinoa **(Bhargava A et al; 2006)**.

Il est vendu commercialement sous de nombreuses formes. Soit sous forme de grains entiers cuits sous forme de riz, soit dans des plats combinés **(Bhargava A et al; 2006)**.

10.3 Alimentation animale :

L'utilisation de la plante inclut aussi l'alimentation animale. La plante entière est utilisée comme fourrage vert. Les résidus de récolte, les feuilles ou les tiges sont utilisées au même titre que la graine pour leur valeur nutritive élevée **(Bhargava A et al; 2006)**, pour alimenter les bovins, les moutons, les porcs, les lamas, les alpagas, les ânes, les cobayes, les chevaux et la volaille **(Lim T; 2013)**.

10.4 Utilisations médicinales :

Le quinoa est considéré comme une plante médicinale en cas d'inflammation, comme analgésique, comme désinfectant des voies urinaires et comme antiseptique pour les blessures cutanées **(Lim T; 2013)**. Il est utilisé aussi dans les fractures et les hémorragies internes **(Bhargava A et al; 2006)**. Les grains de quinoa sont bénéfiques à la santé humaine du fait qu'ils leur contiennent des ecdystéroïdes qui réduisent la glycémie des patients diabétiques **(BhargavaA, Ohri D; 2016)**.

10.5 Autres utilisations industrielles :

Dans les grains et les jeunes feuilles, il y a des substances anti-nutritives : les saponines ; qui sont introduit dans de nombreuses utilisations ; généralement des détergents pour les vêtements et le lavage **(Lim T; 2013)** et plus recherché pour réaliser comme un sous-produit par l'industrie cosmétique et des perspectives existent aussi pour les utiliser comme pesticides naturels. **(Dell Castillo C; 2008)** surtout insectifuge. **(Bhargava A et al; 2006)**

Des études ont montré que l'amidon de quinoa pouvait être utilisé comme filles biodégradables dans les films de polyéthylène basse densité. **(Lim T; 2013)**

11. Importance de la culture du Quinoa :

11.1 Dans le monde :

En 1996, la FAO a classé le quinoa dans les cultures prometteuses pour régler les problèmes de désordre alimentaire que connaît l'humanité. Il aide grâce à sa diversité et aux différents modes d'utilisations que ce soit traditionnelles ou modernes à donner des solutions efficaces contre le problème de la faim et de la malnutrition dans le monde. Le quinoa est une plante avec un énorme potentiel, grâce à son extraordinaire capacité d'adaptation à des conditions écologiques extrêmes (**Oucif Bedida Z, Zouari Ahmed F; 2018**).

Le quinoa a pris beaucoup d'importance ces dernières années et a réussi à introduire l'Europe, l'Australie l'Amérique du Nord. Dans la région méditerranéenne et dans d'autres parties du monde en développement, la production de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) prend de l'ampleur et pourrait devenir une plante indispensable dans ces pays afin d'augmenter la production alimentaire dans ces pays. En effet, l'année 2013 a été déclarée "Année internationale du quinoa" (IYQ) et le quinoa a été cité parmi l'une des cultures les plus prometteuses dans le monde en terme de sécurité alimentaire au 21^{ème} siècle.

12. Le marché mondial du quinoa :

12.1 Les pays producteurs du quinoa :

Les principaux pays producteurs sont : La Bolivie, Le Pérou et L'Equateur. Aux Etats-Unis d'Amérique, en France, en Angleterre, en Suède, au Danemark, en Hollande et en Italie, ainsi qu'au Maroc, en Egypte, au Kenya et dans le nord de l'Inde, des exploitants ont aussi commencé à cultiver cette plante, et ce avec de plus en plus de succès. (**Tebri M ; 2020**)

Tab 02 : Production de quinoa chiffres 2004 et 2010 (tonne).

Année Pays	2004		2010	
	Production	%	Production	%
Pérou	27040	52	41079	58
Bolivie	24688	47	29500	41
Equateur	641	1	840	1
Total	52396	100	71419	100

Source Wikipedia

12.2 Les principaux pays consommateurs du quinoa dans le monde :

Les premiers consommateurs sont les Etats-Unis d'Amérique et l'Europe qui représentent également les principaux marchés d'exportation. (Tebri M ; 2020)

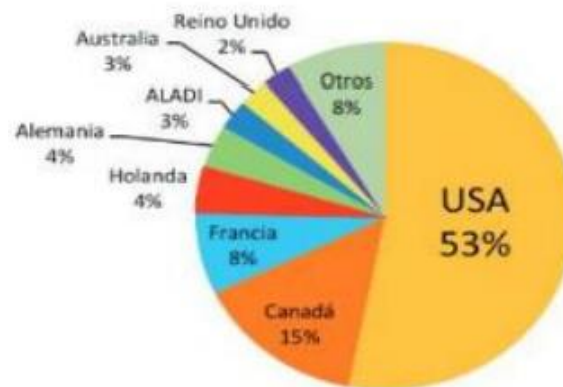


Fig13.Principaux pays importateurs du quinoa au monde en 2012 (Fagandini, 2014).

12.3 Les prix de quinoa :

Tab 03 : Les prix d'exportation du quinoa 2007-2014 pour les principaux pays producteurs Pérou, Bolivie et Equateur

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
US/ Tonne	1200	2000	3000	3000	3100	3000	4000	6700

Source Diaz (2015)

12.4 Les principaux pays exportateurs du quinoa au monde :

La Bolivie, Pérou, Equateur et Etats-Unis d'Amérique sont les pays principaux exportent le quinoa (Tebri M ; 2020)

Chapitre II : Généralités sur le stress hydrique

1. Définitions du stress

Le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant (Levitt, 1980 in Ben Kaddour, 2014). Le stress est le disfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est donc, un ensemble de conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement des dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (Dutuit et al., 1994 in Ben Kaddour, 2014).

Il ya deux types de stress :

- Biotique : imposé par d'autre organismes (insectes, herbivores...).
- Abiotique : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité... (Vincent, 2006).

2. Différents types de stress :

2.1.1. Stress hydrique

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

2.1.2 Stress salin

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

2.1.3. Stress thermique

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

2.3. L'eau dans la plante

Pour se développer une plante à besoin d'eau et quand celle-ci vient à en manquer les conséquences peuvent être graves (Bernard, 2006). L'eau se trouve naturellement à l'état liquide, mais aussi sous forme de vapeur d'eau dans les chambres sous stomatiques des feuilles (Laberche, 2004). La richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie.

2.4. Le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole partout dans le monde (Boyer, 1982). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agroéconomiques. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982).

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (Mckay, 1985 in Bootsma et al., 1996).

En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao et al., 2006).

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau et communément appelé stress hydrique (Mouhouche et Boulassel, 1997).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004).

La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

2. 5. Influence du stress hydrique sur le rendement

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke et al., 1996).

L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (Debaeke et al., 1996). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboï, 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (Gate et al., 1993). Par ailleurs et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter le stress hydrique.

2.6. Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production

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

2.7. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, évitement et tolérance) (Turner, 1986). La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao et al., 2006).

La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994).

Partie II

Matériels et Méthodes

Chapitre I : Matériels et méthodes

A .1. Site d'expérimentation :

Notre expérimentation a été réalisée au cours de l'année 2021, au niveau de la station expérimentale du département des sciences agronomiques, qui se situe au niveau du pôle universitaire Mohamed-Boudiaf M'sila (Fig.14) :

Latitude : 35°44'34" Nord

Longitude : 4°32'59" Est

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 517 m

Cette expérimentation a été réalisée dans une serre expérimentale contrôlée (22 m x 8m). Elle a débuté le 14/02/2021 et s'est terminée le 15/07/2021



Fig.14 Situation géographique de la serre (Google Earth)

B. Matériel végétal :

La présente étude a porté sur cinq variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*). Les semences (Q101 ; Q102 ; Giza 02 ; Noir) ont été fournies par l'Institut technique pour le développement de l'agriculture saharienne (ITDAS) de Biskra, à l'exception de la variété V5 (Rouge) qui a été fournie par un agriculteur d'El Oued.

Tab.04 variétés de quinoa expérimentées.

Identificateur	Code	Lignée	Origine	Source
V1	Q101	Yellow Marangani	Pérou	ITDAS
V2	Q102	Yellow Sacaca	Pérou	ITDAS
V3	Giza02	White	Pérou	ITDAS
V4	Noir	Black	Pérou	ITDAS
V5	Rouge	Red Rose	Pérou	agriculteur

(Source ITDAS)



Fig.15 Les graines des différentes variétés de quinoa (Photo Originale).

B.1. Matériels et techniques utilisées :

B.1.1. Test de germination :

Le travail détermine la germination des graines de plusieurs variétés. Les graines au nombre de 20 sont placées dans des boîtes de pétrie dans un incubateur réglé à une température de 23°C pendant 72 à 120 heures. La graine est considérée fermée une fois la radicule sort hors des téguments :

Tab.05 Test de germination.

Variété	TG (%)
Q101	95 %
Q102	75 %
GIZA 2	85 %
NOIR	80 %
ROUGE	75 %



Fig.16 Test de germination des variétés de quinoa (Photos Original).

B.1.2. Semis en alvéoles

Afin d'obtenir une levée homogène, nous avons choisi de semer nos graines dans des alvéoles (17/02/2021) et de les transplanter ensuite dans des pots pour continuer leur croissance. Les alvéoles ont été remplies de compost après tamisage, puis avec une pince nous avons semé 2 à 3 grains par alvéole.

Tab.06Taux de germination des grains semés dans les alvéoles.

Variété	Total	Germination	TG (%)
Q101	210	190	90.48%
Q102	210	130	61.90%
GIZA 2	210	175	83.33%
NOIR	210	140	66.66%
ROUGE	210	150	71.42%



Fig.17Germination desgrainsen alvéoles (Photo Original)

B.1. 3.Préparation du substrat de culture

Le substrat utilisé est un mélange de : 1/3 de sable, 1/3 de terreau et 1/3 de sol. Avant de mélanger ces trois composantes, le sol et le sable ont subi un tamisage approprié afin d'éliminer les déchets et obtenir ainsi un substrat propre.



Fig.18.Préparation du substrat de culture (Photos Original)

B.1.4. Préparation des pots

Les pots sont remplis de 500g de gravier et 4kg du substrat préparé auparavant.



Fig.19Préparationdes pots (Photo Original)

B.1. 5. Détermination de l'humidité du sol à la capacité au champ

Afin de mesurer l'humidité du sol, nous avons mis 100 g du substrat dans des pots en plastique qui contiennent des trous et nous avons arrosé. Après 24 heures nous mesurons le poids humide puis nous mesurons le poids sec après passage à l'étuve à 105 ° pendant 24 heures.

Tab.07 Calcul de l'humidité du sol.

Echantillons	Poids Normal	Poids Humide	Poids sec	H (%)
E1	100g	133.40g	89.9g	0.48
E2	100g	132.1g	91g	0.45
E3	100g	133.2g	92.9g	0.43
E4	100g	132.3g	87.9g	0.51
Moyenne	100g	132.25g	89.67g	0.47

Le calcul de l'humidité du sol à la capacité au champ se fait par la formule suivante :

$$\text{L'humidité du sol H (\%)} = \frac{\text{P (poids humide)} - \text{P' (poids sec)}}{\text{P' (poids sec)}}$$

B.1.6. Détermination du taux de tarissement de l'eau du sol

Afin de contrôler le dessèchement graduel du sol, des pesées ont été réalisées pour chaque pot tous les jours. Le stress est maintenu jusqu'à atteindre un poids final (PF) qui a été déterminé auparavant, et qui correspond dans notre cas à un taux de tarissement de 80% de la réserve utile (RU). Le poids finale de chaque pot est déterminé en fonction du poids initial (Pi) du pot à la capacité de rétention (Mouhouche *et al.*, 1998)

B.1.7. Méthode d'application du stress hydrique

Le dessèchement du sol doit correspondre à un taux de tarissement de 80% de la réserve utile (RU) ; une fois atteint, le sol est réhydraté jusqu'à sa capacité de rétention (Cr). Plusieurs cycles de stress successifs ont été appliqués pour chaque plante jusqu'à la sénescence totale des plantes.

B.2.1. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc aléatoire ; 3 blocs avec 2 répétitions ; 2 traitement (stress, non-stress). Nous avons 60 pots avec 5 témoins.

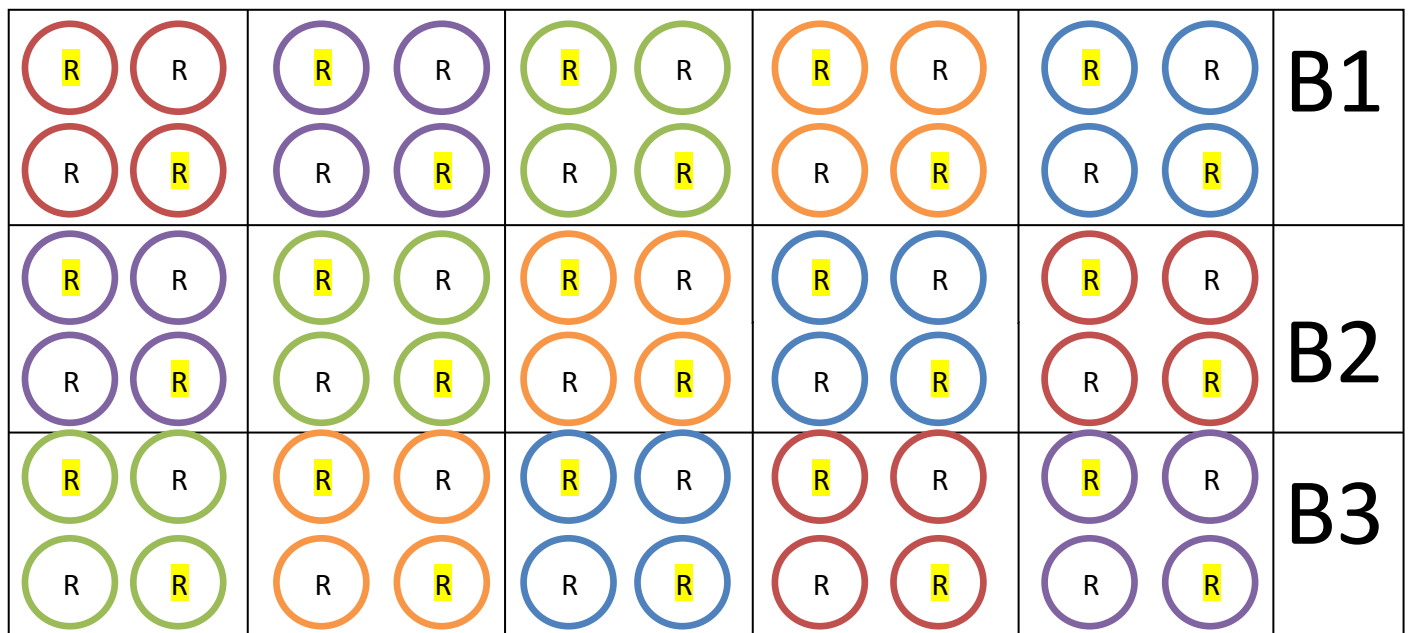


Fig.20 Le dispositif expérimental (Photo Original)

B.2.2. Transplants :

Le 03/10/2021 les plants ont été transplantés des alvéoles vers les pots.



1^{er} jour

après 13 jours

Figure.21 Transplants (Photo Original)

B.3 Paramètres étudiés

B.3.1 Surface foliaire (SF cm²)

La mesure de la surface foliaire se fait comme suit :

- Prélèvement des feuilles fraîches
- Scanner à l'aide d'un scanner
- Calculer la surface foliaire à l'aide du logiciel Adobe photoshop CS5
-

B.3.2. Poids spécifique foliaire (PSF)

Les feuilles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF) puis avec les mêmes feuilles on détermine la surface foliaire (SF), selon la méthode de Paul et *al.* 1979. Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante (Araus et *al.*, 1998 in Zeghida et *al.*, 2004) :

$$\text{PSF (mg/cm}^2\text{)} = \text{PF} / \text{SF}$$

B.3.3. Les Paramètres du rendement

Le nombre total de graines par plante (NGsP).

Le poids total des graines par plante (PGsP).

Le poids de 100 graines (P100Gr)

B.3.4. Mesure la chlorophylle

La chlorophylle a été mesurée avec un chlorophylle-métré (SPAD) à pince.



Figure.22 Mesure de la chlorophylle à l'aide d'un chlorophylle-mètre (Agro-Expo photo)

B.3.5. La teneur relative en eau (TRE)

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barres (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des pots remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80° C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig, 1982) :

$$\text{TRE (\%)} = \frac{PF - PS}{PT - PS} * 100$$



Fig.23 Mesure du poids après turgescence des feuilles (Photo Originale)



Fig.24 Mesure du poids sec des feuilles (Photo Originale)

B.3.5. Dosage des sucres solubles :

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de Drey wood (1946) modifiée par Shiends et Burnett (1960). Le principe de la réaction est basé sur la coloration des produits de dégradation des oses neutres par L'acide sulfurique, qui très concentré, transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques se colorant en Bleu-vert avec l'authrone.

* Dans des tubes à essai placés dans 100 g de matière fraîche broyée.

*Ajouter 3ml d'éthanol (80%) après laissé les tubes à température ambiante pendant 48 heures sans lumière.

*En dosant les tubes avec 4 ml de réactif (acide sulfurique et anthrone) et mettre les tubes au bain-marie pendant 8 minutes à 92°C.

*Enfin, nous mettons dans l'obscurité et dans le froid pendant 30 minutes ; après on fait la lecture des tubes dans le spectrophotomètre.



Fig25. Dosage des sucres solubles (Photos Original)

B.3.7. Dosage de Proline

La proline est dosée par la méthode de Troll & Lindsley (1954), simplifiée et mise au point par Drier et Goring (1974). Cette méthode se base sur la coloration rouge produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine et un acide :

- * Dans des tubes à essai, mettre 100 g de matière fraîche broyée.
- * Ajoutez 2 ml de méthanol (40%), après laisser les tubes au bain-marie pendant 1 heure à 85 °C.
- * Dosez les tubes avec 2 ml de réactif (ninhydrine et acide acétique) et mettre les tubes au bain-marie pendant 30 minutes à 100°C.
- * Ensuite nous rajoutons 5 ml de benzène dans chaque tube et rajoutez du Na₂SO₄.
- * A la fin on fait la lecture des tubes dans le spectrophotomètre.

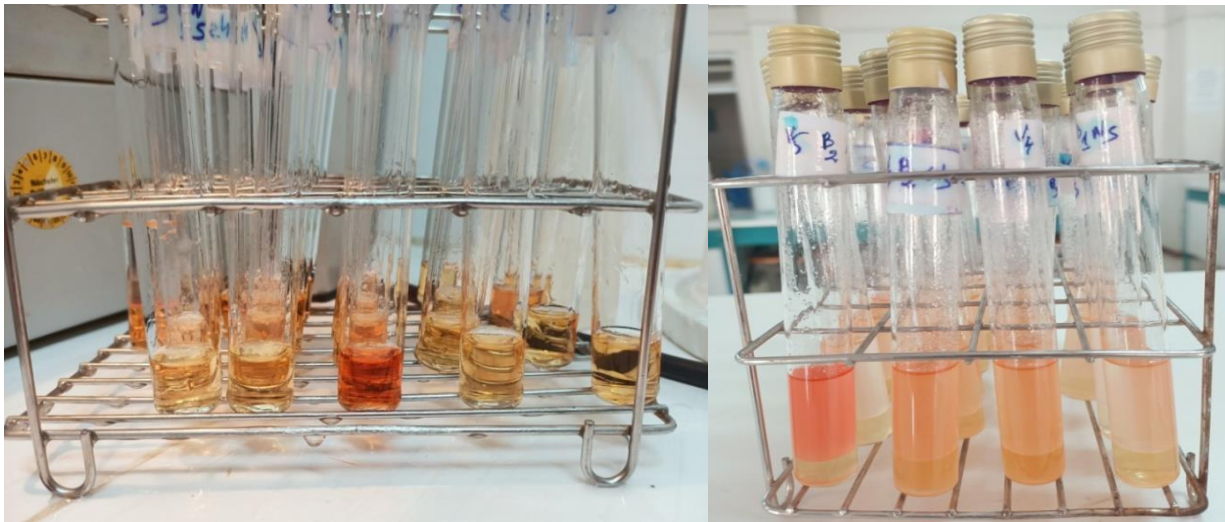


Fig.26Dosage de la proline (Photo Original)

B3.8 Hauteur de la tige (HTG1) : c'est la hauteur de la tige sans la partie florale

B3.9 Hauteur de la plante (HTG2) : C'est la hauteur de la plante qui inclut la partie florale

B3.10 Nombre d'entre nœuds



Fig.27photo de tige du quinoa (Photo Original)

L'Analyse des données

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse statistique à l'aide du logiciel STAT-BOX, les moyennes sont comparées par la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5%, basé sur la plus petite amplitude significative.

1. Résultats

1.1. Résultats du premier essai

1.1.1. Analyse de variance de la chlorophylle :

L'analyse de variance pour la Chlorophylle montre qu'il n'y a pas de différences entre variétés étudiées, toutes les variétés ont été affectées de la même manière, par contre des différences existent entre les traitements hydriques appliqués (Tab.08). Il n'y a pas d'interaction entre les deux facteurs.

Tableau n°08 : Analyse de variance de la Chlorophylle :

	DDL	S.C. E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	306.7	76.7	1.563	0.227	NS
VAR.STRESS	1	1490.4	30.377		3.11e-05	***
VAR.POP*STRESS	2	205.7	102.9	2.097	0.152	NS
VAR.BLOCS	4	423.0	105.7	2.155	0.116	NS
VAR.RESIDUELLE	18	883.1	49.1			

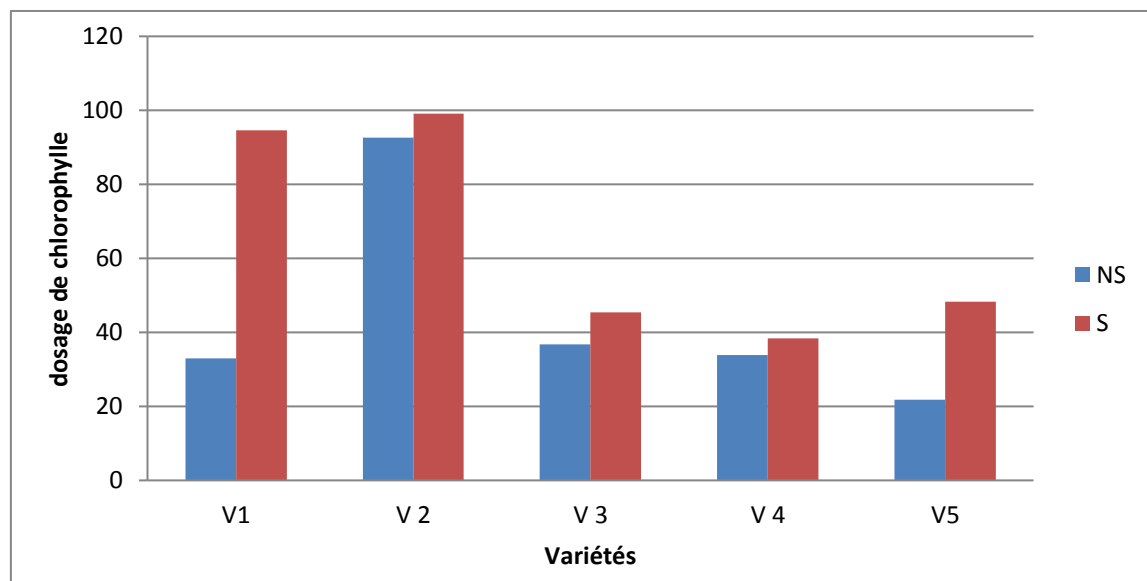


Fig.28. Le dosage de chlorophylle en fonction de l'hydratation

1.1.2. Analyse de variance de la hauteur de la tige (HTG1)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre hauteur de la tige, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs n'a pas été significative (Tab.09).

Tableau n°09 : Analyse de variance de la hauteur de la tige (HTG1)

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	4552	1137.9	20.45	1.69e-06	***
VAR.STRESS	1	2125	2125.2	38.21	7.79e-06	***
VAR.POP*STRESS	2	449	112.3	2.02	0.1347	NS
VAR.BLOCS	4	359	179.3	3.23	0.0636	NS
VAR.RESIDUELLE	18	1001	55.6			

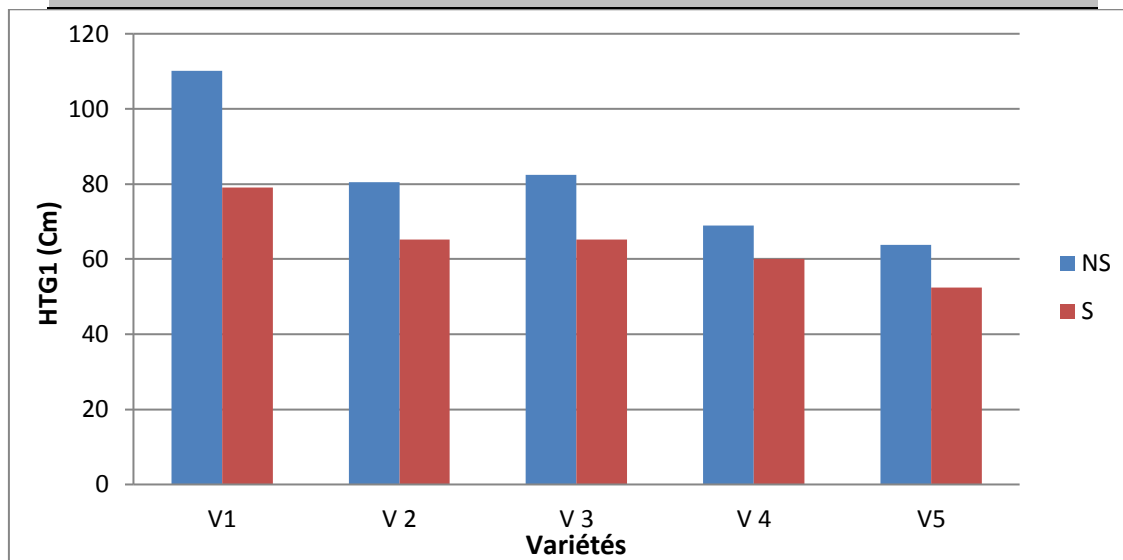


Fig.29. Hauteur de la tige des variétés en fonction du traitement hydrique

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements hydriques en deux groupes distincts (Annexe 02). Les variétés sont groupées aussi en quatre groupes homogènes (Annexe 02). Le premier groupe est composé de la variété Q101 (V1) avec 94.58 cm, suivie de la variété Giza2 (V3) et Q102 (V2) avec 73.83cm et 72.83cm respectivement. Le troisième groupe rassemble la variété noire (V4) avec 64.50 cm. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété rouge (V5) avec 58.16cm, voire la (fig.29)

1.1.3. Analyse de variance de la hauteur de la plante (HTG2)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre hauteur de la plante, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs n'a pas été significative (Tab.10).

Tableau n°10 : Analyse de variance de la hauteur du plant (HTG2) :

	DDL	S.C. E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	3022.3	755.6	10.7284	0.0001261	***
VAR.STRESS	1	4356.1	4356.1	61.8525	3.122e-07	***
VAR.POP*STRESS	2	281.3	140.7	1.9972	0.164677	NS
VAR.BLOCS	4	861.4	215.3	3.0577	0.1646775	*
VAR.RESIDUELLE	18	1267.7	70.4			



Fig30 : Photos des variétés qui présentent des déférences de hauteur entre stressé et non stressé (photo originale)

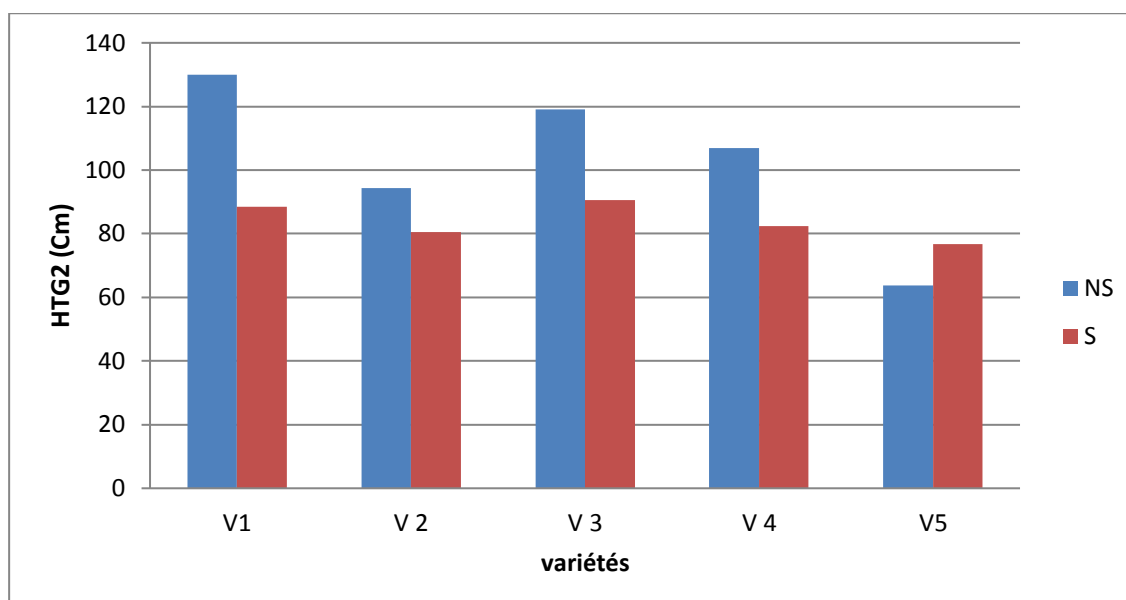


Fig.31.Hauteur du plant en fonction du traitement hydrique

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les traitements stress hydrique en quatre groupes distincts (Annexe 03). Les variétés sont groupées aussi en quatre groupes homogènes (Annexe 03). Le premier groupe est composé des variétés Q101 (V1) avec 109.25 cm suivie des variétés Giza2 (V3) et Q102 (V2) qui composent un seul groupe avec 104.91cm et 94.66 cm respectivement. Le troisième groupe est composé de la variété noire (V4) avec 87.41cm alors que la variété rouge (V5) constitue le dernier groupe avec 82.83cm.

A cause de (fig. 31), on voit que les variétés V1 et V3 la longueur de la plante diminue progressivement en fonction de l'augmentation de la durée de stress, mais aucune présence de la diminution de tige n'a été signalée pour les variétés V4, V2 et V5 on remarque que les plantes sont longues.

1.1.4. Analyse de variance du nombre d'entrenœuds (NEN)

L'analyse de variance a montré des différences significatives entre les variétés étudiées mais pas de différences entre les traitements hydriques appliqués. L'interaction entre ces deux facteurs a été non significative (Tab.11).

Tableau n°11 : Analyse de variance du nombre d'entrenœuds (NEN)

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	275.217	68.804	4.2094	0.01404	*
VAR.STRESS	1	42.008	42.008	2.5700	0.12631	NS
VAR.POP*STRESS	2	28.117	14.058	0.8601	0.43980	NS
VAR.BLOCS	4	84.783	21.196	1.2967	0.30853	NS
VAR.RESIDUELLE	18	294.217	16.345			

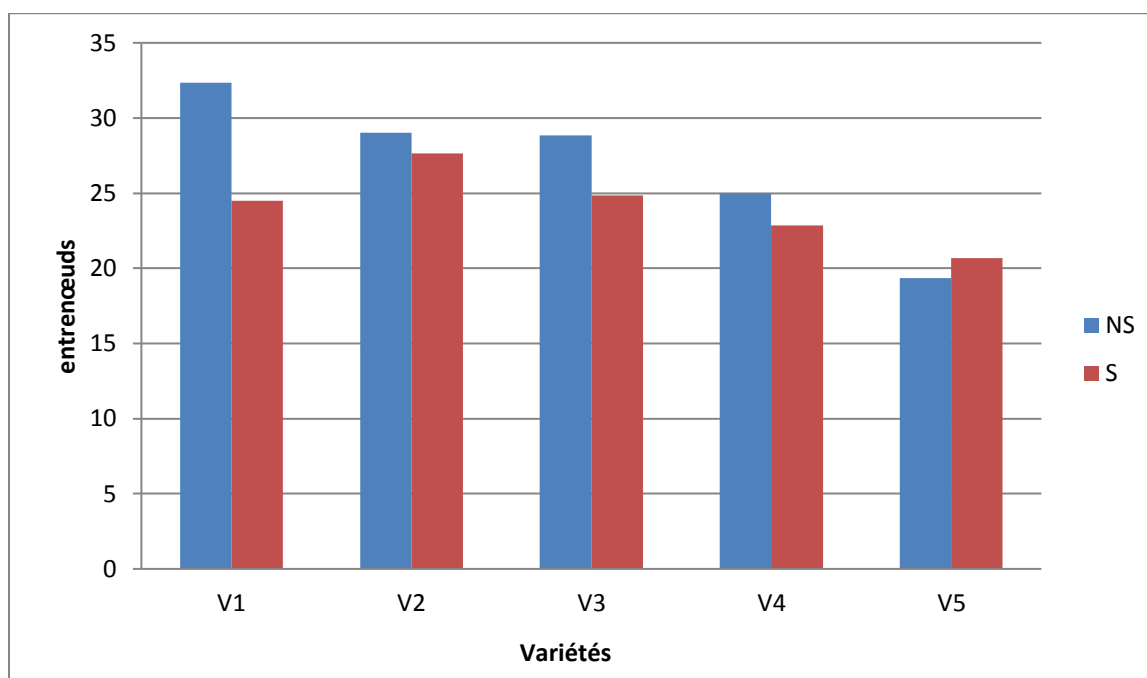


Fig.32. Différence entre les variétés pour le nombre d'entre-nœuds

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en quatre groupes homogènes (Annexe04). Le premier groupe est composé des variétés Q101 (V1) et Q102 (V2) et Giza2 (V3) avec 28.41, 27.25 et 26.83 cm respectivement, suivie de la variété noire (V4) avec 23.91 cm qui représente le deuxième groupe. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété rouge (V5) avec 20 entre-nœuds.

1.1.5. Analyse de variance de la Teneur relative en eau (TRE)

L'analyse de variance a montré des différences significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre la Teneur relative en eau, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs a aussi été très hautement significative (Tab.12).

Tableau n°12 : Analyse de variance de la Teneur relative en eau (TRE)

	DDL	S.C. E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	888.13	222.03	3.8539	0.01967	*
VAR.STRESS	1	2518.12	2518.12	43.7082	3.303e-06	***
VAR.POP*STRESS	2	107.82	53.91	0.9358	0.41056	NS
VAR.BLOCS	4	80.20	20.05	0.3480	0.84195	NS
VAR.RESIDUELLE	18	1037.02	57.61			

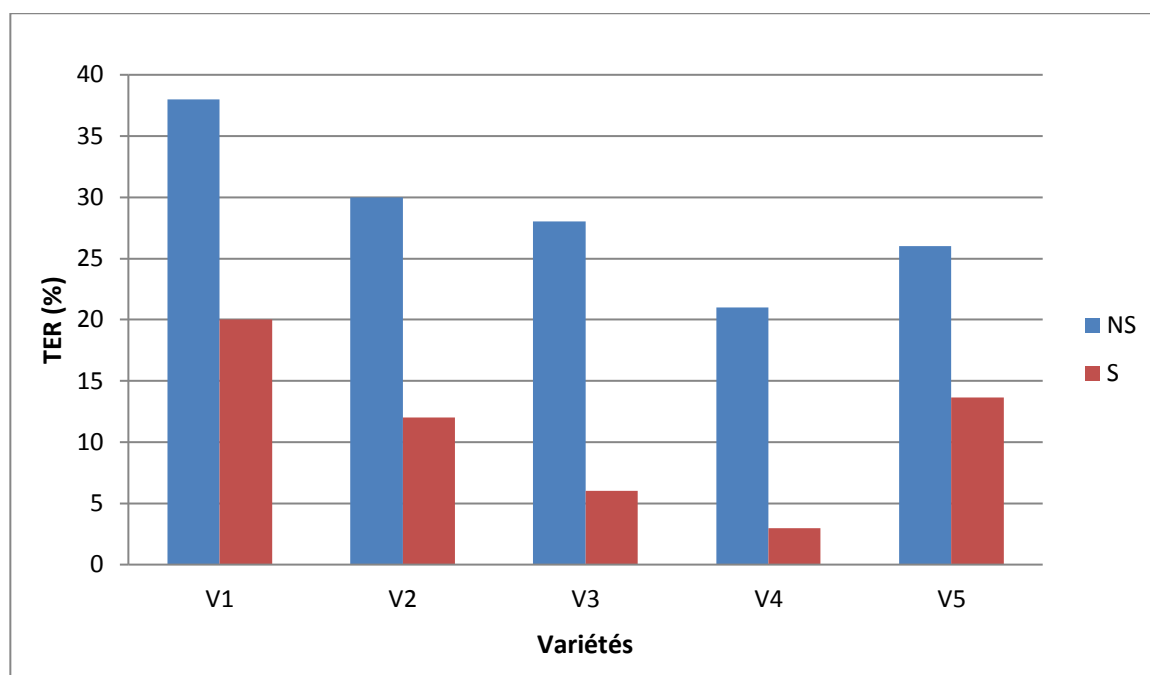


Fig.33. Différence entre les variétés pour la teneur relative en eau

Le test de Newman et Keuls a permis de regrouper les variétés en trois groupes homogènes (Annexe05). Le premier groupe est composé de la variété Q101 (V1) avec 28.64 %, suivie des variétés Q102(V2),rouge(V5) et Giza2(V3) avec respectivement 20.65 et 20.01 et 16.44%. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété noire (V4) avec 12.18%., voire la (fig. 33)

1.1.6. Analyse de variance des sucres totaux

L'analyse de variance pour le caractère dosage des sucres totaux montre qu'il y n'y a pas de différences entre les variétés étudiées. Toutes les variétés ont été affectées de la même manière par le stress hydrique appliqué (Tab.13). Des différences hautement significatives existent entre les deux traitements hydriques appliqués, par contre pas d'interaction entre ces deux facteurs.

Tableau n°13 : Analyse de variance du dosage de sucre

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	74.015	18.504	2.0265	0.13365	NS
VAR.STRESS	1	107.012	107.012	11.7196	0.00303	**
VAR.POP*STRESS	2	20.756	10.378	1.1365	0.34290	NS
VAR.BLOCS	4	38.426	9.607	1.0521	0.40837	NS
VAR.RESIDUELLE	18	164.359	9.131			

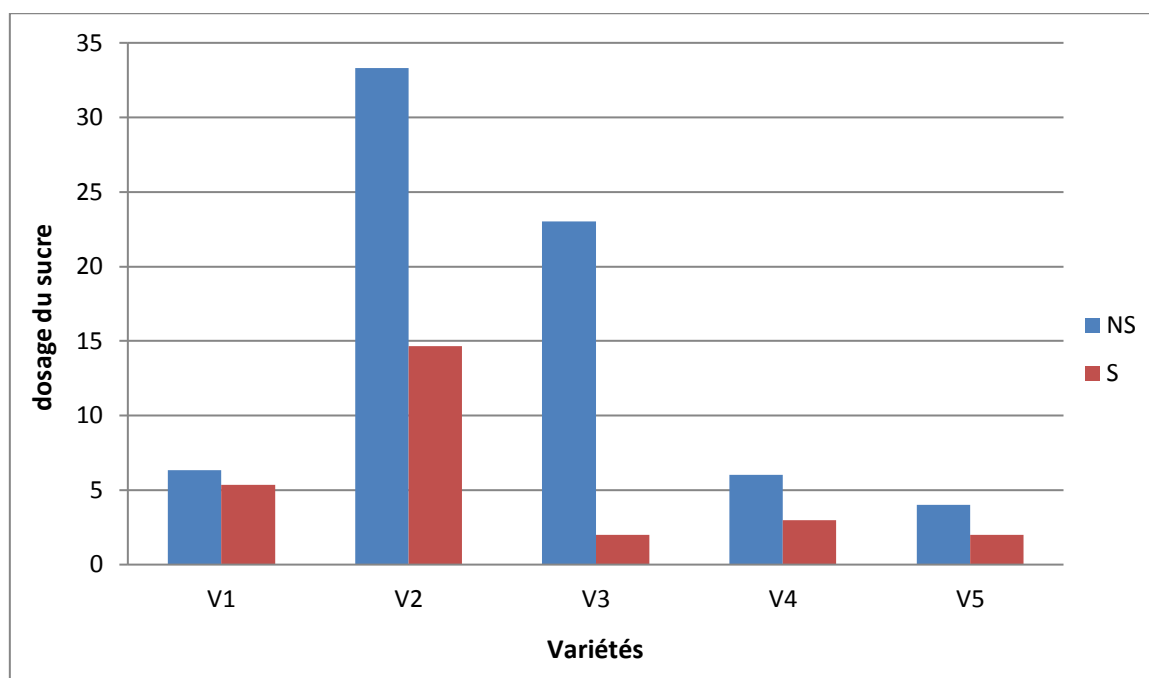


Fig.34. Différence des taux de sucre totaux entre les variétés

1.1.7. Analyse de variance du taux de proline dans les feuilles

L'analyse de variance n'a pas montrée de différences significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués, par contre des différences très hautement significatives ont été mises en évidence entre les variétés étudiées. L'interaction entre ces deux facteurs a aussi été non significative (Tab.14).

Tableau n°14 : Analyse de variance du dosage de proline

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	0.075551	0.0188877	19.5992	2.296e-06	***
VAR.STRESS	1	0.000000	0.0000000	0.0000	1.000	NS
VAR.POP*STRESS	2	0.004118	0.0020591	2.1366	0.147	NS
VAR.BLOCS	4	0.052898	0.0132245	13.7227	2.656e-05	***
VAR.RESIDUELLE	18	0.017347	0.0009637			

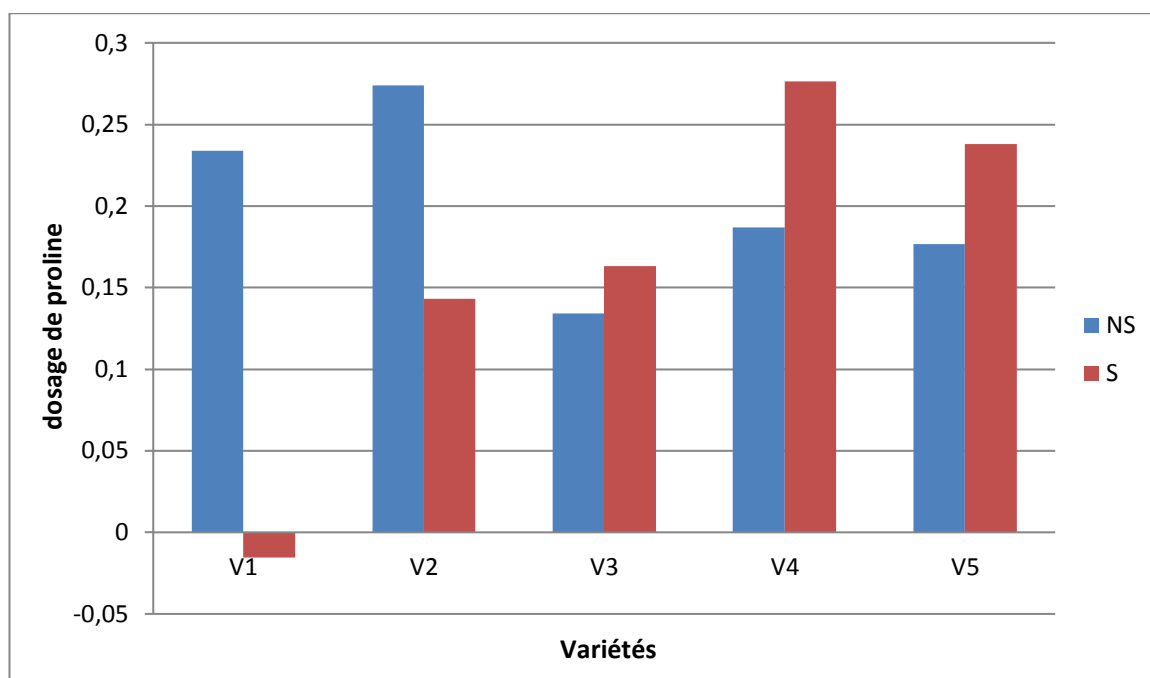


Fig.35. Différence des taux de proline entre les variétés

Le test de Newman et Keuls a permis de classer variétés en deux groupes homogènes (Annexe 06). Le premier groupe est composé des variétés noires (V4), rouge (V5), Giza2 (V3) et Q102 (V2) avec respectivement 0.20, 0.19, 0.19 et 0.19. Le deuxième groupe se compose exclusivement de la variété Q101 (V1) avec 0.073.

1.1.8. Analyse de variance du Poids total des grains (PT)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre poids total des grains, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs a été non significative (Tab.15).

Tableau n°15 : Analyse de variance du poids total des grains

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	242.916	60.729	14.5343	1.816e-05	***
VAR.STRESS	1	2518.12	2518.12	43.7082	1.443e-05	***
VAR.POP*STRESS	2	107.82	53.91	0.9358	0.83906	NS
VAR.BLOCS	4	55.424	13.856	3.3161	0.03349	*
VAR.RESIDUELLE	18	75.210	4.178			

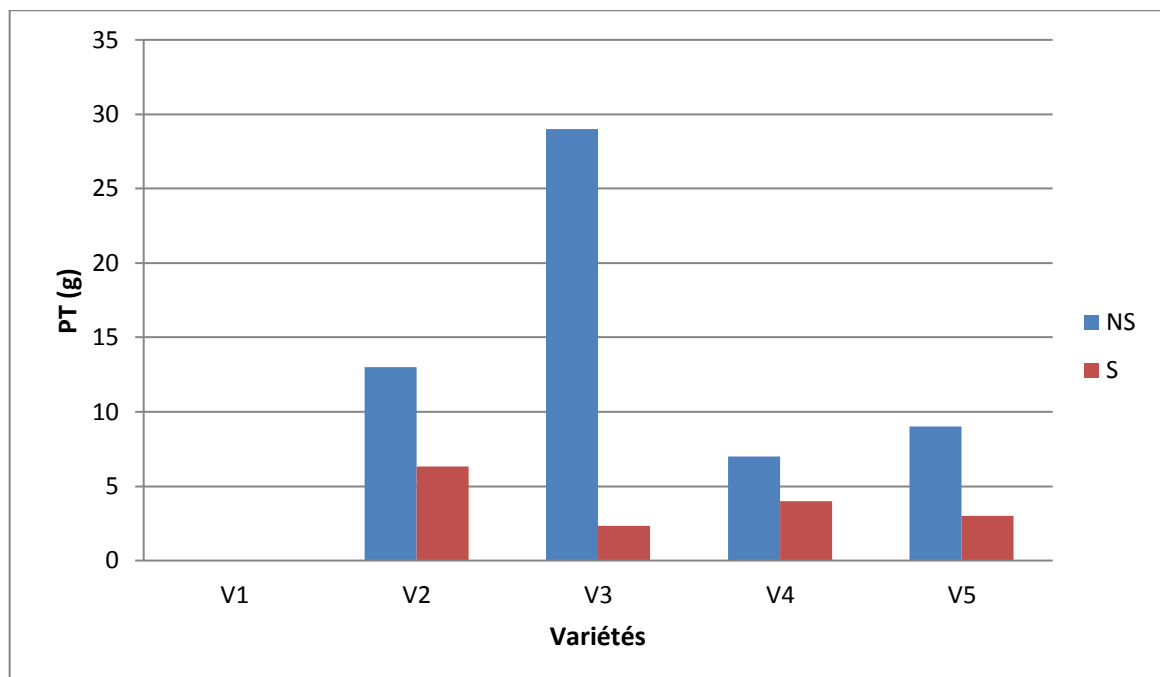


Fig.36. Comparaison entre les variétés pour le poids total des grains

Le test de Newman et Keuls a permis de classer variétés en trois groupes homogènes (Annexe07). Le premier groupe est composé de la variété Q102(V2) avec 8.81g, le deuxième groupe rassemble les variétés Giza2(V3), noire (V4) et rouge(V5) avec 5.74 et 5.47 et 5.44 respectivement. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété Q101 (V1) qui n'a pas produit de grains.

1.1.9. Analyse de variance du Poids de 100 grains (P100)

L'analyse de variance n'a pas montrée de différences significatives entre les différents traitements de stress hydriques, ainsi que pour l'interaction. Des différences très hautement significatives ont été décelé entre les variétés étudiées pour le paramètre poids de 100 grains (Tab.16).

Tableau n°16 : Analyse de variance du Poids de 100 grains

	DDL	S.C. E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	0.32149	0.080373	87.0338	1.603e-11	***
VAR.STRESS	1	0.00202	0.002017	2.1844	0.15670	NS
VAR.POP*STRESS	2	0.00387	0.001937	2.0977	0.15174	NS
VAR.BLOCS	4	0.01274	0.003185	3.4494	0.02928	*
VAR.RESIDUELLE	18	0.01662	0.000923			

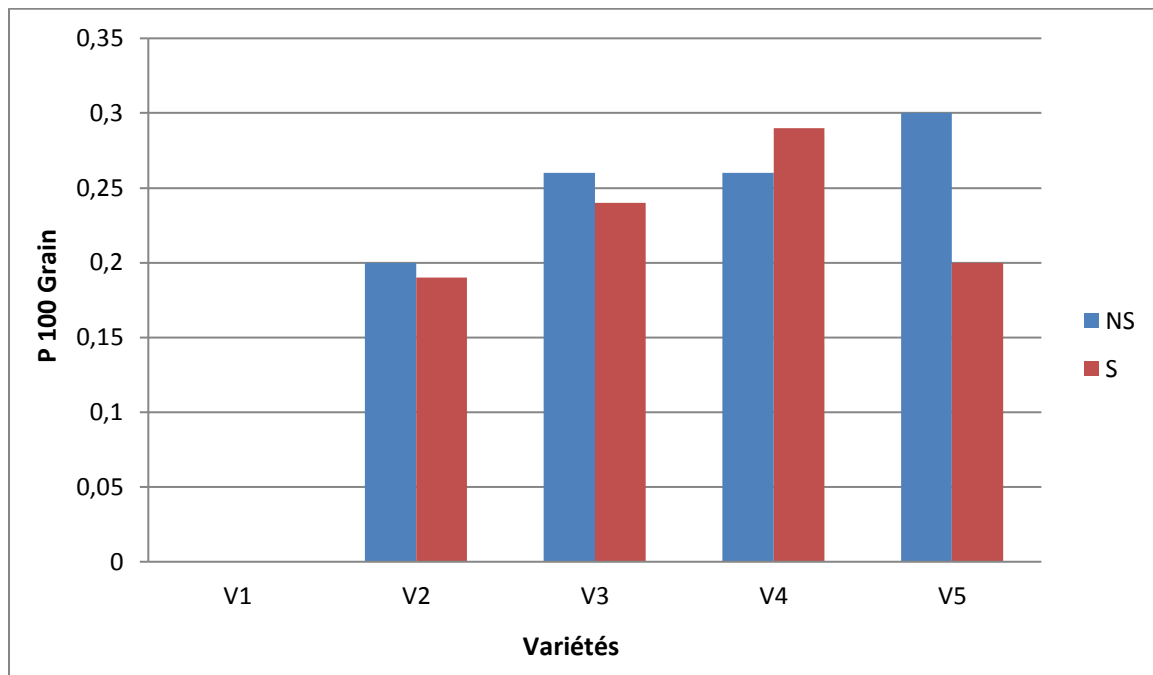


Fig.37. Comparaison entre les variétés pour le poids de 100 grains

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en trois groupes distincts (Annexe08). Le premier groupe est composé des variétés noires (V4), rouge (V5) et Giza2 (V3) avec 0,28g, 0,25g et 0,25g respectivement. Suivie de la variété Q102(V2) avec 0,19g. Le dernier groupe est composé de la variété Q101 (V1) qui n'a pas produit de grains.

1.1.10. Analyse de variance du nombre des grains par plant (NG)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre nombre de grains, ainsi que pour l'effet variété. L'interaction entre ces deux facteurs n'a pas été significative (Tab.17).

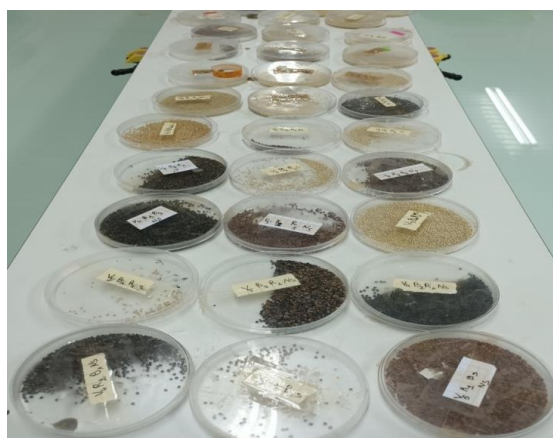


Fig.38. Photoreprésentant la production obtenue par chaque plant de quinoa (photo originale)

Tableau n°17 : Analyse de variance dunombre des grains par plant (NG)

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	62782809	15695702	23.6208	5.890e-07	***
VAR.STRESS	1	22972250	22972250	34.5715	1.443e-05	***
VAR.POP*STRESS	2	43262	21631	0.0326	0.96803	NS
VAR.BLOCS	4	10367055	2591764	3.9004	0.01881	*
VAR.RESIDUELLE	18	11960736	664485			

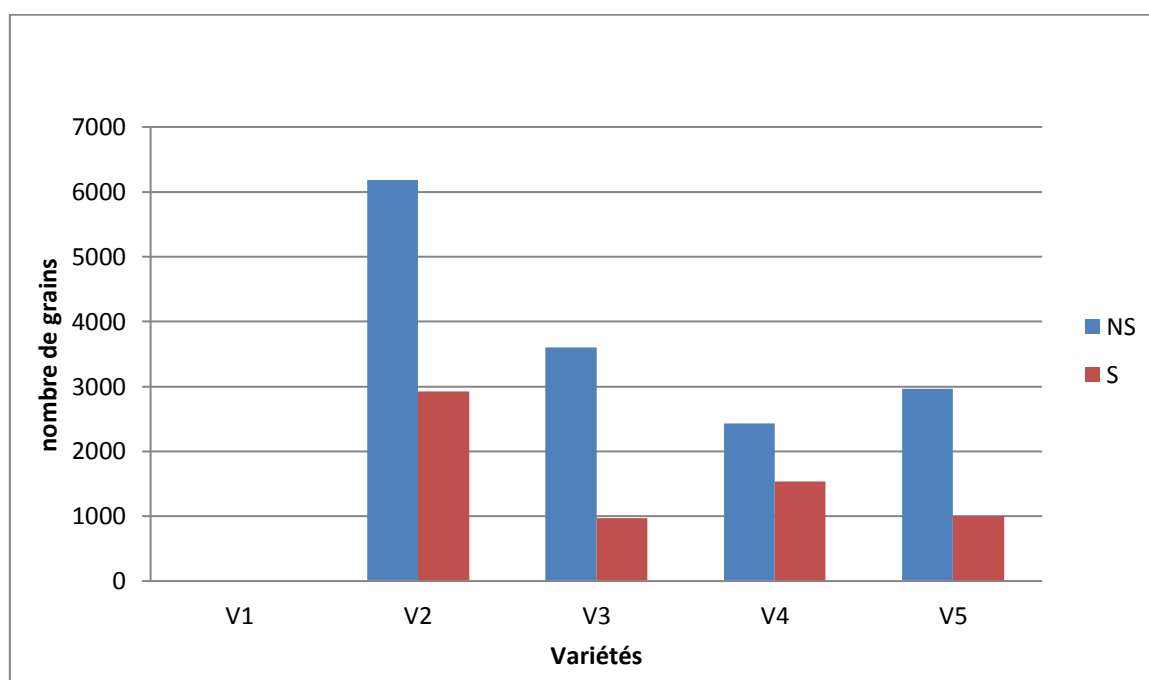


Fig.39. Comparaison entre les variétés pour le nombre de grains par plant

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en trois groupes homogènes distincts (Annexe09). Le premier groupe est composé de la variété Q102(V2) avec 4551.66 grains suivie des variétés Giza2(V3), rouge(V5) et noire (V4) avec 2283.66 et 1984.08 et 1981.41 grains

respectivement. Le dernier groupe est composé exclusivement de la variété Q101 (V1) qui n'a pas produit de grains.

1.1.11. Analyse de variance de la surface foliaire (SF)

L'analyse de variance a montrée des différences très hautement significatives entre les différentes variétés pour le paramètre surface foliaire, ainsi que pour l'effet traitement. L'interaction entre ces deux facteurs a été non significative (Tab.18).



Fig40: des photos verticale des variétés du Quinoa (photo originale)

Tableau n°18 : Analyse de variance de la Surface foliaire (SF)

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	3365.9	841.47	40.7897	8.595e-09	***
VAR.STRESS	1	266.4	266.41	12.9142	0.002076	**
VAR.POP*STRESS	2	47.2	23.61	1.1443	0.340540	NS
VAR.BLOCS	4	209.3	52.33	2.5367	0.075934	NS
VAR.RESIDUELLE	18	371.3	20.63			

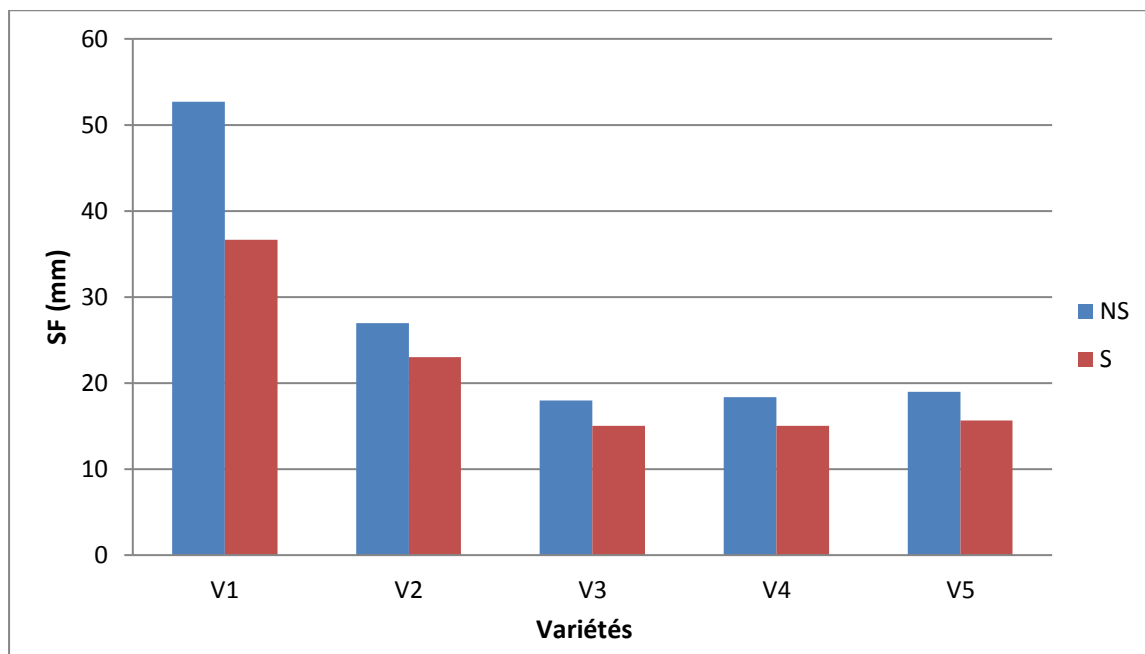


Fig.41 Comparaison entre les variétés pour la surface foliaire

Le test de Newman et Keuls a permis de classer variétés en trois groupes homogènes (Annexe10). Le premier groupe est composé de la variété Q101 (V1) avec 44.39 mm² suivie de la variété Q102(V2) avec 25.15mm². Le dernier groupe est composé exclusivement des variétés rouge (V5), Giza2 (V3) et noire (V4) avec 17.55 et 16.94 et 16.74 mm² respectivement.

1.1.12. Analyse de variance du poids spécifique (PSF)

L'analyse de variance a montrée des différences non significatives entre les différents traitements de stress hydriques appliqués pour le paramètre du poids de 100 grains, alors que les variétés ont montré des différences hautement significatives. L'interaction entre ces deux facteurs n'a pas été significative (Tab.19).

Tableau n°19 : Analyse de variance du Poids spécifique (PSF)

	DDL	S.C.E	C.M.	TEST F	PROBA	S
VAR.POP	4	0.0006	1.6189e-04	4.8472	0.007	**
VAR.STRESS	1	0.00006	6.7216e-05	2.0126	0.173	NS
VAR.POP*STRESS	2	0.00005	2.7218e-05	0.8150	0.458	NS
VAR.BLOCS	4	0.00019	2.5547e-05	0.7649	0.561	NS
VAR.RESIDUELLE	18	0.00060	3.3398e-05			

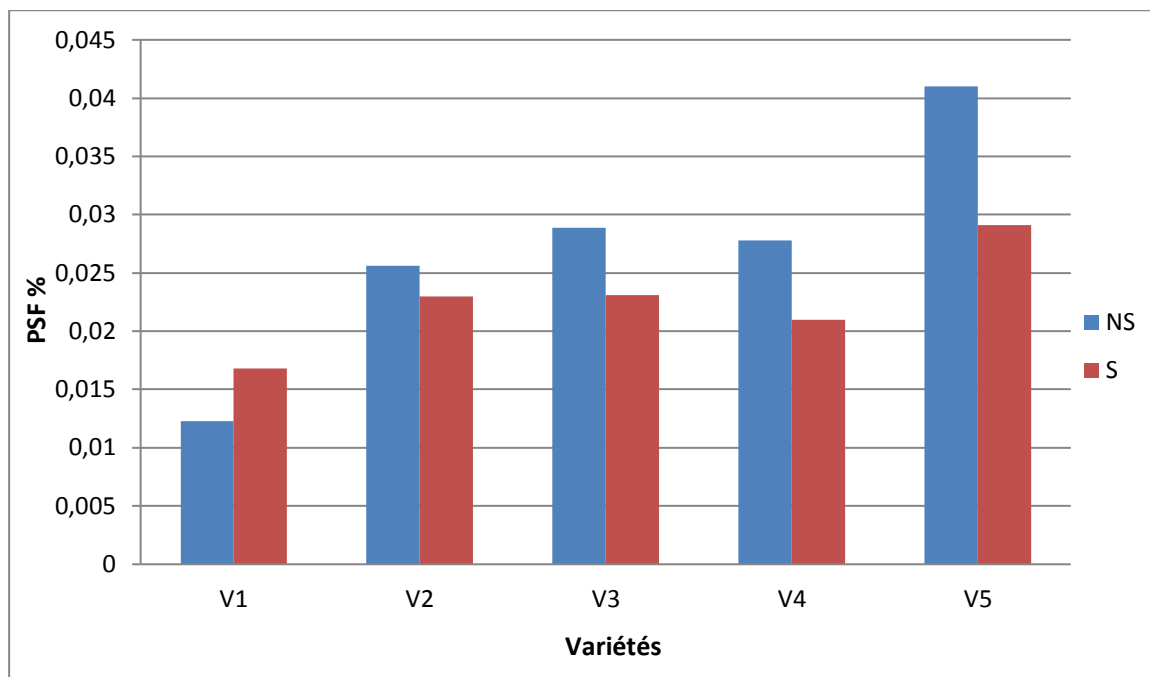


Fig.42 Comparaison entre les variétés pour le poids spécifique (PSF)

Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés en trois groupes distincts (Annexe11). Le premier groupe est composé de la variété rouge (V5) et la variété Giza2 (V3), avec 0.028 et 0.025 respectivement, suivie des variétés noire (V4) et Q102(V2) avec 0.022 et 0.020 respectivement. Le dernier groupe est composé exclusivement la variété Q101 (V1) avec 0.014.

Conclusion

Conclusion :

Le travail réalisé dans ce mémoire nous a permis d'avoir certaines données sur l'effet de déficit hydrique sur cinq variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) (Q102, Q102, GIZA 2, noiret rouge), en prenant en considération quelques paramètres de croissance (stades de développements) et quelques caractéristiques morphologiques et physiologiques des variétés :

Les résultats de l'analyse de variance à montrer clairement que pour tous les caractères étudiés à l'exception de la teneur en chlorophylle et en sucre l'effet variété a été significatif. Ce qui implique que pour tous ces caractères des différences significatives existent entre ces variétés. Des différences significatives existent aussi entre le traitement stress hydrique appliqué et le contrôle (ETM) pour la plupart des caractères étudiés. Cependant aucune interaction significative n'a été trouvée. Ceci révèle que ces variétés se comportent toutes de la même manière quel que soit la situation hydrique dans laquelle elles se trouvent. En d'autres termes les meilleures variétés dans une situation d'évapotranspiration maximale restent aussi performantes dans une situation de stress hydrique sévère.

La variété V1 s'est distingué par les meilleurs performances, quel que soit la situation hydrique appliquée. À l'exception des paramètres de rendement où nous n'avons pas pu avoir de résultats, du fait que la variété est largement tardive par rapport aux autres variétés mais aussi pour des raisons relatives à la situation sanitaire (COVID19) qui a perturbé le déroulement de l'essai. Concernant les caractères de rendement la variété V2 a été la plus productive en comparaison avec les variétés V3, V4, V5.

Enfin, le quinoa se montre comme une plante tolérante au déficit hydrique, les variétés étudiées (Q101 ; Q102 ; GIZA2 ; Noir ; Rouge) ont montrées une très bonne adaptation à ces conditions malgré la sévérité du stress hydrique appliqué (80% de la RU).

En perspective, il serait judicieux de reprendre cet essai dans plusieurs terrains expérimentaux en utilisant encore plus de variétés afin d'identifier celles qui ont le plus de potentiel de s'adapter et de produire dans les conditions arides et semi-arides, notamment dans le cas de la région de Msila.

Les références Bibliographiques

Les références bibliographiques :

- Antonio V G, Margarita M Judith V, Elsa U, Luis P, Enrique A M. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *JSci Food Agric.*;90(2010): 2541 – 2542.
- BENDERRADJI M E, ALATOU D, ARFA A M T, BENACHOUR K. (2006). Problème de dégradation de l'environnement par-là de certification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie. *NEW MEDIT.* 4(2006): 15
 - Bhargava A, OhriD.(2016) - Origin of Genetic Variability and Improvement of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)- Springer International Publishing Switzerland; 10 (2016): 241-242.
 - Bhargava A, Shukla S, OhriD.(2006) - *Chenopodium quinoa* - an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*; 23(1): 23-77.
 - Boughdiri A, Tibaoui G, Boubaker H, Dhaouadi L, Sellami M H.(2020). Détermination et analyse des paramètres de rendement chez deux variétés d'avoine soumises à un stress hydrique dans un contexte de changement climatique. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement.*2 (2020): 92
 - Del Castillo C, Mahy G, Winkel T.(2008) - La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente “ bio-équitable ”. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*; 12(4): 423-431.
 - Dutuit P., Pourrat Y., Dutuit J.M., 1994. La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sècheresse*, 5.1: 23-31.
 - FAO/WHO/UNU meeting. WHO. Geneva: FAO/WHO/UNU.<http://www.fao.org/DOCREP/003/AA040E/AA040E00.HTM>
 - HerbillonM.(2015) - Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. thèse doctorat en pharmacie.Université de rouenu.f.r de médecine et de pharmacie. France, pp:34-46.
 - Jacobsen S E, Jensen C R, Liu F.(2012) - Improving crop production in the arid Mediterranean climate *Field Crops Research*; 128(2012): 40
 - Juan Pablo R. (2016). Efecto de tresniveles de guano de las islas el elrendimiento de *chenopodium quinoa* wild VAR Blanca junin en huayatansantiago de chuco-la libertad. Rapport de thèse pour choisir le titre professionnel d'ingénieur agronome: Université nationale de Trujillo- Pérou, p.09-16.
 - LebonvalletS.(2008).- Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano

- Bolivien - Thèse de doctorat d'état, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), France, p 14-20.
- LES SOLS SALINS EN ALGERIE. (2008). INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE. P: 1
 - Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others Stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
 - Lim T. (2013) - Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants -Springer Science; 5 (2013): 116-128.
 - Lutz M, Bascuñán-Godoy L.(2016) - The Revival of Quinoa: A Crop for Health - Intech ; 1(2017): 40-41
 - OucifBedida Z, ZouariAhmedF . (2018). Evaluation du comportement morpho-physiologique, biochimique et antioxydants des quelques variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) cultivées dans la région d'El Oued. Master Académique en Sciences biologiques: Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED. p:7.
 - Ritva A, Mari R, Carrasco V.(2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa, Willd.*) as a source of dietary fiber and other functional components. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas. 31(1): 225.
 - Rodriguez Calle J.P. (2006). -Modélisation de la culture du quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), en vue de choix des variétés adaptées à chaque région de l'Altiplano bolivien-. Mémoire de master. Université des sciences et techniques du Languedoc, p.01
 - Schachtman DP, Goodger JQD. 2008. Chemical root to shoot signaling under drought. Trends in Plant Science 13(6): 281-287.
 - Sinclair TR, Ludlow MM. 1986. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. Australian Journal Plant Physiology 13: 329-341.
 - Tebri M. (2020). Effet de déficit hydrique régulé sur la production d'une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) dans la région de Biskra. Master Académique en Sciences biologiques: Université Mohamed Khider- Biskra.p: 31-34.
 - Yazar A, İnce Kaya C. (2014) - A New Crop for Salt Affected and Dry Agricultural Areas of Turkey:Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). TURKISH JOURNAL of AGRICULTURAL and NATURAL SCIENCES. 2 (2014): 1440-1442.

Annexes

Annexes

Annexes 01 : Séquence les pots dans 3 bloc

Bloc 01 :

V5 S	V5	V4 S	V4	V3 S	V3	V2 S	V2	V1 S	V1
V5	V5 S	V4	V4 S	V3	V3 S	V2	V2 S	V1	V1 S

Bloc 02 :

V4S	V4	V3S	V3	V2S	V2	V1 S	V1	V5S	V5
V4	V4S	V3	V3S	V2	V2S	V1	V1S	V5	V5S

Bloc 03 :

V3S	V3	V2S	V2	V1S	V1	V5 S	V5	V4S	V4
V3	V3S	V2	V2S	V1	V1S	V5	V5S	V4	V4S

Annexes 02 : Groupes homogènes des variétés pour de la hauteur de la tige (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P1	94.58333	a
P3	73.83333	b
P2	72.83333	b
P4	64.50000	bc
P5	58.16667	c

Annexes 03 : Groupes homogènes des populations pour la hauteur du plant (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P1	109.25000	a
P3	104.91667	b
P2	94.66667	b
P4	87.41667	bc
P5	82.83333	c

Annexes 04 : Groupes homogènes des populations pour Nombre d'entrenœuds (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P1	28.41667	a
P2	27.25000	a
P3	26.83333	a
P4	23.91667	ab
P5	20.00000	b

Annexes 05 : Groupes homogènes des populations pour la Teneur relative en eau (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P1	28.64832	a
P2	20.65021	ab
P5	20.01488	ab
P3	16.44309	ab
P4	12.18993	b

Annexes 06 : Groupes homogènes des populations pour la dosage du proline (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P4	0.20767038	a
P5	0.19556286	a
P3	0.19503644	a
P2	0.19372041	a
P1	0.07317157	b

Annexes 07 : Groupes homogènes des populations pour le Poids total des grains (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P2	8.814583	a
P3	5.747000	b
P4	5.477167	b
P5	5.442083	b
P1	0.000000	c

Annexes 08 : Groupes homogènes des populations pour le Poids de 100 grains (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P4	0.2840000	a
P5	0.2571667	a
P3	0.2570000	a
P2	0.1960000	b
P1	0.0000000	c

Annexes 09: Groupes homogènes des populations pour Nombre de graines (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P2	4551.667	a
P3	2283.667	b
P5	1984.083	b
P4	1981.417	b
P1	0.0000000	c

Annexes 10: Groupes homogènes des populations pour la Surface foliaire (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P1	44.39417	a
P2	25.15083	b
P5	17.55917	c
P3	16.94917	c
P4	16.74333	c

Annexes 11: Groupes homogènes des populations pour le Poids spécifique (test de Newman et Keuls au seuil 5%)

Populations	Moyenne	Groupes Homogenes
P5	0.02877672	a
P3	0.02517310	a
P4	0.02261298	ab
P2	0.02086092	ab
P1	0.01483886	b

Résumé :

Dans ce travail, mené en pots, dans la serre, nous avons testé l'effet du stress hydrique sur 5 variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). (Q101, Q102, GIZA2, NOIR, ROUGE). Nous avons étudié certains paramètres (la croissance, hauteur final, ramification, entre nœud et le rendement, ect ...).

Les résultats montrent qu'il y a une variabilité entre les plantes stressées et non stressées chez les cinq variétés étudiées. On peut classer les variétés de quinoa selon leur tolérance au stress hydrique comme suit Q102 suivi de noir et enfin, Q101 qui a été la plus sensible

Mots clé : Quinoa, stress hydrique, rendement, croissance, pot.

Abstract:

In this work, carried out in pots, in the greenhouse, we tested the effect of water stress on quinoa in 5 varieties of *Chenopodium quinoa Willd.* (Q101, Q102, GIZA2, BLACK, RED).

By studying certain parameters (growth, final height, branching, between node and yield, ect...)

The results show that there is variability between stressed and unstressed plants in the five varieties.

We can classify the varieties of quinoa according to their tolerance to water stress as follows Q102 followed by black and finally, Q101 which registers the most sensitive.

Keywords: Quinoa, Water stress, greenhouse, Pot.

الخلاصة:

في هذا العمل، الذي تم إجراؤه في أُنص، في الدفيئة، قمنا باختبار تأثير الإجهاد المائي على الكينوا *Chenopodium quinoa Willd.* في 5 أنواع من Q101، Q102، GIZA2، أسود، أحمر. من خلال دراسة اعدادات معينة (النمو، الارتفاع النهائي، التفرع، بين العقدة والمحصول، إلخ....) أظهرت النتائج أن هناك تبايناً بين النباتات المجهدة وغير المجهدة في الأصناف الخمسة يمكننا تصنيف أصناف الكينوا وفقاً لتحملها للإجهاد المائي على النحو التالي Q102 متبوعاً بالأسود وأخيراً Q101 الذي يسجل أكثر الأنواع حساسية. الكلمات المفتاحية: الكينوا، الإجهاد المائي، الدفيئة، الأبيص.