

UNIVERSITE KASDI MERBAH –OUARGLA-
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Gestion des agrosystèmes

Présenté par : Melle BENZID Ilham

Mme CHIBANI Amna

Thème

**Contribution à la caractérisation morpho-physiologique
et agronomique de trois variétés/ population de quinoa
dans les conditions arides (Cas de Ouargla)**

Soutenu publiquement :

Le : 30/09/2020

Devant le jury :

Mme.	DERAOUI	Naima	M.C.A	Présidente	UKM OUARGLA
Mme.	DJERROUDI	Ouiza	M.C.A	Promotrice	UKM OUARGLA
Mme.	MAAMRI	Kelthoum	Doctorante	Co-promotrice	UKM OUARGLA
Mr.	SAGGAI	Med Mounir	M.C.B	Examineur	UKM OUARGLA

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Au terme de ce mémoire, je remercié avant, Dieu tout puissant de ma voir donner le courage pour terminer nos études.

*Nous exprimons d'abord notre profond remerciement à notre encadreur Mme **DJERROUDI Ouiza**, pour avoir dirigé ce thème, ainsi que pour ses conseils, sa confiance, ses encouragements, et son soutien pour finir ce travail.*

*Nous remercions chaleureusement Mme **DERAOUI Naïma**, pour avoir acceptée de présider le jury de cette thèse et Mr **SAGGAI Med Mounir** pour avoir accepté de faire partie de ce jury.*

*Nous exprimons nos plus grands remerciements à Mme **HANNANI Amina** pour ses conseils et son aide technique.*

Nous remercions Ami Taher et chtéoui I, Allali A , pour leurs aide.

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.



Dédicace

Avant tout je remercie mon DIEU le tout puissant qui m'a donné la ténacité pour achever ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents; ma mère AICHA et mon père: MAAMAR, qui m'ont encouragée durant toutes mes années d'étude, et toujours soutenue ; et en m'inculquant le sens de la responsabilité.

Mes frères: Oussama, El-safi et Farouk.

Mes sœurs : Asma, Nour El-houda, RahmaNadaEl-raihan, Malak El-rahman et ma petites sœur Ferial.

Ma nièce:Ahmed Djawad

Mes chères amies: Lamia, Zahra Saadia, Sara et Soumia.

A mon binôme Amna pour tous les moments dans notre travail

A tous mes enseignants Toutes les personnes de promotion de gestion des agrosystèmes

Ilham



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A mes chers parents **Chibani A**, et **Sadamou A**, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mon cher mari **Akchich M**, et à mon cher fils : **alhachemi Abdel mawla** ,*

*A mes chères sœurs **Noura**, **Cherifa**, **Souhila**, **Insaf**, **Rehab**, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral*

*A mes chers frères, **Ibrahime**, **Abdenour**, pour leur appui et leur encouragement,*

A ma belle-famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

*A mes amis **Wafa**, **Fadoua**, surtout **Abdelbasset** pour son soutien,*

*A mon binôme **Ilham**, pour le temps incroyable et le travail bien fait,*

Merci d'être toujours là pour moi

Amna

Table des matières

Introduction 1

Recherche bibliographique

I-Généralités sur les plantes halophiles 3

1. Définition et répartition 3
2. Types des halophytes..... 3
3. Caractères morphologiques, anatomiques et physiologiques des halophytes..... 3
4. Mécanismes de plantes halophiles à l'adaptation..... 5

II-Généralités sur les Amaranthaceae (Chenopodiaceae)..... 7

1. Distribution..... 7
2. Botanique..... 7

III-Généralités sur le quinoa 8

1. Origine et historique 8
2. Répartition du quinoa 8
3. Classification botanique 9
4. Description botanique..... 10
5. Stades phénologiques du quinoa 12
6. Variétés du quinoa..... 13
7. Conduite de la culture du quinoa..... 14
 - 7.1. Agro écologie du quinoa 14
 - 7.2. Exigences édaphiques..... 14
 - 7.3. Exigences climatiques 14
 - 7.4. Exigences agronomiques 14
 - 7.5. Exigences phytosanitaires 15
8. Mécanisme de quinoa à l'adaptation aux conditions écologiques..... 16
9. Valeur nutritive du quinoa..... 17
10. Intérêts et utilisations du quinoa..... 18

Partie expérimentale

Chapitre I : Présentation de la région d'étude 18

1. Situation et limites géographique 18

Table des matières

2.	Facteurs climatiques	18
2.1.	Températures	19
2.1.	Humidité	19
2.2.	Vents.....	19
2.3.	Précipitation.....	19
2.4.	Évaporation.....	19
2.5.	Insolation	19
2.6.	Classification climatique	19
2.6.1.	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	19
2.6.2.	Climagramme d'Emberger.....	20
2.7.	Hydrologie.....	21
2.8.	Pédologie.....	21
2.9.	Géologie	21
2.10.	Topographie.....	21
Chapitre II : Matériel et méthodes		22
1.	Présentation de site d'étude	22
1.1.	Données climatiques de la campagne de l'essai (2019/2020).....	22
2.	Matériel d'étude	23
2.1.	Matériel pédologique.....	23
2.2.	Eau d'irrigation	23
2.3.	Matériel végétal.....	23
3.	Méthode d'étude	24
3.1.	Protocole expérimentale	25
3.1.1.	Objectif	25
3.1.2.	Dispositif expérimental	26
3.2.	La conduite culturale	27
3.2.1.	Préparation de sol	27
3.2.2.	Fertilisation.....	27
3.2.3.	Semis	27
3.2.4.	Irrigation	28
3.2.5.	Désherbage	28
4.	Paramètres étudiés	28
4.1.	Paramètres morphologiques	28
4.1.1.	Paramètres liées à croissance végétale	28

Table des matières

4.1.1.1.	La précocité de chaque variétés dans chaque stades phénologiques.....	28
4.1.1.2.	Hauteur des plants au stade maturation	28
4.1.1.3.	Diamètre de tige	29
4.1.1.4.	Forme de feuilles	29
4.1.1.5.	Surface foliaire	29
4.1.1.6.	Couleur de panicule.....	29
4.1.1.7.	La forme de panicule.....	30
4.1.1.8.	Nombre de panicule secondaire.....	30
4.1.2.	Paramètres liés au rendement	30
4.1.2.1.	Poids de plante au stade muration.....	30
4.1.2.2.	Poids de la panicule principale	30
4.1.2.3.	Le poids de mille graines.....	30
4.2.	Paramètres physiologiques	31
4.2.1.	Détermination de la teneur en eau (T.E).....	31
4.2.2.	Dosage des chlorophylles et caroténoïdes	32
5.	Méthodes d'analyse les données (Analyse statistique).....	32

Résultats et Discussion

I-	Résultats	33
1.	Analyse des données météorologiques de la campagne 2019-2020.....	33
2.	Analyse du sol	33
3.	Paramètres liée à la croissance végétative.....	33
3.1.	Taux de germination.....	33
3.2.	Taux moyenne de plantes levées par parcelle élémentaire	34
3.3.	Notations des stades phénologiques	35
3.4.	Précocité des variétés en fonction des stades phénologiques	37
3.5.	Hauteur des plantes aux stades maturation.....	37
3.7.	Caractéristiques morphologique des organes végétatifs (feuilles et panicule)....	39
3.8.	La surface foliaire.....	41
4.	Paramètres liées au rendement	42
4.1.	Poids de plante au stade maturation	42
4.2.	Poids de panicule au stade maturation.....	43
4.3.	Poids de 1000 grains.....	44
5.	Paramètres physiologiques	46
5.1.	Teneur en eau	46

Table des matières

5.2.	Dosage de chlorophylles.....	46
6.	Effet des facteurs biotiques sur le développement de la culture.....	48
6.1.	Mauvaises herbes.....	48
6.2.	Insectes et ravageurs.....	49
7.	Problèmes rencontrés lors de l'expérimentation	50
7.1.	Problèmes liées à la plante	50
7.2.	Problèmes liées à l'irrigation.....	50
II-	Discussion	51

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Liste de tableaux

Tableau 1 : la classification botanique du quinoa.....	10
Tableau 2 : Stades phénologiques de quinoa et leurs caractères.	12
Tableau 3 : les principaux groupes du quinoa	13
Tableau 4 : Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse et le froid.....	16
Tableau 5 : Données climatiques de la région de Ouargla (2010-2019)	18
Tableau 6 : Les données météorologiques de la campagne 2019/2020 (ONM, 2019)	22
Tableau 7 : Les caractérisations du sol et les méthodes utilisés	23
Tableau 8 : Caractéristiques des variétés du quinoa utilisées.	24
Tableau 9 : les caractéristiques physico chimiques du sol de site expérimentale.....	33
Tableau 10 : Variation du taux de levée et taux de germination en fonction de la variété	34
Tableau 11 : Nombres de jours des stades phénologiques à partir du semis selon les variétés.....	35
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre hauteur des plantes (cm) au stade maturation.	37
Tableau 13 : Analyse de la variance du paramètre diamètre tige principale (mm)	38
Tableau 14 : Les principaux caractères des feuilles des différentes variétés de quinoa	39
Tableau 15 : Les caractères de panicule de chaque variété	40
Tableau 16 : Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre nombre de panicule secondaire au stade maturation.	40
Tableau 17 : Analyse de la variance le paramètre de Surface foliaire (cm ²)	41
Tableau 18 : Analyse de la variance le paramètre de poids de plante (g).....	42
Tableau 19 : Analyse de la variance du poids des panicules principales (g).....	43
Tableau 20 : Analyse de la variance du poids de mille grains (g).....	44
Tableau 21 : Analyse de la variance de paramètre de Teneur en eau.....	46
Tableau 22 : Analyse de la variance le paramètre de Caroténoïdes (mg/g PF)	47

Liste de figures

Figure 1: Principaux producteurs de quinoa dans le monde	8
Figure 2 : Répartition de la culture de quinoa en Algérie.	9
Figure 3 : Localisation de l'institut Technique de Développement d'agriculture Saharienne ITDAS de Ouargla	9
Figure 4 : Délimitation administrative de la wilaya d'Ouargla	18
Figure 5 : Situation de la région de Ouargla au niveau du climagramme d'Emberger	21
Figure 6: Localisation du site expérimental	22
Figure 7: Les échantillonnages du sol.....	23
Figure 8: Méthodologie de travail.....	25
Figure 9: Schéma globale du dispositif expérimentale	26
Figure 10: La distance entre les parcelles et les lignes en parcelle élémentaire	27
Figure 11: Semis des grains dans les parcelles élémentaires	28
Figure 12 : Variation du nombre de dents dans les feuilles de quinoa	29
Figure 13 : peser le panicule principale de quinoa.....	30
Figure 14 : Peser 1000 grains.....	31
Figure 15 : les échantillons des variétés du quinoa avant passage à l'étuve	32
Figure 16: Taux de germination des variétés en fonction de temps.....	34
Figure 17 : Variation de pourcentages des plantes levées en fonction des variétés....	35
Figure 18 : Cycle végétatif des variétés de quinoa (Benzid et Chibani,2020).....	36
Figure 19 : Variation de la hauteur des plants au stade maturation (cm) en fonction des variétés	38
Figure 20 : Variation du diamètre de tige (mm) en fonction des variétés	39
Figure 21 : variation de nombre de panicules secondaires en fonction de variétés	41
Figure 22 : Variation de la surface foliaire (cm ²) en fonction des variétés.....	42
Figure 23 : Variation le poids de plante au stade maturation en fonction de variétés	43
Figure 24 : Variation de poids de panicule principale au stade maturation en fonction de variétés	44
Figure 25 : Variation de poids de 1000 grains après la récolte en fonction de variétés	45
Figure 26 : Variation de poids de 1000 grains en fonction les variétés et source de grains	45
Figure 27 : Variation des teneurs en eau en fonction de variétés	46
Figure 28 : Variation des teneurs en chlorophylle a, b et totale en fonction des variétés.....	47
Figure 29 : Teneur de caroténoïdes.....	48
Figure 30 : Certaines espèces de mauvaises herbes observées dans le site expérimental	49
Figure 31 : Quelques insectes et ravageurs observées dans le site expérimental	49
Figure 32 : Les fuites d'eau de tuyaux dans la parcelle élémentaire	50

Liste des abréviations

A : Argile

AG : Argile grossier

AF : Argile fine

CE : Conductivité électrique

FAO: Food and Agriculture Organization

H: Humidité

INRAA : Institut National des Recherches Agronomiques d'Algérie.

INRF : Institut national des recherches forestières.

ITAS : Institut Technique de l'Agronomie Saharienne.

ITDAS : Institut Technique de développement de l'Agronomie Saharienne.

ITGC : Institut technique des grandes cultures.

L: limoneux

LF: limoneux fine

LG: limoneux grossier

mg/g MF : milligramme par gramme matière frais

PMG : Poids de mille grains.

qx/ha : quintaux/hectare

S : sableux

SF: sableux fine

SG : sableux grossier

Introduction

Dans le monde la productivité et le développement agricole sont confrontés à plusieurs contraintes biotiques (les bactéries ; les champignons et les insectes) et abiotiques (désertification, sécheresse, froid, gel et salinité) qui sont causés par les variations climatiques et les activités humaines.

La désertification est le problème major dans le monde et désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, lequel correspondent à 40 % des terres disponibles de notre planète (Poilecot, 2007). En l'an 2000, 70 % des terres arides étaient soumises à ce processus de désertification, soit 3,6 milliards d'hectares. En Algérie, la désertification représentant près de 84% du territoire national, donc c'est un facteur limitant de production agricole (Dakiche, 2001).

Les zones arides et semi-arides sont 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. Le phénomène de la salinisation devient de plus en plus inquiétante car la salinité réduit la superficie des terres cultivables et menace la sécurité alimentaire dans ces régions (Djerroudi, 2017).

Devant l'accroissement rapide de la population mondiale, laquelle dépassera les 9 milliards en 2050 et afin d'assurer sa sécurité alimentaire, il est impératif d'orienter la recherche vers le choix des plantes qui s'adaptent aux conditions agressives du milieu.

Parmi ces plantes, il existe les halophytes qui représentent une ressource sous-utilisée pour la production alimentaire mondiale, représentant potentiellement des contributeurs importants aux futurs systèmes agricoles dans un monde de plus en plus salinisé (Panta et al. 2014).

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) représente l'une des halophytes à fort potentiel en tant que source de nourriture humaine et animal. Pour ces raisons, l'année 2013 a été déclarée «Année internationale du quinoa» par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) pour attirer l'attention sur cette culture dans le monde entier (Small, 2013; Bazile et al.2015).

Le quinoa est considéré comme une culture ayant le potentiel de contribuer à la sécurité alimentaire dans un scénario climatique changeant, tout en allégeant la pression environnementale sur les terres agricoles (Ruiz et al.2014). C'est également l'une des espèces qui produit des graines et des feuilles comestibles ; il est originaire

d'Amérique de sud, il est cultivé et consommée depuis des siècles par les populations indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili (Gandarillas., 1979).

Il contient beaucoup plus de protéines, de calcium, de magnésium, de potassium, de fer et de zinc ainsi que les vitamines A et E que le blé, le maïs, l'orge, le riz et l'avoine. En outre, le quinoa n'as pas de gluten et pouvant donc être consommé par les personnes allergiques à cette protéine. En effet, le quinoa offre une alternative alimentaire précieuse pour les sujets souffrant de la maladie cœliaque, et est la seule plante comestible connue à fournir les principaux acides aminés (Diaz, 2015).

Le quinoa cultivars a été introduit en Algérie, dans le but d'étudier son comportement et ses potentiels de production dans différentes zones agro-écologiques comme première étape. Les résultats montrent que cette plante a la capacité de résister vis-à-vis les conditions climatiques extrêmes (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) (FAO, 2018).

Les variations des rendements d'une plante à une autre, semblent être liées aux différents facteurs, propriétés génétiques des plantes ainsi qu'à l'origine géographique, aux conditions et à la durée de stockage et de la récolte (Miliauskas et al., 2004).

L'introduction du quinoa en Algérie est très récente (2014) et depuis cette année jusqu'à jour d'hui le quinoa se cultive dans différentes régions de l'Algérie à travers quelques instituts : ITDAS, INRAA, INRF, ITGC, et également chez certains agriculteurs.

Le quinoa a été introduit dans l'université de Kasdi Merbeh de Ouargla, sous forme des études pour tester le comportement de variétés du quinoa aux conditions arides, on cite certains des travaux précédents par exemple : Touati, 2018, qui traiter l'étude de potentiel de croissance et de production de plusieurs variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sous les conditions arides de sud de l'Algérie (Cas de Ouargla).

Kateb Kabdi et Maamoun, 2018 qui traiter l'effet de stresse salin sur la germination et la croissance de deux variété de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *in vitro*.

Hidoub, 2018, qui traiter l'effet de la salinité sur le comportement morpho-physiologique de deux variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) sous conditions contrôlées.

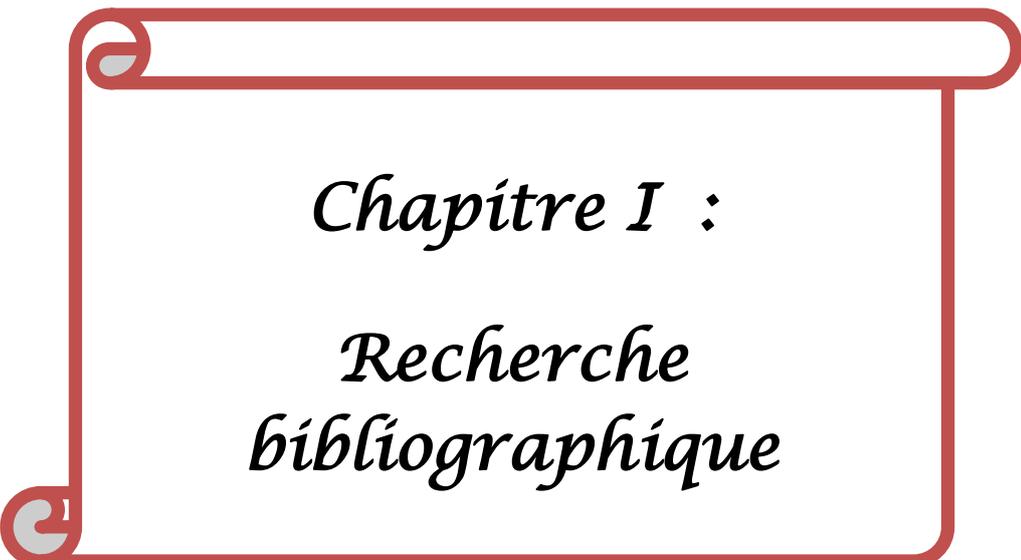
Djili et Ammari,2019 qui travailler sur l'aptitude de développement de quelque variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sous les conditions arides (cas de Ouargla).

Kamassi Asma, 2019, qui travailler sur les Caractérisation physico-chimique et biochimique des graines de (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la région d'Ouargla.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif général visé de notre essai qui a axé sur le suivi du comportement de trois variétés/populations de quinoa afin de tester leur adaptation sous les conditions édapho-climatiques de la région de Ouargla, et cela à travers des paramètres agronomiques et physiologiques.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

- La **première chapitre** une synthèse bibliographie qui comporte des généralités sur les plantes halophiles, sur Amaranthaceae et sur la plante du quinoa.
- **Deuxième chapitre** sur le matériel et les méthodes utilisés dans notre essai.
- Enfin, le **troisième chapitre** portera sur la présentation des résultats obtenu accompagnés d'une discussion et d'une conclusion.

A decorative red border that resembles a scroll, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the text.

Chapitre I :
Recherche
bibliographique

I- Généralités sur les plantes halophiles

1. Définition et répartition

Les halophytes sont des plantes sauvages, certaines d'entre elles sont des plantes à graines, capables de continuer leur cycle de vie dans des habitats salins où la concentration en sel est d'environ 5 g/l du total de matières solides dissoutes. On les retrouve principalement dans les zones côtières, les marais salés, les régions arides et semi arides et les steppes.

Selon Mokded (2008), les halophytes représentent environ 11% de la flore du monde, on dénombre plus de 10000 espèces dont 250 sont des cultures de base potentielle. La flore méditerranéenne regroupe environ 700 espèces, dont 360 espèces répertoriées en Algérie, ce qui représente localement un énorme potentiel.

2. Types des halophytes

Selon Paul (1978), certaines halophytes, bien que pouvant résister à d'importantes accumulations de sel dans le milieu extérieur se comportent normalement sur des sols non salés, ce sont donc des halophytes facultatives auxquelles il est difficile d'attribuer la qualité d'halophile (certaines espèces d'*Atriplex* par exemple).

Par contre d'autres plantes halophiles ne peuvent se développer complètement qu'en présence de forte concentration saline ce sont des halophytes obligatoires qui peuvent être considérées comme étant « halophiles » c'est à dire qui signifie étymologiquement plantes aimant le sel (ex : salicorne)

Les relations des plantes halophytes avec le milieu permettent de définir des halophytes submergées terrestres ou des aéro-halophytes :

- ✓ Les halophytes submergées sont entièrement plongées dans l'eau salée se sont les algues et les plantes maritimes.
- ✓ Les halophytes terrestres dont seuls les organes souterrains sont en contact avec des teneurs en sel.
- ✓ Les aéro-halophytes reçoivent sur leurs parties aériennes des embruns ou des poussières salées c'est le cas des végétations des falaises, des dunes littoral, et des déserts. Les aspects éco-physiologiques permettent la différenciation entre les halophytes obligatoires et facultatifs (Flowers et *al.*, 1986).

3. Caractères morphologiques, anatomiques et physiologiques des halophytes

Les halophytes s'opposent aux glycophytes, plantes des milieux non salés, par leur morphologie proche de celle des xérophytes (succulences des tiges ou des feuilles, réduction des appareils foliaires) et par des caractères physiologiques : pression osmotique, résistances à la nature et à la concentration des sels. Les plantes halophiles ont donc développé des stratégies adaptatives qui sont d'ordre

morphologiques, anatomiques et physiologiques (Brethomieu et *al.*, 2003; Verslus et *al.*, 2006).

3.1. Caractéristiques morphologiques

La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées dans le sens de l'économie d'eau ; les caractères liés à cette adaptation sont une cuticule épaisse, des stomates rares (Heller et *al.*, 1998) et des cellules à grandes vacuoles permettant de stocker le NaCl (GarzaAguirre et *al.*, 2015). Ces adaptations jouent un rôle crucial dans la conservation de l'eau pour la croissance des plantes vivant dans des milieux salins.

3.1.1. Feuilles

Une augmentation de la succulence des feuilles est très répandue chez les halophiles, comme les feuilles de *Suaeda* qui deviennent épaisses ou cylindriques, permettant de mitiger les effets toxiques et osmotiques des ions par dilution (Dajic, 2006). De nombreuses halophytes présentent un rapide turnover de leurs feuilles, les plus jeunes feuilles remplacent les plus anciennes, dans lesquelles est stocké l'excédent de sels (Breckle, 2002). C'est le cas de *Limonium vulgare*, dont les feuilles en rosette sont remplacées 2 à 3 fois pendant la croissance.

3.1.2. Racines

Chez les halophytes, les racines sont peu profondes, de nombreuses racines sur échasses ou en appui se développent à partir des branches aériennes de la tige pour un ancrage efficace dans un sol sableux boueux ou meuble. Ces racines poussent vers le bas et pénètrent dans les couches profondes et dures du sol.

3.1.3. Tiges

Les tiges de plusieurs halophytes développent une succulence, comme par exemples : *Salicornia herbacea* et *Suaeda maritima*. Selon Arnold (1955), la succulence dépend du rapport des ions absorbés aux ions libres dans les cellules végétales plutôt que des quantités absolues de chlorure de sodium ou de sulfate présentes. La succulence n'est induite qu'après l'accumulation d'ions libres dans un organe au-dessus d'un niveau critique.

3.2. Caractéristiques anatomiques

L'anatomie des halophytes révèle un certain nombre de caractéristiques xérophytes. Ce sont les suivants :

1. Présence d'une cuticule épaisse sur les parties aériennes du corps végétal. L'épiderme des xéro saccagants et des halophytes côtiers est caractérisé par une couverture de couches cireuses en plus d'une cuticule épaisse (Uphof, 1941).

2. Les feuilles peuvent être dorsiventrals ou iso bilatérales. Ils développent des stomates protégés qui ne sont pas profondément enfoncés. Les cellules épidermiques sont à parois minces.
3. Les tiges des plantes succulentes possèdent une paroi mince contenant des cellules de parenchyme. Le cortex est charnu, plusieurs cellules épaisses et dans les vieilles tiges, il peut devenir lacunaire.
4. Les racines présentent des modifications du cortex qui présentent un cortex constitué de deux à trois couches seulement.

3.3. Caractéristiques physiologiques

La tolérance à la contrainte saline est associée à des caractéristiques physiologiques essentielles. En effet, elle est basée sur une utilisation efficace des ions Na^+ et Cl^- dans l'ajustement osmotique et le maintien de la turgescence, une bonne compartimentation vacuolaire de Na^+ et Cl^- au niveau des feuilles, une sélectivité d'absorption et de transport en faveur de K^+ malgré l'excès de Na^+ dans le milieu de culture.

4. Mécanismes de plantes halophiles à l'adaptation

Une plante soumise au stress salin doit faire face à la pénétration de sel dans ses tissus. Ce dernier est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires (Levigneron et *al.*, 1995).

4.1. Stratégies d'adaptation au sodium

Généralement, les plantes halophiles absorbent de grandes quantités de sodium pour maintenir leur pression osmotique interne. Le stress salin provoque un déséquilibre ionique, l'excès des ions de chlorure de sodium à un effet néfaste sur de nombreux systèmes cellulaires. Par conséquent, la survie et la croissance des plantes exigent un ensemble d'outils pour l'adaptation pour rétablir l'homéostasie (Edward et *al.*, 1999).

Les halophytes ont ainsi développé plusieurs mécanismes qui leur permettent de prospérer en milieu salé. Il s'agit de l'exclusion et l'inclusion, deux principaux mécanismes qui expliquent la capacité de ces espèces à résister aux conditions de salinité élevée (Chedly et *al.*, 2008).

4.1.1. L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'adsorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na^+ (Genoux et *al.*, 1991).

4.1.2. L'inclusion

La plante halophile capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de «pompes moléculaires» et ainsi le sel est isolé des constituants cellulaires vitaux (Levitt. 1980; Genoux et *al.*, 1991; Berthomieu et *al.*, 2003).

4.2. Ajustement ionique

L'ajustement ionique est un autre moyen développé par les plantes afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ion par conséquent d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Sairam et Tyagi, 2004). Selon (Munns et Tester, 2008), cet ajustement peut être assuré par une accumulation de potassium, outre celle des composés osmotiques compatibles. Par ailleurs, le potassium joue également un rôle dans le contrôle de la turgescence cellulaire (Sairam et Tyagi, 2004)

II- Généralités sur les *Amaranthaceae* (*Chenopodiaceae*)

1. Distribution

Les *Amaranthaceae* sont largement répandues dans les habitats salins tempérés et sub-tropicaux, en particulier dans les régions littorales de la mer méditerranée, de la mer caspienne et de la mer rouge, dans les steppes arides de l'Asie centrale et orientale, aux marges du désert du Sahara, dans les prairies alcalines des Etats-Unis, dans le Karoo en Afrique méridionale, en Australie et dans les pampas argentines. Elles poussent également comme des herbacées sur les sols riches en sel, surtout en présence d'écoulements d'eau et de terrains accidentés (Mulas, 2004).

2. Botanique

Du point de vue morphologique, les *Chenopodiaceae* sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, et par des feuilles alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration. Certains genres ont des tiges pulpeuses, à courts segments internodaux, entièrement dépourvues de feuilles, ce qui donne aux plantes un aspect singulier semblable à celui d'un cactus.

Les fleurs sont peu visibles et regroupées en inflorescences en épi ou à cyme, petites, hermaphrodites ou unisexuelles et sont pollinisées par le vent. Les pétales et les sépales, très semblables, sont généralement constitués par cinq, trois ou deux lobes de couleur marron ou verdâtre. Généralement, les anthères, en nombre égal ou à peine inférieur à celui des segments du périanthe, sont disposées au sommet de l'ovaire ou sur un disque (Rosas, 1989). La formule florale classique est : $5S + 5E + 3C$. Le gynécée est toujours gamocarpellé, uniloculaire et uniovulé (avec l'ovule courbe et parfois semi infère en s'enfonçant). L'ovaire est constitué par une seule loge, trois carpelles et deux étamines ; il produit un seul ovule lequel, en mûrissant, produit un akène à calice marcescent et contenant des graines petites, très desséchées, qui sont remarquables du fait de leur longévité ; ces graines sont dites macrobiotiques « macrobiontiques » (leur longévité est supérieur à 15 ans car ils sont très pauvres en eau).

Cette famille comprend environ cent genres et 1400 espèces, le genre représentatif de la famille étant le genre *Chenopodium*. Ce sont essentiellement des plantes herbacées, parfois succulentes (Clair.,2013).

III-Généralités sur le quinoa

1. Origine et historique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante herbacée pseudo-céréale annuelle de la famille des Chénopodiacées originaire de l'andine de l'Amérique, où elle est cultivée sur des sols pauvres à des altitudes atteignant 3600 m (Jacobsen et al.,2005) Elle présente des caractéristiques singulières dans sa morphologie, sa coloration et son comportement dans différentes zones agro écologiques (Mujica et al., 2001).

Les Incas ont appelé le quinoa "le grain mère" bien qu'il ne soit pas un grain du tout mais techniquement une graine. Le quinoa est parmi les espèces cultivées depuis plus de 7 000 dans la région andine (Pearsall, 1992), parmi les principales cultures céréalières fournissant des aliments hautement nutritifs pour les agriculteurs, ce qui peut donner au quinoa un rôle clé dans l'avenir (FAO.,1998).

La culture du quinoa occupait une place importante dans l'empire inca, après celle du maïs (Cusack., 1984). Cependant, après la conquête de la région par les Espagnols en 1532 après JC, des cultures telles que la pomme de terre, les haricots, l'avoine et le quinoa, échangées par l'orge sont reléguées au second plan (Galwey 1995; Bhargava et al.,2006).En effet, au cours de la période coloniale, la culture du quinoa était très peu encouragée, probablement en raison de sa position très estimée dans la société et dans la religion Inca (Risi et al.,1989 ; Ruas et al., 1999).

2. Répartition du quinoa

Le quinoa est une plante endémique de tous les pays de la région andine, de la Colombie (Pasto) au nord de l'Argentine (Jujuy et Salta) et au sud du Chili (FAO.,2013)

1.1.Dans le monde

La Bolivie et le Pérou sont les principaux producteurs (fig.1), le rendement de la production mondiale du quinoa a dépassé 192 millions de tonnes localisées en Amérique en 2014 (FAOSTAT., 2016), le Pérou 114.3 million de tonnes, la Bolivie 77.3 millions de tonnes et l'Equateur 810000 tonnes (FAOSTAT., 2016). Le premier exportateur de la Bolivie est lié à la qualité du grain produit pour répondre à la demande internationale (Laguna, 2002).



Figure 1: Principaux producteurs de quinoa dans le monde (google.com, 2014)

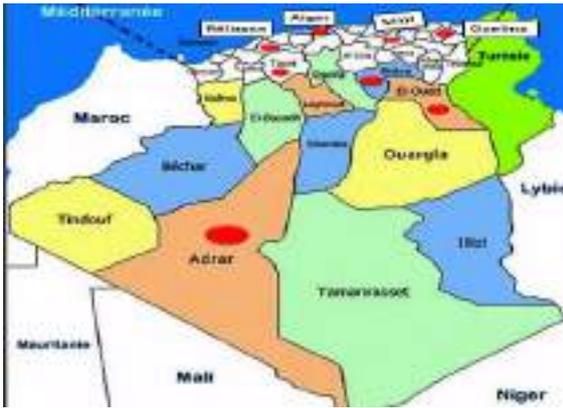


Figure 2 : Répartition de la culture de quinoa en Algérie. (carte-algérie.com, 2010)

2.2. En Algérie

L'Algérie est l'un des pays qui a introduit la culture du quinoa en 2013. Elle a été cultivée à titre expérimental dans 08 sites appartenant à 04 institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologiques. ITDAS (Biskra et El-oued), INRAA (Adrar et Ghilizane), ITGC (Sétif, Tiaret et Guelma) et INRF (Alger). Pour cela 14 variétés ont été testé. (FAO, 2016)

2.3.A Ouargla

Le quinoa a été introduit en 2015 dans la région de Ouargla par l'Institut Technique de Développement d'Agriculture Saharienne à Hassi Ben Abdallah sous forme des essais (ITDAS, 2018).

La plante est adaptée aux caractéristiques de la région, parce qu'elle supporte la salinité, la pauvreté du sol et la sécheresse, et ne nécessite pas de grandes quantités d'eau (ITADS, 2019).



Figure 3 : Localisation de l'Institut Technique de Développement d'Agriculture Saharienne ITDAS de Ouargla (Google maps, 2020)

3. Classification botanique

Le quinoa qui est définie comme une « pseudo-céréale » appartient à la famille des Chénopodiacées, qui comprend également l'épinard ou la betterave et au genre *Chenopodium* qui contient environ 250 espèces. On connaît environ 1800 variétés de quinoa (Foucault., 2014).

Nous présentons dans le tableau 1 la classification proposée par Cronquist (1981) et la nouvelle classification APG III (2009)

Tableau 1 : la classification botanique du quinoa

Règne :	Plantae
Sous-embranchement :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Caryophyllidae
Ordre :	Caryophyllales
Famille :	Chenopodiaceae
Genre :	Chenopodium
Classification APG III (2009)	
Famille :	Amaranthaceae
Nom binominal :	<u>Chenopodium quinoa Willd., 1798</u>

4. Description botanique

Le quinoa est une plante annuelle de printemps, de la famille des Chenopodiacées, qui atteint une hauteur comprise entre 0,5 et 3 m. La ramification de plante est selon le génotype et l'écotype.

Le quinoa est une dicotylédone herbacée, autogame, annuelle. Dans des conditions optimales de température et d'humidité, les grains germent en une dizaine d'heures (Bois *et al.*, 2006), et les cotylédons apparaissent généralement vers le 7^{ème} jour après l'émergence (Del Castillo *et al.*, 2008).

Les couleurs communes du quinoa sont le vert, le violet et le rouge. Les plants verts peuvent devenir blancs, jaunes, orange ou rouges à maturité, les violets peuvent devenir jaunes ou rester violets, et les rouges restent rouges tout au long du cycle (Jacobsen et Stolen, 1993).

Les caractères morphologiques de quinoa classés selon les génotypes et les zones agro-écologiques (Gandarillas, 1979) indiquent que la morphologie de la plante est importante pour l'identification des variétés de quinoa, il peut regrouper les caractères suivants :

4.1 Caractères végétatifs

Racines	Feuilles
Une racine pivot vigoureuse, profond, assez ramifié permet à résistance à la sécheresse, La profondeur des racines liée par la hauteur de la plante (Pacheco et Morlon, 1978). (annexe 1)	Les feuilles sont alternes sur la tige, avec un pétiole long, fin et cannelé. Les feuilles inférieures : triangulaires ou rhomboïdales, grande taille (15 cm). Les feuilles supérieures : lancéolées, plus petites (10 - 2 mm) (Mujica <i>et al.</i> , 2001). La couleur de feuilles est variée selon les variétés.

Tige	Ramifications
<p>La tige est cylindrique, et au niveau des ramifications est angulaire. Elle peut être ramifiée ou non selon l'écotype. Le diamètre entre 1 et 8 cm ; la hauteur varie entre 50 cm et 2 m (Mujica et <i>al.</i>, 2001).</p>	<p>Il existe différents génotypes selon la zone agro-écologie, qui peut très ramifié (quinoa des vallées), intermédiaires ou tige unique (quinoa des hautes plaines)(Mujica et <i>al.</i>, 2001)</p>
Panicule	
<p>La panicule peut être définie (s'il différenciée du reste de la plante) ou ramifié (n'est pas différenciée) ; ou peut être lâche ou compacte ; la forme de panicule est déterminée génétiquement par une paire de gènes (Gandarillas, 1968), qui peut être amaranthiforme (il créé le nom en raison de l'inflorescences du genre <i>Amaranthus</i>), glomérulaire et intermédiaire (Cardenas,1944).</p>	

4.2 Caractères floraux

Fleurs	L'inflorescence
<p>Les fleurs sont très petites, denses, positionnées dans groupe formant des glomérules sessiles ; pistillé ou androstérile. Avec 05 étamines qui soutient les anthères basifixe et entourent l'ovaire (Lescano, 1994). En général il est indiqué que les fleurs de quinoa possèdent jusqu'à 10% de pollinisation qui est croisée (Rea, 1969)(annexe 2).</p>	<p>La panicule de quinoa est typique, composée d'un axe central et de branches secondaires, tertiaires, regroupé selon le forme de panicule. La longueur de la panicule est variable, environ de 30 à 80 cm de long et 5 à 30 cm de diamètre. Le nombre de glomérules par panicule varie de 80 à 120 et le nombre de graines par panicule de 100 à 3 000, certaines grandes panicules produisant jusqu'à 500 grammes de graines par inflorescence (Vidal Apaza et <i>al.</i>, 2015).</p>

4.3 Caractères fruits et grains

Fruits	Graines
<p>Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, (Risi et <i>al.</i>,1984 ; Herbillon, 2015). À savoir de l'extérieur vers l'intérieur : périgone, péricarpe et épisperme. Chaque fruit contient une</p>	<p>La graine est entourée d'un épisperme à coloration diverses. Il existe trois formes de graines : conique, cylindrique et ellipsoïdale. L'embryon est constitué de deux cotylédons et d'une radicule,</p>

seule graine dont la taille, la couleur et la forme sont variable (Gandarillas., 1979).	localisé en périphérie de la graine et enveloppe le périsperme comme un anneau (vidal et <i>al.</i> , 2013). Les graines sont lisses ou avec un cuir chevelu fin avec des couleurs allant du blanc, jaune, rouge, violet, marron au noir (Lim., 2013). (annexe 3)
---	---

5. Stades phénologiques du quinoa

La phénologie est un changement externe visible du processus de développement de la plante, qui est le résultat des conditions environnementales, dont le suivi est une tâche très importante pour les agronomes et les agriculteurs. Le quinoa présente des phases phénologiques bien marquées et différenciées qui permettent d'identifier les changements qui se produisent au cours du développement de la plante. Le quinoa passe au douze (12) stades phénologiques (Mujica et Canahua, 1989).

Tableau 2: Stades phénologiques de quinoa et leurs caractères (Mujica et *al.*, 2001).

Stades	Nombre de jours nécessaire	Caractéristiques
Levée	07-10 Jours du semis	✓ Sortie de la plantule et déploiement des feuilles cotylédonaire.
Deux feuilles	15- 20 J	✓ Croissance rapide des racines que sous forme rhomboïdale.
Quatre feuilles	25-30J	✓ La plantule a une bonne résistance au froid et à la sécheresse.
Six feuilles	35-45 J	✓ L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies, alors que les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir. ✓ L'apex végétatif est protégé par les feuilles les plus âgées.
Ramification	45-50J	✓ Les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud. ✓ L'inflorescence n'est pas encore visible.
Début de formation de la panicule	55- 60 J	✓ L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au bout. ✓ La tige s'allonge et son diamètre augmente.

Panicule	65-70 J	✓	L'inflorescence est visible au-dessus des feuilles.
Début de floraison	75-80 J	✓	La plante est plus sensible au froid et à la sécheresse.
Floraison	90-100J	✓	L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence. ✓ La plante est la plus sensible aux gelées. ✓ Les feuilles inférieures, flétries, tombent.
Grain laiteux	100-130 J	✓	Le déficit hydrique peut entraîner une forte diminution du rendement.
Grain pâteux	130-160 J	✓	L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse.
Maturité physiologique	160-180 J	✓	Le grain, plus résistant à la pression, avec une teneur en humidité qui varie de 14 à 16%. ✓ La plupart des feuilles ont jaunies et sont tombées.

6. Variétés du quinoa

Selon leur goûts, on distingue principalement deux grandes familles de quinoa: le quinoa "Amargua" (=amer) cultivée dans les Andes depuis plus de 5000 ans(présentant un certain taux de toxicité « saponine »)et "Dulce" (=doux), qu'est issue de sélections variétales plus récentes, contient peu ou pas de saponine (inférieure à 0,11%). Il existe plusieurs variétés comme : Cherry Vanilla, Kaslala, Redhead...etc. (annexe 6).

Selon les caractères morphologiques et particulières physiologiques qu'elles peuvent être développé pour adapter à l'environnement, on distingue plus de 1000 variétés de quinoa qui peuvent être distribuées en cinq groupes :

Tableau 3 : les principaux groupes du quinoa (Tapia, 2000)

Groupe	Climat et altitude	Précipitation	Température min. moyenne
Première	Climat pluvieux et basse altitude et proche de la mer	1000 à 1500 mm	5°C
Deuxième	Climat subtropicaux et 1500 et 2000 m d'altitude	1000 à 2000 mm	7°C
Troisième	2000 et 3500 m d'altitude	500 à 1500 mm	3°C
Quatrième	3800 et 4100 m d'altitude	400 et 800 mm	0°C
Cinquième	Climat aride et 3000 m d'altitude	inférieure à 300 mm	-1°C

7. Conduite de la culture du quinoa

7.1. Agro écologie du quinoa

Le quinoa est une culture de climat frais avec une croissance optimale à -3 ° C la nuit et 30 ° C pendant le jour, et avec des précipitations annuelles de 1500 mm à plus de 2500 mm. Cette agriculture traditionnelle est la région comprise entre 8 ° N et 30 ° S où il pousse à 3 800 m d'altitude du niveau de la mer (Bhargava et *al.*, 2006). La plante a montré une grande résistance au gel, à la salinité et à la sécheresse, et à la capacité de se développer sur sols peu fertiles et marginal (Galwey, 1992; Bhargava et *al.*, 2006).

7.2. Exigences édaphiques

Le quinoa aime bien les sols limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du sud, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, de faibles fertilités, très acides (pH 4.8) ou alcalines (pH8.5) (MADRPM, 2005).

7.3. Exigences climatiques

Le quinoa est cultivé sur des sols marginaux peu fertiles, pour son bon développement, il a besoin d'une photopériode courte et d'une température basse, tolère le déficit hydrique, le gel (-1 à 0°C) et s'adapte bien aux hautes altitudes de 2000 à 3000 mètres. Le quinoa est très sensible aux fortes températures durant le stade floraison ; celles supérieures à 35°C active la dormance et la stérilité du pollen (Benlhabib, 2005).

7.4. Exigences agronomiques

7.4.1. Préparation du sol

La préparation du sol doit être fine et pas profond, car les graines sont très petites (Lebonvallet, 2008). Grâce au système racinaire pivotant le quinoa ne supporte pas les sols compactés et hydro-morphes. Le nivellement peut être réalisé au moyen de barres de fer ou de grosses planches, et la réussite du nivellement est liée directement à la levée (Del Castillo et Carmen, 2008).

Le quinoa comme les céréales d'automne, il doit être semé en Octobre-Novembre, et dans le printemps en mois de Février. Elle pousse mieux sous des températures basses de 7 à 10 °C. La germination pour les jeunes plantules émerge 3 à 5 jours plus tard. Le quinoa ne germe souvent pas quand la température est élevée (Benlhabib, 2005).

7.4.2. Semis

Le quinoa est une plante annuelle. Elle est généralement plantée en semis direct à une profondeur de 1,5 à 2,5 cm, dans des rangs de 38 à 76 cm de largeur. Le taux de semis cible est de 325 000 graines/ha. La disponibilité des semences de certains cultivars courants est parfois limitée. Il faut choisir minutieusement le taux de semis pour tenir compte des grandes différences sur les plans de la taille des semences et du pourcentage de germination (Benlhabib, 2005).

7.4.3. Fertilisation

Le quinoa réagit positivement à un rapport modéré d'azote. Au Colorado, le rendement maximal est obtenu avec 1.7 à 2 quintaux d'azote par hectare. Un apport excessif d'azote retarde la maturation et diminue le rendement au profit de la croissance végétative (Benlhabib, 2005).

7.4.4. Eau

La culture de quinoa peut tolérer le stress hydrique et s'adapte mieux aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation est entre 250-400 mm sur des sols limono-sableux ou sablo-limoneux (Benlhabib, 2005).

7.4.5. Rotation des cultures

Lorsqu'on cultive dans une terre déjà semée avec d'autres cultures, de préférence de Maïs, céréales faire la rotation avec celles qui ne sont pas de la même famille, comme la semence (Benlhabib, 2005).

7.4.6. Récolte

La récolte doit avoir lieu de 90 à 120 jours après le semis, selon les variétés. À l'aide d'une moissonneuse-batteuse, il est impossible par la main à la grande échelle. En cas de petits champs et avec l'absence de machines, le battage peut être réalisé après séchage des panicules. Juste il faut une humidité élevée ou des pluies fréquentes peuvent causer la formation de repousses ou de moisissure sur les tiges porte-graines.

Le quinoa peut tolérer des gelées légères, et les plants s'assèchent rapidement, ce qui peut provoquer des pertes de graines. De plus, dans les essais en champ en Ontario, le rendement se situe de 134 à 240 kg/ha (Benlhabib, 2005).

7.5. Exigences phytosanitaires

7.5.1. Mauvaises herbes

Le quinoa, comme toutes les autres plantes, est sensible à la concurrence des mauvaises herbes, en particulier aux premiers stades, la majorité des espèces adventices sont des dicotylédones. Il est donc recommandé d'installer la culture tôt pour éviter la concurrence. Le semis tardif provoque directement la compétition entre espèces puisque la culture de quinoa est déjà bien établie à leur émergence.

7.5.2. Désherbage

Le désherbage est important pour toutes les espèces cultivées, le contrôle des mauvaises herbes se fait toujours de manière ordonnée (Benlhabib, 2005).

7.5.3. Insectes et ravageurs

Plusieurs insectes et ravageurs peuvent attaquer la culture de quinoa du stade germination jusqu'à la récolte et le stockage des graines comme les altises et les

chenilles. Les dégâts causés les oiseaux sont aussi à craindre, mais les variétés riches en saponine sont moins exposées (Mujica et al. 2001)(annexe 5).

7.5.4. Lutte antiparasitaire et maladies

La lutte contre les parasites et les maladies doit être effectuée rapidement, lorsque le niveau des dommages est acceptable dans le cas des insectes et préventivement pour les maladies.

Les maladies comme le puceron, le mildiou, Les taches foliaires, la pourriture grise et une bactériose (*Pseudomonas* sp.) causent de sérieux dégâts dans les pays d'origine d'Amérique du nord et en grande Bretagne (Mujica et al. 2001). La meilleure méthode de lutte contre les pucerons est d'irriguer quand la forme ailée apparaît sur les galles des pétioles des feuilles (Mujica et al. 2001).

8. Mécanisme de quinoa à l'adaptation aux conditions écologiques

8.1. Résistance à la sécheresse et le froid

Le quinoa est une plante résistante à la sécheresse car en plus de survivre dans des conditions de faible humidité, face au stress hydrique. Elle possède des mécanismes pour la récupération rapide et complète de l'activité physiologique normale (Winkel et al., 2002; Bosque et al., 2003)

Pour la résistance au froid ; si l'on compare la sensibilité au gel à différentes phases de croissance, le quinoa apparaît plus vulnérable pendant la floraison, qui est également l'étape la plus sensible au stress hydrique. La température moyenne adéquate pour la culture du quinoa se situe autour de 15-20 °C. La culture se développe parfaitement à des températures supérieures à 38°C, et pour les températures basses, les phases de préfloraison et floraison sont sensibles et ne peuvent résister que jusqu'à -3°C (Canahua et Rea, 1979 ; Bois et al., 2006).

Tableau 4: Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse (Mujica et al., 2001) et le froid (Canahua et Rea, 1979 ; Bois et al., 2006) .

Type des mécanismes	Caractéristiques au cas de sécheresse	Caractéristiques au cas de froid
Morphologiques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réduction de taille des plantes entières ou des feuilles. ✓ Réduction de la surface foliaire par perte de feuilles. ✓ Plasticité du développement et de la croissance. ✓ Repli des feuilles sur la panicule. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Chute de feuilles ✓ Réduction de la taille des feuilles ✓ Réduction de la taille de la plante
Physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plus grande résistance stomatique. ✓ Récupération rapide des capacités photosynthétiques après une période de sécheresse Faible taux de transpiration. ✓ Plus grande vitesse d'absorption d'eau. ✓ Plus grande tolérance au sel 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mouvements des feuilles et de la tige. ✓ Osmoregulation de la formation de glace dans l'apoplaste résistance au sous refroidissement

Anatomiques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plus grand développement racinaire (en densité et profondeur). ✓ Réduction du nombre et de la taille des stomates 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stomates moins nombreux et plus grands.
Phénologiques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Développement racinaire plus rapide dans les premières étapes de croissance. ✓ Raccourcissement de la phase de floraison. ✓ Développement Phénologiques plus rapide ✓ Résistance ontogénique (endurcissement par les stress antérieurs). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Phases phénologiques plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phénologiques

8.2. Résistance du quinoa aux sels

En conditions salines, le quinoa se comporte mieux donc comme un halophyte facultatif et pourrait être utilisé pour nettoyer des sols contaminés par le sel (Jacobsen et *al.*, 2000).

Cette plante est capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus afin d'ajuster le potentiel hydrique des feuilles. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter la transpiration dans des conditions salines, évitant ainsi les dommages physiologiques d'un épisode de sécheresse (Herbillon, 2015).

8.3. Résistance à la photopériode

La photopériode est un autre facteur important pour le développement floral. Selon Bertero et *al.* (1999), la relation photopériode et température fournissent une explication partielle du manque de génotypes andins de quinoa pouvant s'adapter aux conditions de jours longs et de températures plus élevées des pays de haute latitude.

8.4. Résistance au Vent

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).

9. Valeur nutritive du quinoa

Le quinoa possède un grand potentiel nutritif important (annexe 5), elle se caractérise par une teneur élevée en protéines : 14 à 21% (Bhargava et *al.*, 2006). La plante du quinoa contient des acides aminés essentiels et les fibres alimentaires nécessaires à la santé humaine en plus de sa richesse en amidon, phosphore, calcium, magnésium et fer alimentaire, en oméga-3 (Bhargava et *al.*, 2006).

Enfin, des études récentes indiquent que le quinoa est une excellente source de vitamines, d'antioxydants et d'acides gras (Dini et *al.*, 2004).

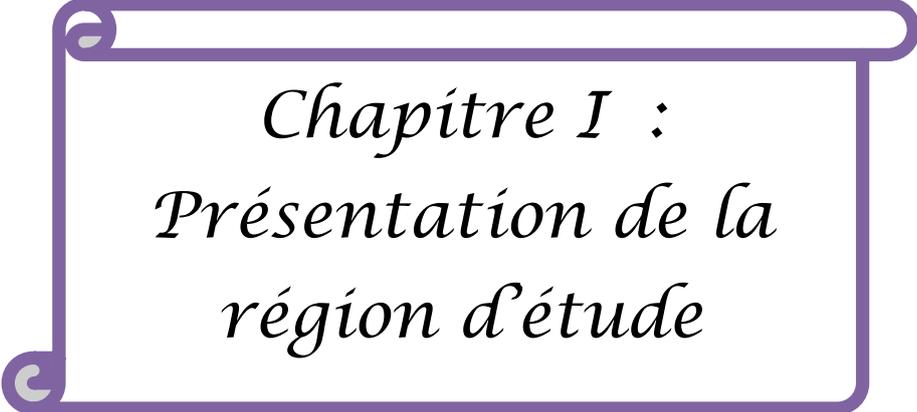
10. Intérêts et utilisations du quinoa

La culture de quinoa connaît depuis plusieurs années un grand succès commercial. Selon Jacobsen et *al.*, (2012), sa production peut contribuer à la sécurité alimentaire dans les pays surtout dans les régions méditerranéennes.

Les utilisations du quinoa résumé dans les points suivant :

1. **Aspect agronomique** : On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule.
2. **Alimentation animale** : La plante entière sert de fourrage vert.
3. **Aspect industrielles** : L'amidon de quinoa offre un potentiel intéressant dans différents secteurs de l'industrie, comme la production d'aérosols, de pâte à papier, de papier autocopiant (Montoya et *al.*, 2005). Aussi les saponines pouvant être utilisées comme pesticide biologique (U.S.E.P.A.,2002).
4. **Aspect phyto-protection** : Les plantes amères riches en saponine, à grains noirs et couleurs foncées ne sont pas attaquées par les insectes (Mujica et *al.*, 2001).
5. **Autre aspects** : comme l'alimentation humain, pharmaceutique, utilisations médicinales

{Partie expérimentale}



Chapitre I :
Présentation de la
région d'étude

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

1. Situation et limites géographiques

La wilaya d'Ouargla se situe au Sud-Est de l'Algérie, à environ 800 Km de la capitale Alger. Elle se trouve au fond d'une large cuvette de la vallée de l'Oued M'ya, sous les coordonnées de 31°57' Nord, 5°19' Est et sur une altitude de 157 m (Rouillois-Brigol, 1975). Elle s'étend sur une superficie de 163,233 km², et limitée au Nord-est par la wilaya d'El oued, au Nord-ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud-est par la wilaya d'Illizi et au Sud-ouest par la wilaya de Ghardaïa (figure4) (A.N.D.I., 2013).



Figure 4 : Délimitation administrative de la wilaya d'Ouargla (ANDI,2013)

2. Facteurs climatiques

Le climat de Ouargla est de type saharien se caractérise par des précipitations très faibles et une température élevée ; une humidité relativement faible et des vents forts et fréquents en printemps.

A partir des données climatiques (tableau 5) relevées au niveau de la station météorologique de Ouargla durant une période de 10 ans (2010-2019), on peut faire ressortir les caractéristiques climatiques suivantes :

Tableau 5 : Données climatiques de la région de Ouargla (2010-2019)

Année	Mois	T min en °C	T max en °C	T moy en °C	H moy en %	H max en %	H min en %	FX en m/s	P en mm	EVA en mm	INS en Heure
2010- 2019	Janvier	4,3	20,6	12,5	29	77	53,22	43	2,5	101,1	254,4
	Février	6,2	21,6	13,9	25	70	47,70	40	3,5	122,4	234,7
	Mars	10,0	26,5	18,3	21	63	41,92	45	5,7	185,7	264,7
	Avril	14,8	32	23,4	17	54	35,53	50	1,4	242,4	283,6
	Mai	19,7	36,1	27,9	14	47	30,74	49	2,4	320,2	314,5
	Juin	24,4	41,2	32,8	13	39	26,07	41	0,5	377,1	225,7

Juillet	27,7	44,5	36,1	11	34	22,29	46	0,4	455,4	314,5
Août	27,2	43	35,1	13	42	27,14	42	0,4	390,0	338,7
Septembre	23,1	39,2	31,2	17	53	34,95	40	4,4	272,8	268,4
Octobre	16,6	32,7	24,7	21	61	41,15	33	4,1	211,6	266,8
Novembre	9,9	25,1	17,5	27	73	50,02	36	2,8	128,5	244,9
Décembre	5,6	20,1	12,9	35	82	58,47	30	3,7	87,9	236,3
moyenne	15,8	31,9	23,8	20,3	57,9	39,1	41,2	31,8*	241,3	270,6

* cumul

2.1. Températures

Les températures à Ouargla peuvent dépasser le 40°C. La température moyenne annuelle est de 23,8 °C. Le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec un maximum de 44.5°C et le mois le plus froid est celui de Janvier avec minimum de 4,3 °C (ONM. Ouargla, 2019).

2.1.Humidité

L'humidité relative de l'air est changeable en fonction des saisons, il atteint son maximum au mois de Décembre (58.47%) et une valeur minimale au mois de juillet (22.29%). Le niveau d'humidité faible en été, ce qui permis d'augmenter le potentiel de l'évapotranspiration (O.N.M. Ouargla, 2019).

2.2.Vents

Durant toute l'année, les vents sont fréquents dans la région de Ouargla. Les vents soufflent du Nord-Sud ou Nord-est /Sud-ouest. La vitesse moyenne annuelle des vents est de 41.2 km/h en (2010- 2019) .La vitesse la plus faible est enregistrée au mois de Décembre 30 km/h et la plus élevée est enregistrée en Avril 50 km/h (ONM. Ouargla, 2019).

2.3.Précipitation

Les précipitations sahariennes sont rares (Dubief, 1953). Les pluies sont irrégulière dans le temps et dans l'espace elles tombent notamment en mois de Mars 5.7 mm.

2.4.Évaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante à cause de haut température, elle est en moyenne de 455.35 mm au mois de Juillet et le minimum pour le mois de Décembre 87.9 mm.

2.5.Insolation

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation. La durée d'insolation moyenne annuelle est de 270.6 heures/an avec un maximum des heures en Août et un minimum 225.7 heures/an en Juin.

2.6.Classification climatique

2.6.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gausson et Bagnouls (1953) est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année. Où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec $P=2T$. Le graphique 01 est présente les variations mensuelles des températures et des précipitations pendant une période de 10 ans. D'après ce diagramme, on ne constate que la région de Ouargla présente d'une seule période sèche qui s'étale sur toute l'année.

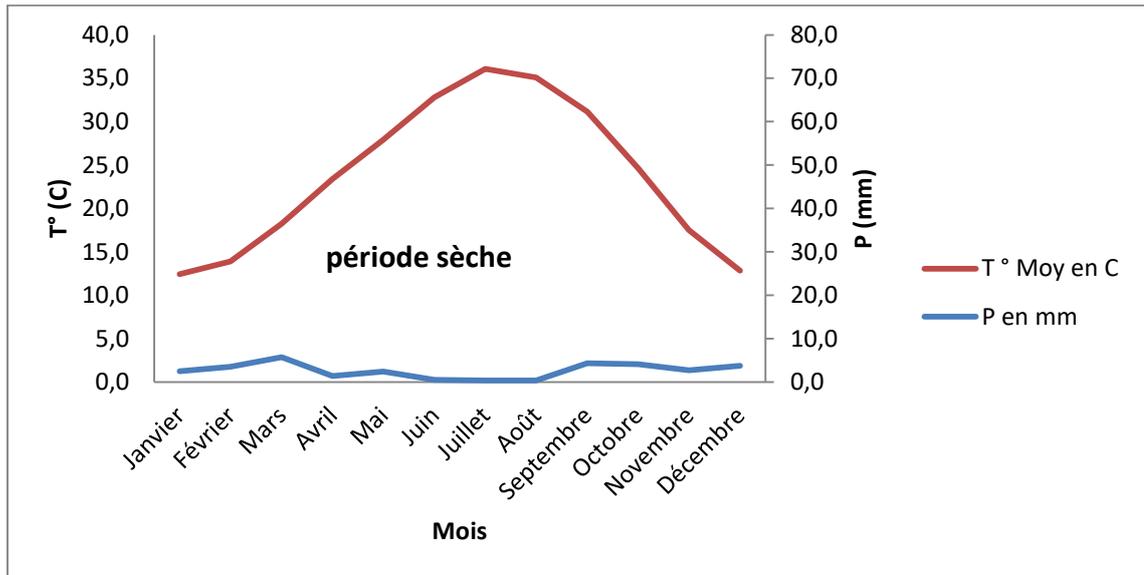


Figure 5: Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla 2010-2019.

2.6.2. Climagramme d'Emberger

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q2) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique. Ce quotient est déterminé par la Formule de (Stewart, 1969) qui est :

$$Q2 = 3,43 * P / (M - m).$$

Q2 : le quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : cumul pluviométrie annuelle moyenne en mm.

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud.

m : température moyenne minimale du mois le plus froid.

3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

$$\text{Donc ; } Q2 = 3,43 \times 31,8 / (44,5 - 4,3) = 2,7$$

A partir les données climatiques, on peut conclure que Ouargla situé à l'étage bioclimatiques de type saharienne à hiver doux.

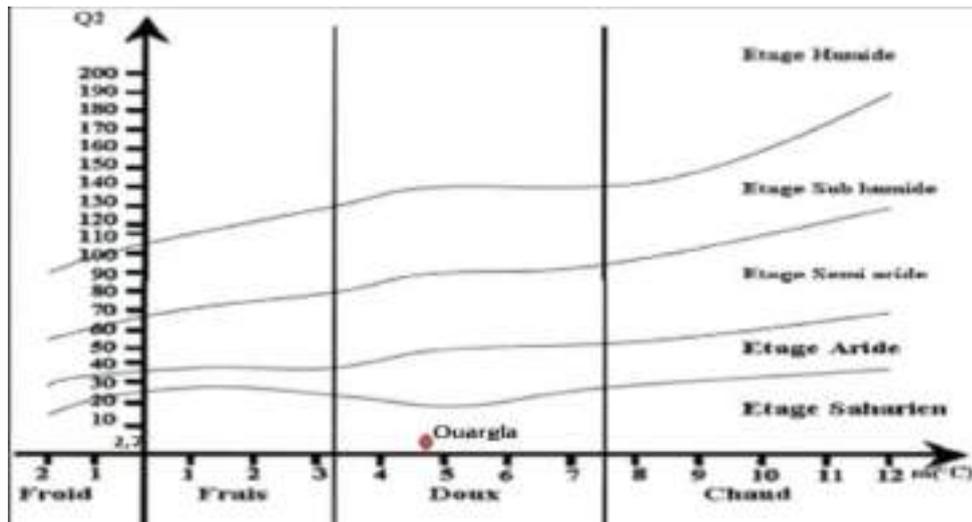


Figure 6 : Situation de la région de Ouargla au niveau du climagramme d'Emberger

2.7. Hydrologie

Dans le Sahara septentrional les réserves hydriques sont conservées dans les sous-sols (Azib, 2010). Ces réserves sont essentiellement constituées de 04 nappes aquifères principales qui sont : nappe phréatique, nappe du Miopliocène, nappe du Sénonien et nappe de l'Albien qui diffèrent selon leurs profondeur, pouvant atteindre jusqu'à 1800.

2.8. Pédologie

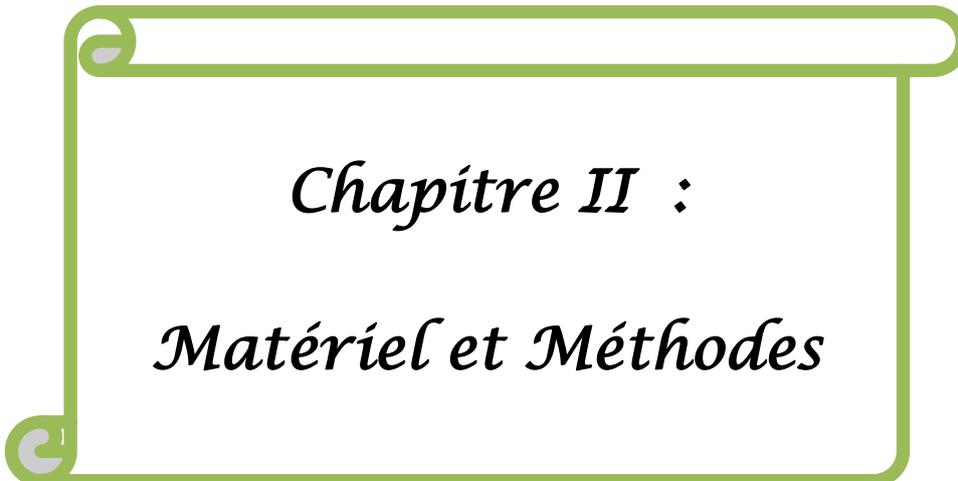
Les sols de la région de Ouargla sont des sols légers à prédominance sableuse et structure particulière. Ces sols sont caractérisés par un faible taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin et une bonne aération (Hamnache, 2017).

2.9. Géologie

Le relief de Ouargla est constitué des roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivées des Marnes jaunâtres plus ou moins gréseuses, salées et gypseuses, Calcaires jaunâtres ou ocre, gréseux ou marneux, Argiles sableuses rouges à ocres, salées et gypseuses, Grés, sables et conglomérats, Calcaires lacustres et les sables récents du quaternaire (Boutelli, 2012).

2.10. Topographie

La pente générale de la vallée est légèrement inférieure à 1%. Néanmoins, elle reste variable par endroit. Elle est de 2‰ du pied du Djebel Abbad à la rive de la Sebkhha de Ouargla, par contre, au nord de la Sebkhha jusqu'à la palmeraie de N'Goussa, la pente est régulière et se situe autour de 1.8%. Après le seuil de N'Goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de la sebkhha Safioune où la pente est réduite à 0.6% (Rouvillois-Brigol, 1975).



Chapitre II :
Matériel et Méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Présentation de site d'étude

Notre essai a été effectué au niveau de l'exploitation de l'université d'Ouargla (l'exploitation de l'ITAS) (Figure 7). Elle située au sud-ouest de Ouargla, à six Km de centre ville, elle se présente sous forme d'un glaciis d'une grande homogénéité topographique.

Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. Le dénivelé topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres. Ses coordonnées sont les suivantes : Latitude : 31 ° 57' Nord ; Longitude : 5° 20' Est et pour les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m

L'exploitation occupe une superficie totale de 32 hectares dont 16 ha sont aménagés, répartis sur quatre secteurs notés A, B, C et D occupant chacun une superficie de 3,6 hectares et cultivés essentiellement par le palmier dattier (Mahbob, 2008). Notre essai a été réalisée au niveau de secteur D (Figure7).



Figure 7: Localisation du site expérimental (Google Earth , 2019)

1.1. Données climatiques de la campagne de l'essai (2019/2020)

Les données des températures minimales, maximale et moyennes enregistré durant la campagne 2019 /2020 sont indiqués dans le tableau 6.

Tableau 6 : Les données météorologiques de la campagne 2019/2020 (ONM, 2019)

Mois	T°C Min	T°C Max	T°C Moy
Octobre 2019	17.4	31.4	24.4
Novembre 2019	9.8	23.7	23.7
Décembre 2019	7.1	21.4	14.25
Janvier 2020	3.2	19.5	11.4
Février 2020	6.6	23.9	15.3

Mars 2020	11.4	26.2	18.8
Avril 2020	16.6	31.3	23.9

2. Matériel d'étude

2.1. Matériel pédologique

Afin de déterminer les caractéristiques du sol de notre site expérimentale, nous avons effectué les analyses des échantillons au laboratoire du département des Sciences Agronomiques de l'Université de Ouargla. Les paramètres étudiés sont présentés dans le tableau 07.



Figure 8: Les échantillonnages du sol (Benzid et Chibani, 2019)

Tableau 7: Les caractérisations du sol et les méthodes utilisés

Caractéristiques		Méthodes utilisés
Physiques	Granulométrie	Tamissage
	H%	Gravimétrie
Physico-chimiques	pH	pH mètre avec un rapport sol/eau de 1/5
	CE (mS/cm)	Conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5

2.2. Eau d'irrigation

L'eau d'irrigation utilisée dans cet essai provient de la nappe Sénonien, nous avons mesuré sa conductivité électrique (mS/cm) par un conductimètre et son pH (pH-mètre).

2.3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) **Q102**, **Q103** et **Q104** (tableau 8).

Les semences ont été récupérées auprès de l'ITDAS de Hassi Ben Abdallah. Elles sont d'origine Péruviennes.

Tableau 8:Caractéristiques des variétés du quinoa utilisées.

Numéro	Code	Lignée/variété	Source	Caractéristiques	Grain
1	Q102	<i>Amarilla Sacaca</i>	Pérou	Cette variété est caractérisée par une croissance simple, forme de tige angulée, panicule de type intermédiaire, forme de grain cylindrique. La hauteur de plante est d'environ de 1,50 à 1,70 m; le nombre de jours jusqu'à la maturité physiologique est de 160 (Vidal et <i>al.</i> ,2013)	 Benzid et Chibani,2020
2	Q103	<i>Blanca de Junin</i>	Pérou	Cette variété est caractérisée par une croissance ramifiée jusqu'au tiers inférieur, forme de tige est sans angles, forme de panicule glomérulée et celle du grain est cylindrique. La hauteur de plante est environ de 1,50 à 1,70 m; et le nombre de jours jusqu'à la maturité physiologique est de 170 (Vidal et <i>al.</i> ,2013)	 Benzid et Chibani,2020
3	Q104	<i>Kancolla</i>	Pérou	Cette variété est caractérisée par une croissance simple, forme de tige coudée, panicule glomérulée et forme de grain cylindrique. La hauteur de plante est environ de 1,01 à 1,10 m; le nombre de jours jusqu'à la maturité physiologique est 170 (Vidal et <i>al.</i> ,2013).	 Benzid et Chibani,2020

3. Méthode d'étude

La méthodologie de travail suivie pour réaliser notre expérience est résumé dans la figure 9.

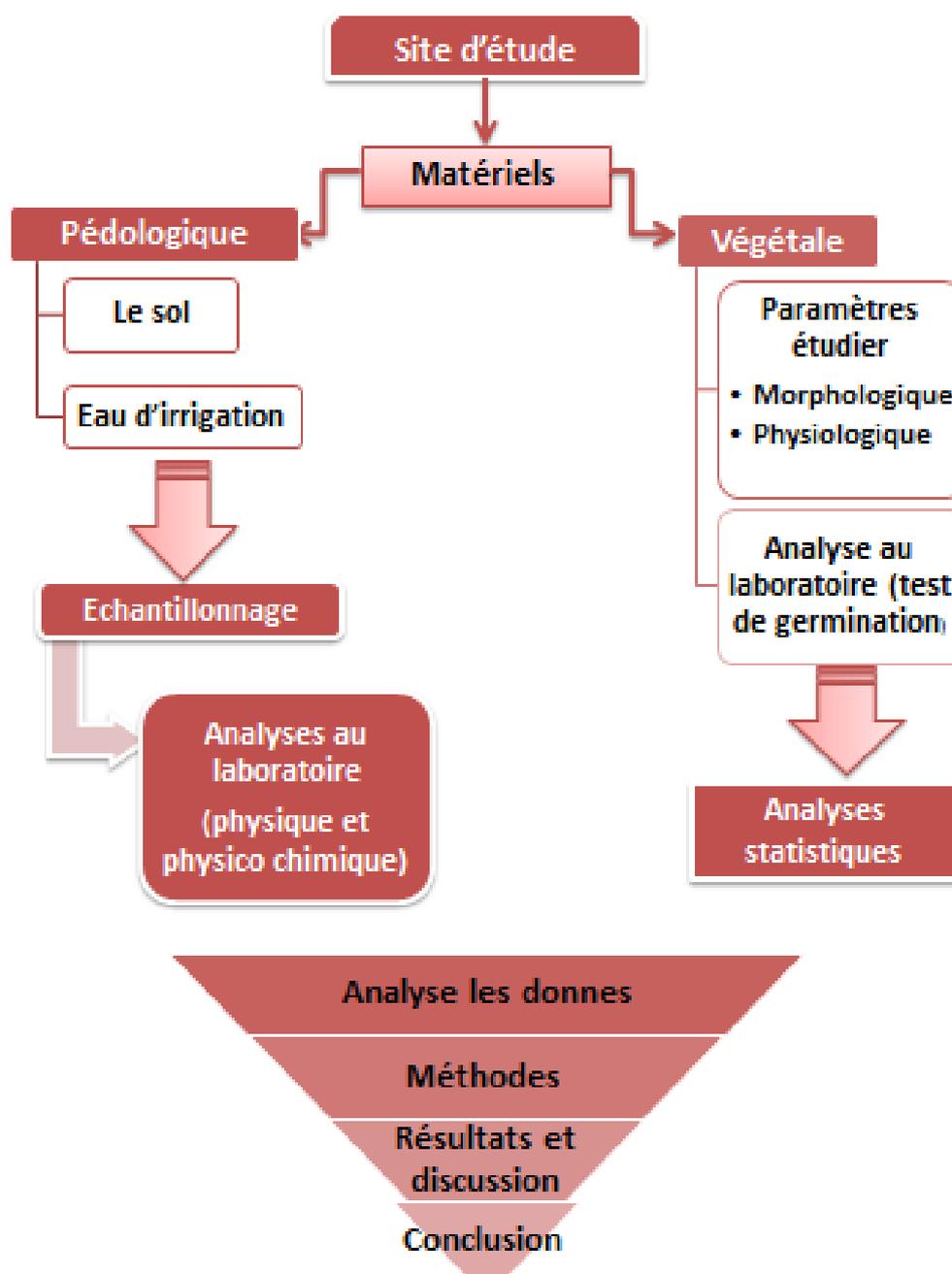


Figure 9: Méthodologie de travail

3.1. Protocole expérimentale

3.1.1. Objectif

L'objectif général visé de l'essai est de suivre le comportement de trois variétés/populations de quinoa et de tester leur adaptation sous les conditions édapho-climatiques de la région de Ouargla à travers des paramètres agronomiques et physiologiques.

3.1.2. Dispositif expérimental

L'essai est effectué hors palmier au niveau de l'exploitation agricole de l'université de Ouargla. Le dispositif expérimental est de type aléatoire composé de quatre blocs avec 04 répétitions et 01 facteur qui est la variété (Q102, Q103 et Q104) (figure 10). L'essai englobe 12 parcelles élémentaires. La superficie de chaque parcelle élémentaire est de $1.6\text{m} \times 5\text{m} = 8\text{m}^2$.

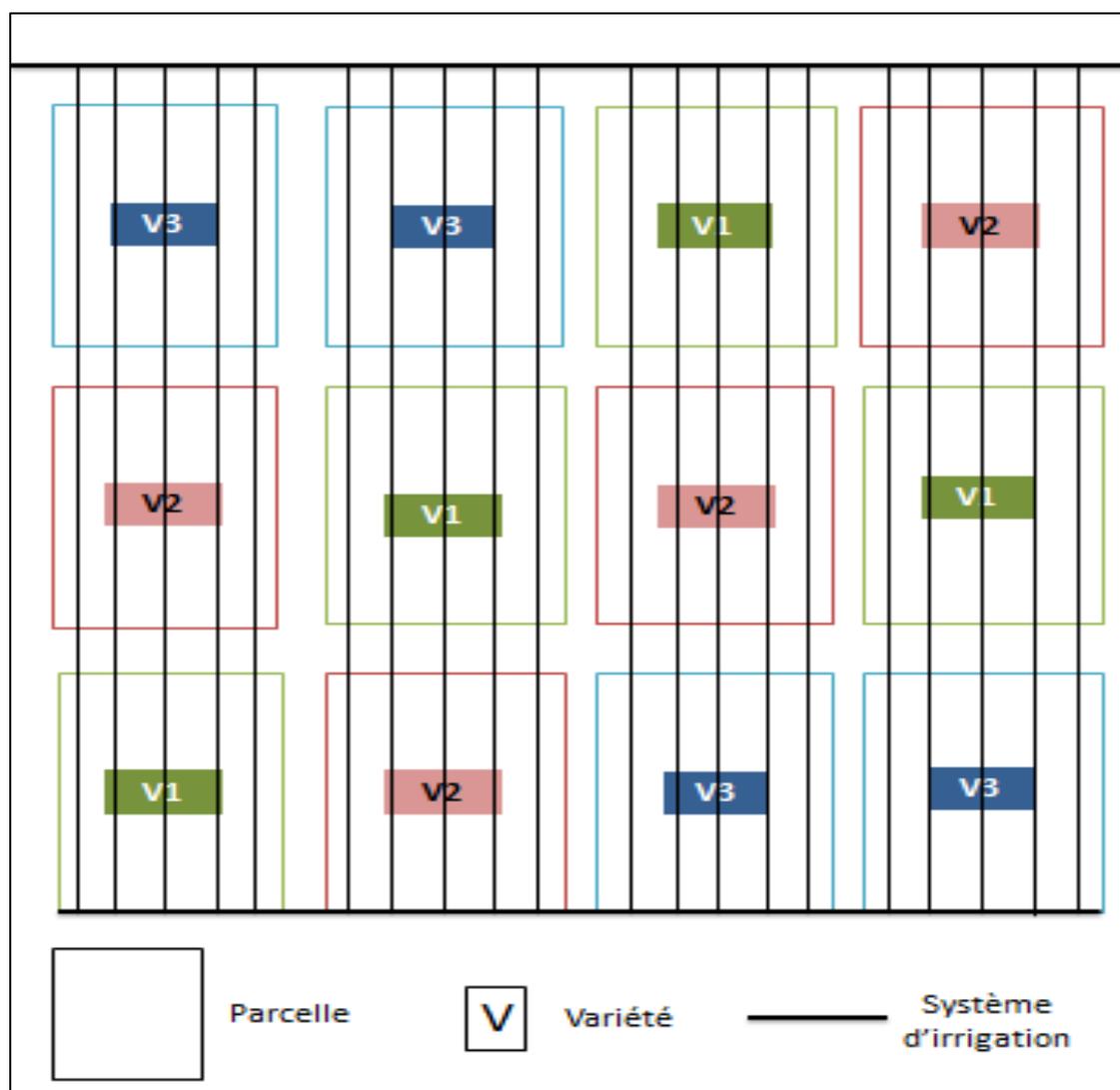


Figure 10:Schéma globale du dispositif expérimentale

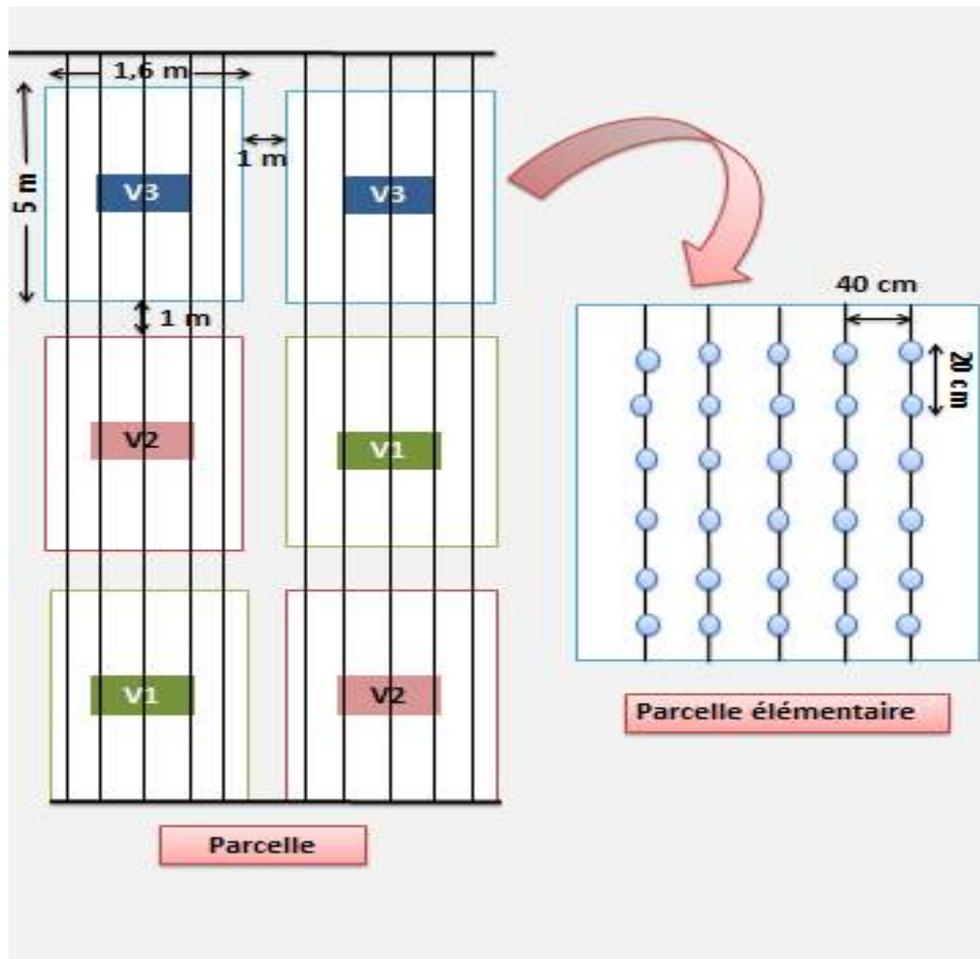


Figure 11: La distance entre les parcelles et les lignes en parcelle élémentaire

3.2. La conduite culturale

La conduite culturale représente les étapes successives suivantes:

3.2.1. Préparation de sol

Le labour a été effectué en 15 Octobre 2019 manuellement, le travail du sol a été suivi par une pré-irrigation avant 02 jour du semis.

3.2.2. Fertilisation

Nos d'essai ont reçu une fertilisation basée uniquement sur l'amendement organique durant tout le cycle de la culture. La fertilisation organique est apportée au moment du labour avec une quantité utile égal de 35-40 Kg fumier à chaque parcelle élémentaire.

3.2.3. Semis

Le semis a été réalisé manuellement le 17 October 2019, à raison de 03 grains par poquet à une profondeur de semis de 1 à 2 cm (figure12)

- ✓ L'écartent entre lignes est de 40 cm,
- ✓ L'écartent entre plantes est de 20 cm,
- ✓ Le nombre de poquets par ligne est de 25 poquets,
- ✓ La dose de semis est 14,76 qx/ha.



Figure 12: Semis des grains dans les parcelles élémentaires (Chibani et Benzid,2019)

3.2.4. Irrigation

Le système d'irrigation utilisée est le système goutte à goutte, avec débit de 0.7 l/h pendant 30 min, à effectué deux fois par semaine.

3.2.5. Désherbage

Le désherbage a été réalisé manuellement à raison de deux fois par semaine.

4. Paramètres étudiés

Le suivi du comportement des trois variétés de quinoa sous conditions du milieu aride a été basé sur quelques paramètres de croissance (morphologique) et physiologiques.

4.1. Paramètres morphologiques

4.1.1. Paramètres liés à croissance végétale

Les mesures ont été réalisées sur un échantillon de dix plants choisis aléatoirement au niveau de chaque parcelle élémentaire en évitant les bordures, par la suite on calcule la moyenne pour chaque paramètre.

4.1.1.1. La précocité de chaque variétés dans chaque stades phénologiques

On compte le nombre de jours de plants dans chaque stades de croissance au chaque parcelle.

4.1.1.2. Hauteur des plants au stade maturation

La hauteur de plante réalisé par mesure dix plantes pour chaque parcelle élémentaire ; après on calcule la moyenn le la hauteur de chaque variété.

4.1.1.3. Diamètre de tige

A l'aide de piéd à coulisse, on mesure le diamètre de tige de dix plante pour chaque parcelle élémentaire ; et après on calcule la moyenne de chaque variété.

4.1.1.4. Forme de feuilles

Pour les feuilles; l'un des caractères les plus constants est le nombre de dentelures qui bordent les feuilles qui varie de 0 à 20 selon les différents écotypes (Gandarillas, 1968) (Figure 13)

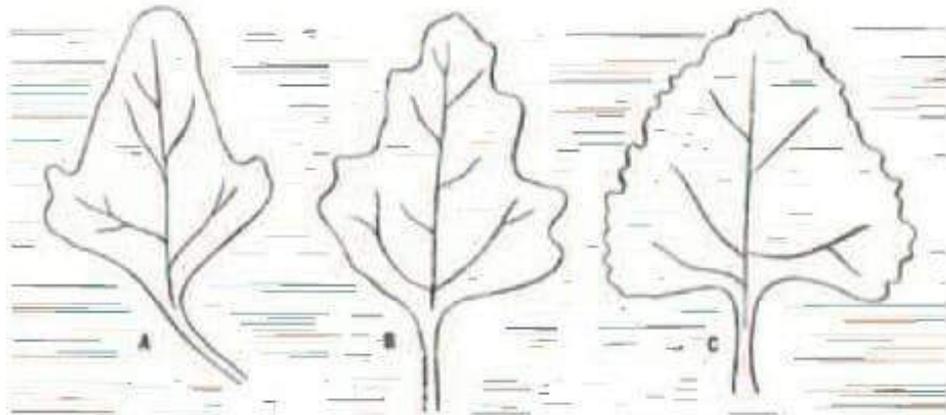


Figure 13 : Variation du nombre de dents dans les feuilles de quinoa (Gandarillas, 1979)

- A : peu de dents
- B : 3 à 12 dents
- C : plus de 12 dents

4.1.1.5. Surface foliaire

La surface foliaire a été déterminée en prenant cinq feuilles au de chaque parcelle, pour déterminer la surface foliaire on a suivi les étapes suivantes :

1. Dessiner les feuilles sur des papiers blanche.
2. Découper les contours de la feuille.
3. Peser la partie représente la feuille (pf).
4. Déterminer par pesée le pois (Pp) correspondant à une surface Sp connue d'un carré du même papier.
5. Déduire la surface de la feuille SF par la formule suivante :

$$SF = (pf \times Sp) / Pp$$

4.1.1.6. Couleur de panicule

On note la couleur des panicules pour chaque variété au stade de floraison et de maturité physiologique.

4.1.1.7. La forme de panicule

A la maturité, on note la forme des panicules pour chaque variété.

4.1.1.8. Nombre de panicule secondaire

Au stade panicule on calcule le nombre des panicules principale pour chaque variété.

4.1.2. Paramètres liés au rendement

4.1.2.1. Poids de plante au stade maturation

A la maturité, au niveau de chaque parcelle, on prend dix plants au hasard (en évitant les bordures), et on mesure leur poids à l'aide d'une balance.

4.1.2.2. Poids de la panicule principale

A la maturité, le poids de la panicule principale est réalisé par la pesée de dix plants au hasard (en évitant les bordures), au niveau de chaque parcelle (figure 14).



Figure 14 : peser la panicule principale de quinoa (Chibani et Benzid,2020)

4.1.2.3. Le poids de mille graines

Après la récolte, pour chaque parcelle élémentaire on prend 1000 graines avec trois répétitions et on les pèse (figure 15), après on calcule le moyen de poids des grains de chaque variété.



Figure 15 : Peser 1000 grains (Benzid et Chibani,2020)

4.2. Paramètres physiologiques

4.2.1. Détermination de la teneur en eau (T.E)

La teneur en eau est calculée par différence entre le poids de matière fraîche (PF) de l'échantillon et son poids de matière sèche (PS), après passage à l'étuve pendant 48 heures à 80°C. Les échantillons sont pesés, à des intervalles de temps réguliers, jusqu'à obtention d'un poids constant (figure 16)

$$TE (\%) = [(PF - PS)/PF] \times 100$$



Q102

Q103



Figure 16 : les échantillons des variétés du quinoa avant passage à l'étuve (Benzid et Chibani,2020)

4.2.2. Dosage des chlorophylles et caroténoïdes

La teneur en chlorophylle a, chlorophylle b, et en chlorophylle totale ainsi que les caroténoïdes ont été déterminées selon la méthode de Lichtenthaler (1987) et Shabala *et al.* (1998) et au niveau de l'avant dernière feuille.

Le principe consiste à mettre dans des tubes à essais 100 mg d'échantillon frais, coupé en petits fragments et 10 ml d'acétone à 95%, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures. Les concentrations de la chlorophylle a, la chlorophylle b et les caroténoïdes sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à des densités optiques respectives de 662, 644 et 470 nm.

L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%, les différentes quantités de chlorophylles (exprimée en mg/g MF) sont calculées par les formules suivantes :

$$\text{Chl a} = 9,784 \times \text{Do}(662) - 0,99 \times \text{Do}(644)$$

$$\text{Chl b} = 21,42 \times \text{Do}(644) - 4,65 \times \text{Do}(662)$$

$$\text{Chlorophylle totale} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

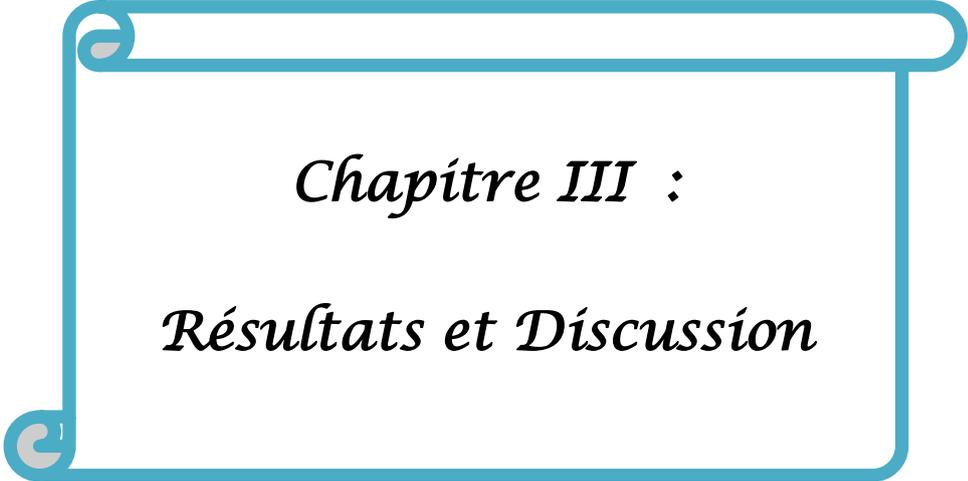
$$\text{C(x+c)} = [1000 \cdot \text{DO}(470) - 1,90 \cdot \text{Chl.a} - 63,14 \cdot \text{Chl.b}] / 214$$

Do : densité optique

x= xanthophylles ; **c** = caroténoïdes

5. Méthodes d'analyse des données (Analyse statistique)

Les résultats obtenus sont traités et analysés par le programme XLSTAT 2010.5.08 - ANOVA. On a réalisé l'analyse de la variance et la Plus Petite Différence Significative (PPDS), pour chaque paramètre analysé dans le but de savoir la signification de l'effet de chaque traitement sur les différents paramètres.



Chapitre III :

Résultats et Discussion

I- Résultats

Après le suivi expérimentale du cycle végétatif de la plante de quinoa sous les conditions édapho-climatiques de la région de Ouargla, nous avons obtenue les résultats suivants:

1. Analyse des données météorologiques de la campagne 2019-2020

Les données climatiques de campagne (2019/2020), font ressortir que la température maximale durant le cycle de la culture ne dépasse pas 31.4°C, marqué pour les mois d'octobre à avril et qui coïncide avec la phase végétative et reproductrice.

Les températures minimales comprises entre 17.4°C (mois octobre) et 3.2 °C (mois de janvier). Alors que l'intervalle de température moyenne est entre 11.4° C (mois de janvier) à 24.4° C (mois octobre).

2. Analyse du sol

Nous sommes basées pour ces paramètres sur les résultats de Berkal (2016), qui fait ressortir que la texture du sol est sableuse, avec un pH alcalin de 7.95, une conductivité électrique du sol qui est très élevée (6.67 dS/m) (tableau 9). Nous pouvons conclure que le sol du secteur B2-1est légèrement à extrêmement salé.

Tableau 9: les caractéristiques physico chimiques du sol de site expérimentale (Berkal, 2016).

Texture	pH	CE (dS/m) à 25°C	H (%)	Granulométrie				
				A (%)	L.F (%)	L.G (%)	S.F (%)	S.G (%)
Sableuse	7,95	6,675	4,025	2,025	2,075	6,7	54,025	35,15

3. Paramètres liée à la croissance végétative

3.1.Taux de germination

La germination des grains de toutes les variétés de quinoa est immédiate pendant moins de 24 heures (figure17), les graines des trois variétés ont complètement germés (100%), néanmoins, la germination de la variété Q102 est plus rapide par rapport aux autres variétés.

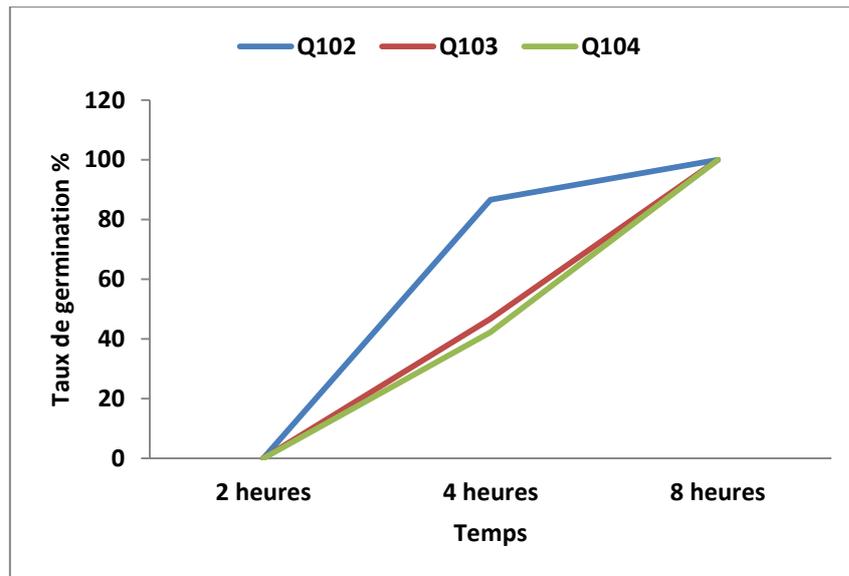


Figure 17: Taux de germination des variétés en fonction de temps.

3.2. Taux moyenne de plantes levées par parcelle élémentaire

A partir des données de tableau 10, on remarque que les plants levés des variétés du quinoa ont dépassé 50% des plants levés au niveau de chaque parcelle élémentaire. Avec une variation entre le taux de levée et le taux de germination (il y a une différence estimée entre 26.8% à 37.2%).

Tableau 10 : Variation du taux de levée et taux de germination en fonction de la variété

Variétés	NPT/PE	NPL/PE	Taux de levée (%)	Taux de germination (%)
Q102	125	91,5	73.2%	100%
Q103	125	88,25	70.6%	100%
Q104	125	78,5	62.8%	100%

NPT/PE : nombre de plantes totale par parcelle élémentaire.

NPL/PE : nombre de plantes levée par parcelle élémentaire.

On remarque dans la figure 18 et le tableau 10, le taux de levée le plus élevé est enregistré pour la variété Q102 (73.2%), alors que la Q103 est classé en deuxième position avec un taux de 70.6%. Enfin, le taux le plus faible est enregistré par la variété Q104 (62.8%)

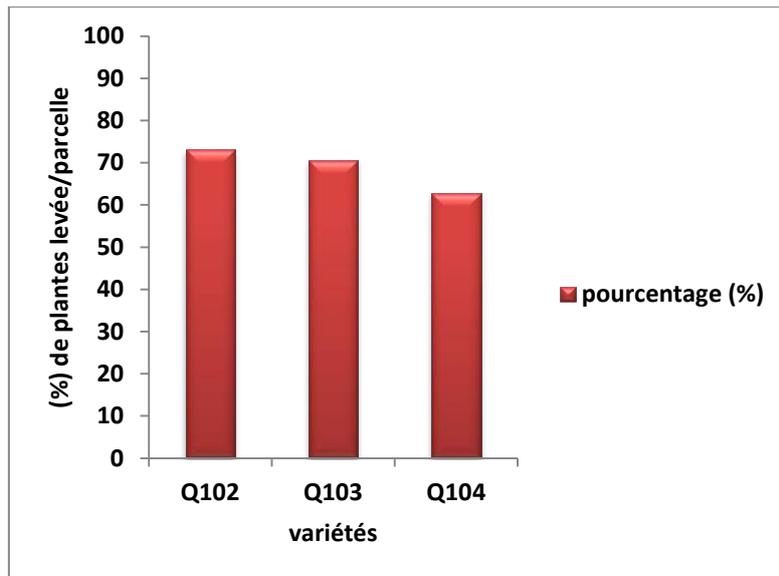


Figure 18 : Variation de pourcentages des plantes levées en fonction des variétés

3.3. Notations des stades phénologiques

Le semis a été effectué manuellement le 17 Octobre 2019, après quatre (04) jours les jeunes plantules apparaissent avec deux petites feuilles allongées. Après les premiers stades (deux feuilles, quatre feuilles et six feuilles), la différence entre les caractères des variétés apparaît sur la forme générale de la plante (la forme des feuilles, types de ramification... etc.).

La succession des stades du cycle de croissance est mentionnée dans le tableau 11 et figure 19.

Tableau 11 : Nombres de jours des stades phénologiques à partir du semis selon les variétés.

variété	Q102	Q103	Q104
Stades			
Levée	7	7	7
Deux feuilles	14	14	14
Quatre feuilles	20 à 21	19 à 20	20 à 21
Six feuilles	27 à 28	26 à 27	28 à 30
Ramification	41 à 42	36 à 38	39 à 41
Début formation panicule	58 à 59	44 à 52	39 à 41
Panicule	74 à 76	55 à 66	62 à 69
Début floraison-floraison	101 à 104	62 à 73	70 à 79
Grain laitex	113 à 117	79 à 90	70 à 79
Grain pâteux	138 à 142	109 à 116	117 à 127
Maturité physiologique	162 à 167	118 à 129	135 à 145
Moyenne de jours	165	123	137

Le tableau 11 montre la durée en jours de chaque stade végétatif pour les trois variétés de quinoa. Nous avons remarqué une grande hétérogénéité dans la croissance et l'apparition des différents stades phénologiques, pour cela, nous avons considéré un stade a été atteint lorsque 50% des plants ont atteint le stade (Mujica et *al.*,2001).

Pour les premiers stades (levée- deux feuilles) ; nous avons noté un intervalle de (7 à 14 jours) pour les trois variétés, pour les stades phénologiques suivants jusqu'à la maturité physiologique, des intervalles sont également notés. La variété qui a atteint son cycle végétatif rapidement est la Q103 avec une moyenne de 123 jours, suivis par les variétés Q104 et Q102 avec 137 jours et 165 jours respectivement.

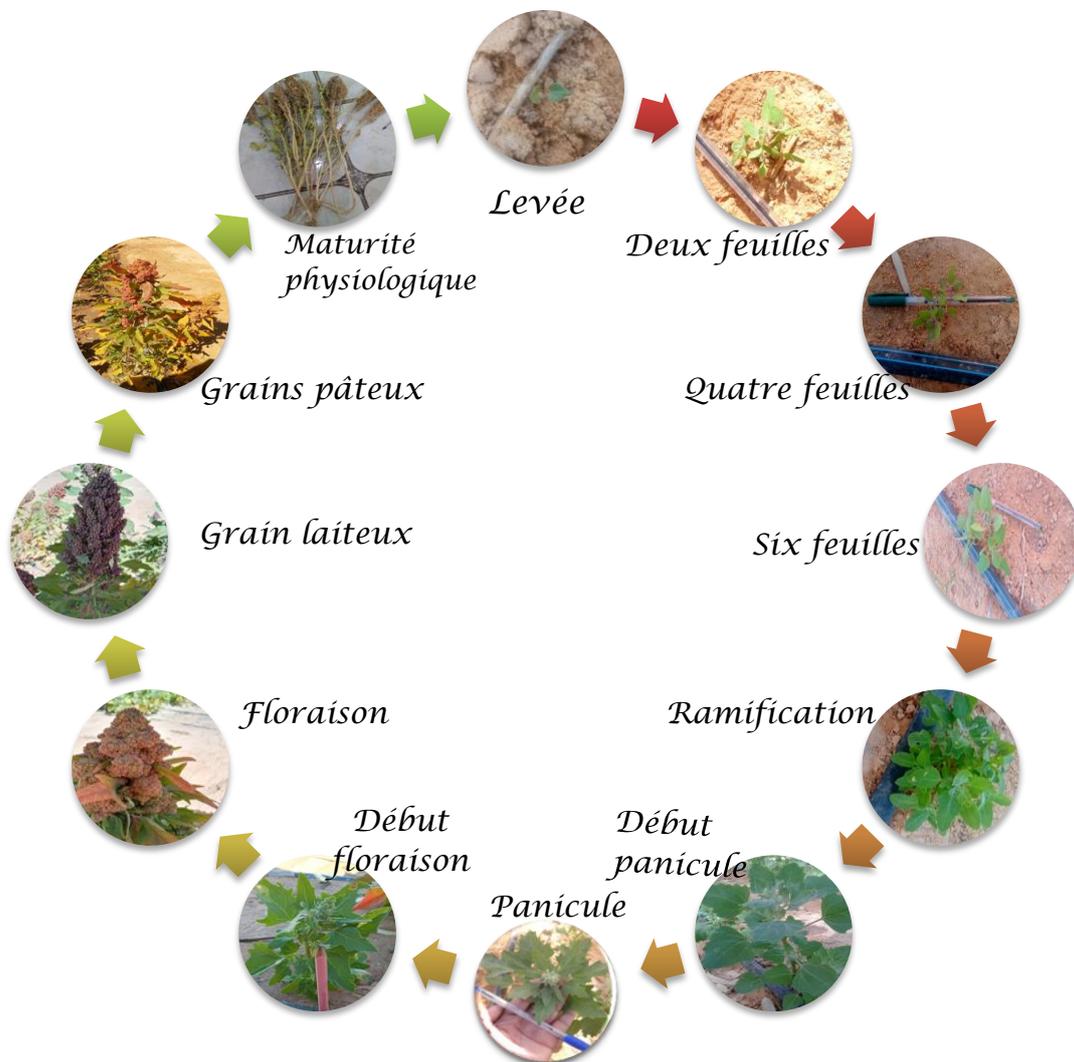


Figure 19 : Cycle végétatif des variétés de quinoa (Benzid et Chibani,2020)

3.4. Précocité des variétés en fonction des stades phénologiques

La précocité des variétés est un facteur important pour identifier le comportement variétal et choisir la variété qui s'adapte aux conditions du milieu. Pour notre essai on remarque que la précocité est variable selon la variété et les stades, c'est-à-dire la variété Q102 a été précoce dans le premier cycle végétatif (levée-ramification) ; et pour les stades début panicule à maturité physiologique, la précocité est notée chez la variété Q103 (tableau 11).

3.5. Hauteur des plantes aux stades maturation

La mesure de la hauteur des plants au stade maturation, montre des différences très hautement significatives entre les variétés étudiées (tableau 12). Les hauteurs enregistrées sont de 71.70 cm ; 44.04 cm et 25.55 cm respectivement pour les variétés Q102, Q103, Q104 (figure 20).

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre hauteur des plantes (cm) au stade maturation.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	3236,291	1618,145	59,537	0,0001	T.H.S
Erreur	6	163,072	27,179			
Total corrigé	8	3399,362				

T.H.S : Très hautement significatif

Le test de classement des moyennes (Fisher) a mis en évidence trois groupes homogènes (annexe 7)

- Groupe (A) : représenté par la variété Q102 avec une moyenne de 71.700 ;
- Groupe (B) : représenté par la variété 103 avec une moyenne de 44.067 ;
- Groupe (C) : représenté par la variété Q104 avec une moyenne de 25.550.

D'après nos résultats, il ressort que c'est la variété Q102 qui a indiqué une la hauteur la plus élevée au stade maturation par rapport les autres deux variétés (figure 20).

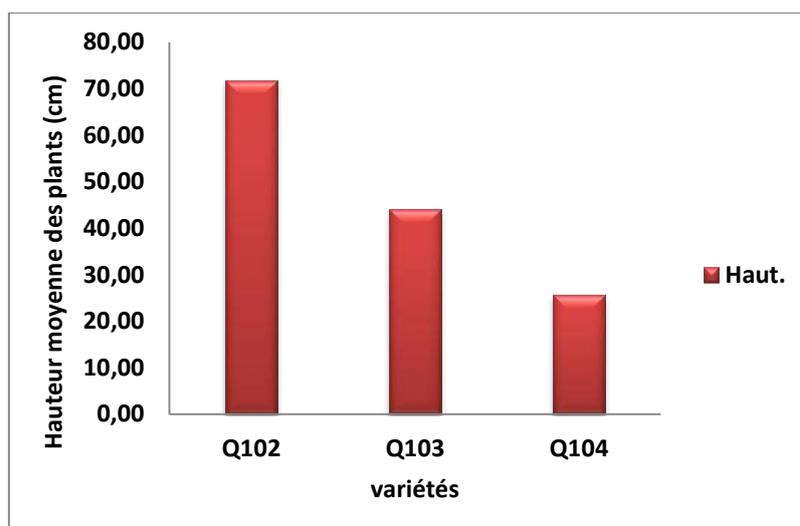


Figure 20 : Variation de la hauteur des plants au stade maturation (cm) en fonction des variétés

3.6. Diamètre de la tige principale

Pour ce paramètre, l'analyse de variance montre des différences non significatives entre les trois variétés de quinoa (tableau 13).

Tableau 13 : Analyse de la variance du paramètre diamètre tige principale (mm)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	2,790	1,395	3,311	0,107	A.S
Erreur	6	2,528	0,421			
Total corrigé	8	5,318				

A.S : aucune signification

Le test de classement des moyennes (Fisher) a permis de montrer un seul groupe homogène :

- Groupe (A) : regroupe les trois variétés : Q104, Q102 et Q103.

On remarque dans la figure 21, la variété qui a enregistré le plus grand diamètre est la Q104 avec une moyenne de 2.83 mm ; alors que pour Q102 et la Q103, on a noté respectivement 2.68 mm et 1.58 mm.

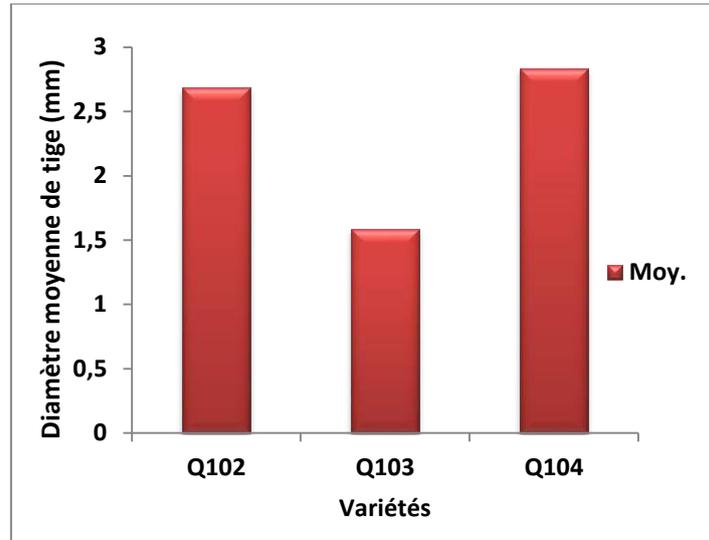


Figure 21 : Variation du diamètre de tige (mm) en fonction des variétés

3.7. Caractéristiques morphologique des organes végétatifs (feuilles et panicule)

3.7.1. Feuilles

Le tableau 14 montre que pour les trois variétés étudiées, la forme des feuilles est triangulaire, et le bord dentées. Pendant que les variétés de Q102 et Q103 partageant le même caractère de couleur de pétiole et de lame (verte). Néanmoins, nous notons une différence dans le nombre des dents entre les trois variétés, les caractères de chaque population sont définis dans le tableau 14 :

Tableau 14: Les principaux caractères des feuilles des différentes variétés de quinoa

Variété	Q102	Q103	Q104
Forme	Triangulaire	Triangulaire	Triangulaire
Bord de feuilles	Dentée	Dentée	Dentée
Nombre de dents par feuille	7 à 10	6 à 7	7 à 12
Couleur de pétiole	Vert	Vert	Vert-rouge
Couleur de la lame	Vert	Vert	Vert-rouge

Figure (Benzid et Chibani, 2019)



3.7.2. Panicule

3.7.2.1. Panicule principale

La différence est claire au niveau des panicules principales de chaque variété (tableau15), soit pour la forme ou bien la couleur de panicule, les variétés Q103 et Q104 possèdent un forme glomérulée, pendant que la Q102 a des panicules intermédiaires.

Tableau 15 : Les caractères de panicule de chaque variété

Variété	Q102	Q103	Q104
Forme de panicule	Intermédiaire	Glomériforme	Glomériforme
Couleur de panicule	Mauve foncée	Verte	Orange-jaune

Figure
(Benzid et
Chibani,
2019)



3.7.2.2. Panicules secondaires

L'analyse de variance relative aux nombres des panicules secondaires, montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les trois variétés du quinoa (tableau16).

Tableau 16 : Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre nombre de panicule secondaire au stade maturation.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	14,482	7,241	3,061	0,121	A.S
Erreur	6	14,193	2,366			
Total corrigé	8	28,676				

A.S : aucune signification

D'après la figure 22, on remarque que la variété Q104 a indiqué le nombre le plus élevée des panicules secondaires avec une moyenne de 8.63 ; suivis respectivement par la Q102 et Q103 avec une moyenne de 6.9 et 5.53.

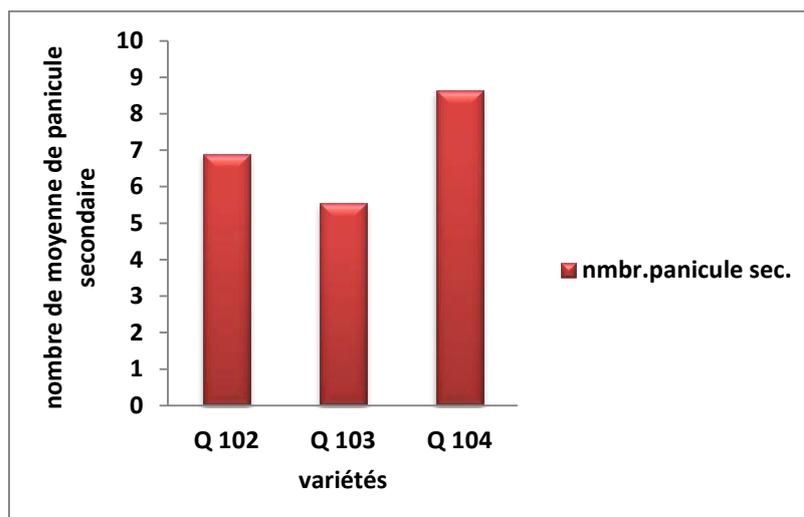


Figure 22 : variation de nombre de panicules secondaires en fonction de variétés

Le test Fisher relatif au nombre des panicules secondaires a fait ressortir un seul groupe homogène:

- Groupe (A) regroupe les trois variétés : Q102, Q104 et Q103.

3.8.La surface foliaire

Les données relatives à la surface foliaire au stade début de panicule montrent qu'il y a des différences non significatives pour les trois variétés (tableau 17).

Tableau 17 : Analyse de la variance le paramètre de Surface foliaire (cm²)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	108,681	54,340	0,907	0,453	A.S
Erreur	6	359,375	59,896			
Total corrigé	8	468,056				

A.S : Aucune signification

Ce classement a été confirmé par le test de classement des moyennes qui a décelé un seul groupe homogène :

- Groupe (A) : regroupe les variétés Q103, Q104 et Q102.

A travers la figure 23, il ressort que la surface foliaire est de 47.08 cm² ; 45.83cm² et 39.16cm² respectivement pour les variétés Q103, Q104 et la Q102.

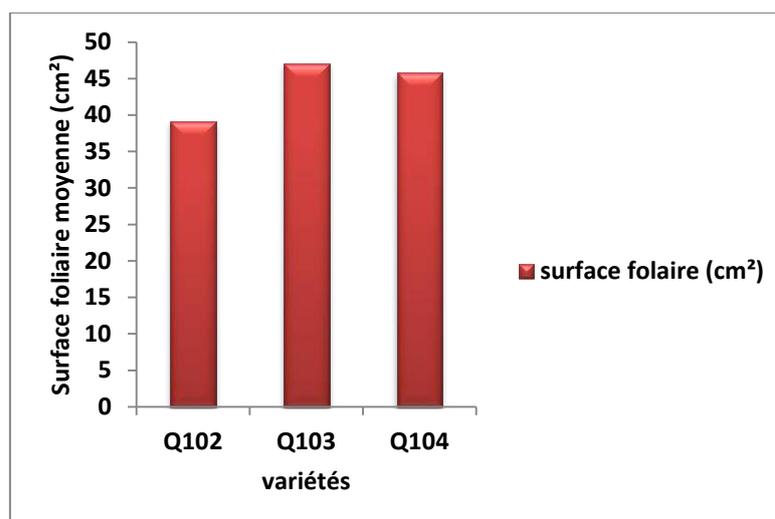


Figure 23 : Variation de la surface foliaire (cm²) en fonction des variétés

4. Paramètres liés au rendement

4.1. Poids de plante au stade maturation

Selon l'analyse de variance du poids de plante au stade maturation, il ressort qu'il y'a des différences hautement significative chez trois variétés (tableau 18).

Tableau 18 : Analyse de la variance le paramètre de poids de plante (g).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	611,580	305,790	237,673	< 0.0001	H.S
Erreur	6	7,720	1,287			
Total corrigé	8	619,299				

H.S : hautement significatif

On peut classer les variétés selon le classement de Fichier en deux groupes homogènes comme suite (annexe 8):

- Groupe (A) : représenté la variété Q102 par moyenne de 21.595 g/plante
- Groupe (B) : regroupe les deux variétés de Q103 et Q104 par moyenne de 5.062 g/plante et 3.289 g/plante respectivement.

On remarque à partir de la figure 24, que le poids de la variété Q102 qui est de 22g est plus élevée par rapport aux autres variétés Q103 (5g) et Q104 (3.5g).

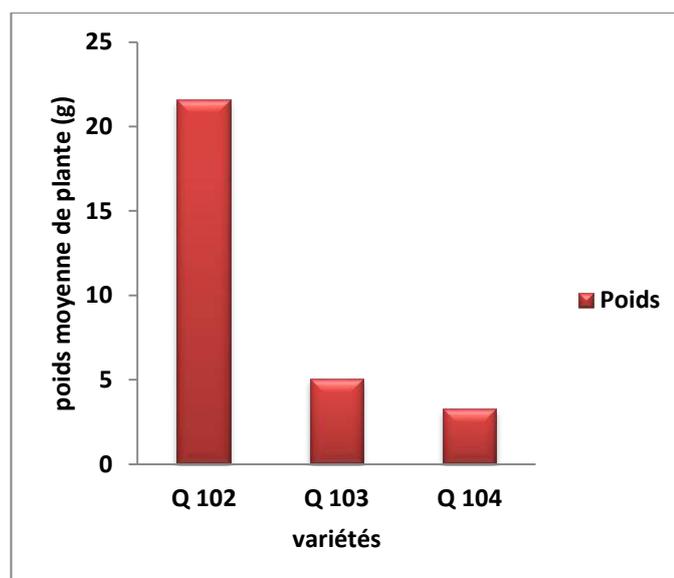


Figure 24 : Variation le poids de plante au stade maturation en fonction de variétés

4.2.Poids de panicule au stade maturation

L'analyse de variance de poids de panicule au stade maturation défini des différences hautement significatives entre les trois variétés (tableau 19).

Tableau 19 : Analyse de la variance du poids des panicules principales (g)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	299,989	149,994	269,935	< 0.0001	H.S
Erreur	6	3,334	0,556			
Total corrigé	8	303,323				

H.S : Hautement significatif

Le test de classement des moyennes a montré deux groupes homogènes qui sont (annexe 9):

- Groupe (A) : représenté la variété Q102
- Groupe (B) : regroupe les deux variétés : Q103 et Q104.

D'après la figure 25, on remarque que le poids de panicule le plus important qui est de 14.78 g est enregistré pour la variété Q102, suivis par les autres variétés qui montrent les poids les plus faible à savoir Q103 et Q104 avec respectivement 3.19 g et 1.96 g.

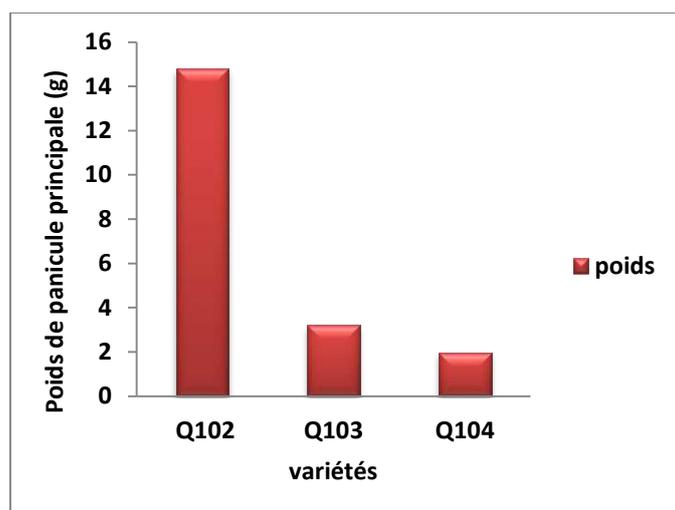


Figure 25 : Variation de poids de panicule principale au stade maturation en fonction de variétés

4.3. Poids de 1000 grains

4.3.1. Comparaison entre le poids de 1000 graines des variétés

Le tableau 20 montre que l'analyse de variance du PMG est hautement significative chez les trois variétés.

Tableau 20 : Analyse de la variance du poids de mille grains (g)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	2,820	1,410	289,449	< 0.0001	H.S
Erreur	6	0,029	0,005			
Total corrigé	8	2,849				

H.S : Hautement significatif

On peut ressortir deux groupes à partir de test Fisher des groupes homogènes (annexe10):

- Groupe A : représenté la variété Q102.
- Groupe B : regroupe les variétés Q103 et Q104.

Les résultats obtenus par le figure 26, montrent que le PMG de la variété Q102 est le plus élevée avec un poids de 3.94g alors que les variétés Q103 et Q104 ont enregistrés des poids moyens de 2.80 g et 2.71 g respectivement.

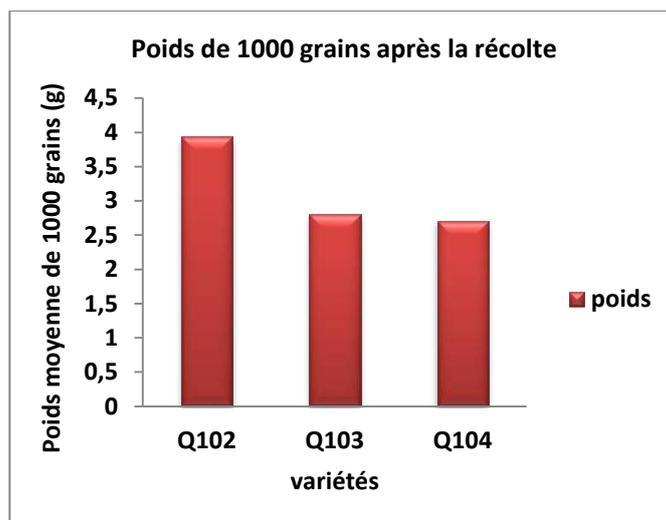


Figure 26 : Variation de poids de 1000 grains après la récolte en fonction de variétés

4.3.2. Comparaison entre le poids de 1000 grains avant le semis et après la récolte

En comparant entre le poids de grains avant le semis et après la récolte, nous avons observés une différence entre les poids de grains, la variété Q102 enregistré moins de différence entre les poids avant le semis (4.51g) et après la récolte (3.94g). Suivi par la variété Q104 qui enregistré de poids 3.8g avant le semis et poids de 2.71g après la récolte. Enfin la variété Q103 remarqué une grande différence entre les poids avant le semis et après la récolte estimé de 1.6 g (Figure27).

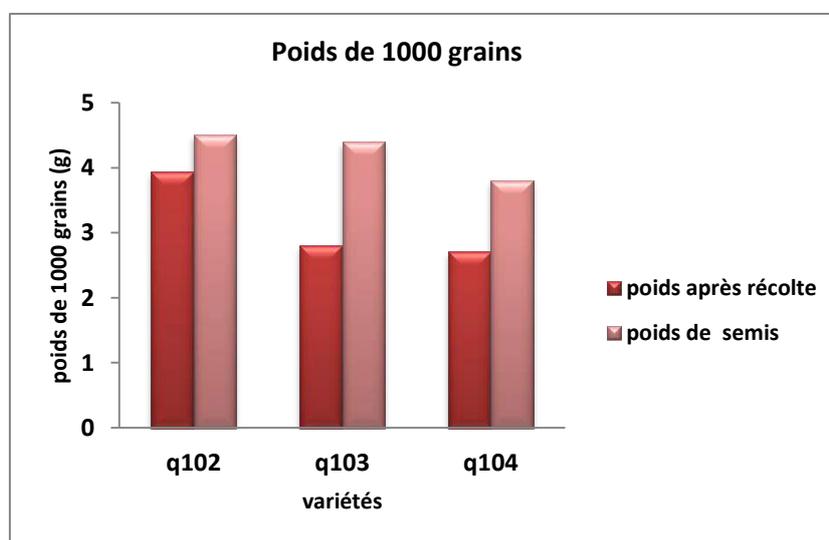


Figure 27 : Variation de poids de 1000 grains en fonction les variétés et source de grains

5. Paramètres physiologiques

5.1. Teneur en eau

La teneur en eau des feuilles conditionne le fonctionnement physiologique de la plante aux conditions de région d'étude, selon les résultats obtenus (tableau 21) nous avons observé des différences non significatives entre les variétés.

Tableau 21 : Analyse de la variance de paramètre de Teneur en eau

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatio n
Modèle	2	5,875	2,937	0,408	0,682	A.S
Erreur	6	43,163	7,194			
Total corrigé	8	49,038				

A.S : aucune signification

Le classement des variétés selon l'analyse statistique de Fichier montre la formation d'un groupe homogène :

- Groupe (A) : regroupe les variétés Q103, Q102 et Q104.

La figure 28 montre que la variété Q103 a enregistré le pourcentage de teneur en eau le plus élevée (84.91%), suivis par les variétés Q102 et Q104 qui marque des teneurs moyennes de 84.34% et 82.99% respectivement.

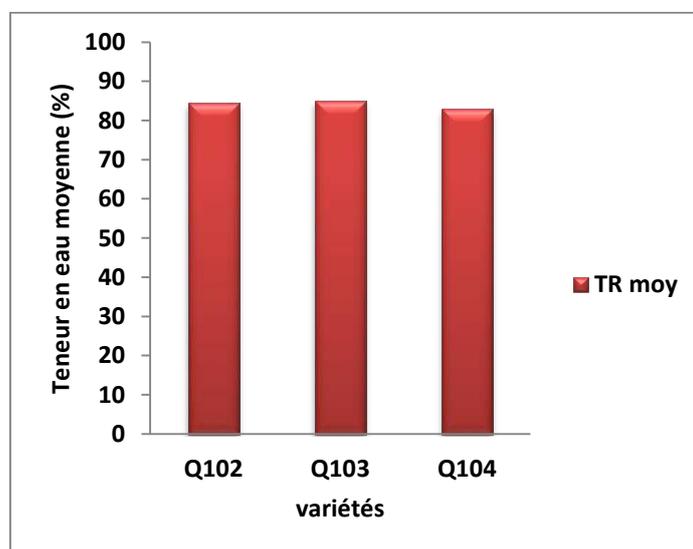


Figure 28 : Variation des teneurs en eau en fonction de variétés

5.2. Dosage de chlorophylles

5.2.1. Teneur de chlorophylles a, b et totale

En se basant sur l'analyse de variance des teneurs en chlorophylles a, b et totale, les résultats obtenus montrent des différences non significatives entre les trois variétés (on a un seul groupe homogène A) (annexe11).

La lecture de la figure 29, montre que les teneurs en chlorophylle (a) enregistré chez les variétés Q102, Q104 et Q103 sont très proches et sont de 6.10 mg/g, 5.62 mg/g et 5.20 mg/g respectivement ; il en est de même pour les teneurs en chlorophylle (b) qui sont de 6.12 mg/g, 5.77 mg/g et 5.69 mg/g pour les variétés Q102, Q103 et Q104. Enfin l'ensemble des teneurs en chlorophylle total enregistré sont respectivement de 12,230 mg/g, 11,318 mg/g et 10,986 mg/g pour les variétés Q102, Q104 et Q103.

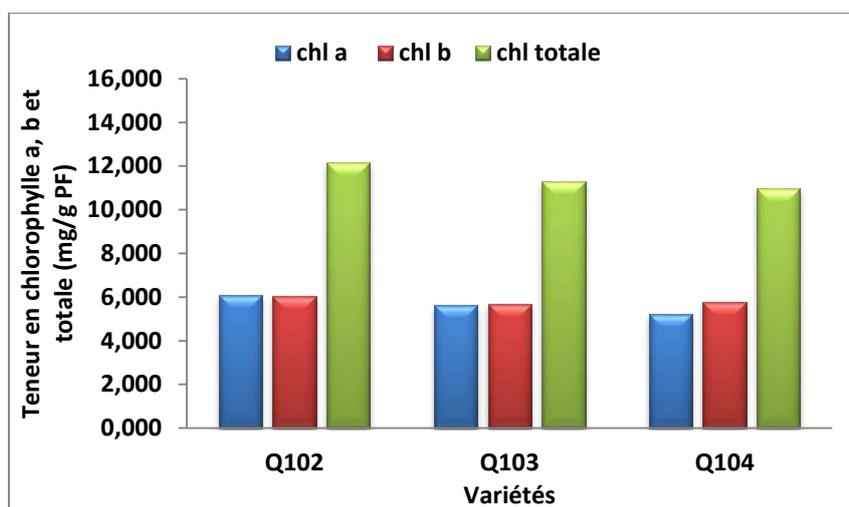


Figure 29 : Variation des teneurs en chlorophylle a, b et totale en fonction des variétés

5.2.2. Teneur de caroténoïdes

Pour l'analyse de variance de teneur en caroténoïdes (tableau 22), les résultats montrent qu'ils y a des différences non significatives entre les trois variétés, c'est-à-dire on a un seul groupe homogène A selon le classement de Fisher.

Tableau 22 : Analyse de la variance le paramètre de Caroténoïdes (mg/g PF)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle	2	0,154	0,077	0,710	0,529	A.S
Erreur	6	0,653	0,109			
Total corrigé	8	0,807				

A.S : Aucune signification

La figure 30 montre que les teneurs en caroténoïdes chez les variétés Q102, Q104 et Q103 sont proche et sont de 1.56 mg/g, 1.47 mg/g et 1.25 mg/g respectivement.

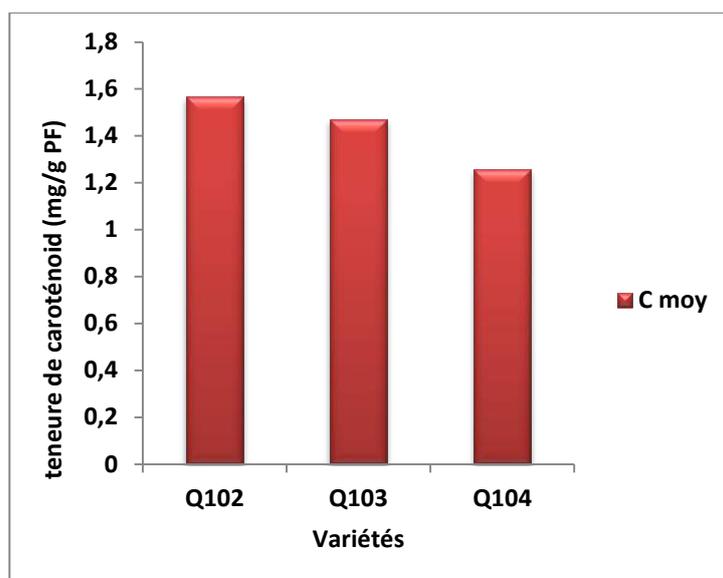


Figure 30 : Teneur de caroténoïdes

6. Effet des facteurs biotiques sur le développement de la culture

Durant le cycle végétatif de la culture de quinoa, plusieurs facteurs biotiques et abiotiques affectent la culture du quinoa.

6.1. Mauvaises herbes

Plusieurs mauvaises herbes ont été observées et prélevées sur le site expérimental de culture du quinoa durant tout le cycle végétatif (figure 31), parmi les espèces des mauvaises herbes les plus abondantes, nous citons : *Melilotus sp* ; *Oropetium africanum* ; *Chenopodium mural* et *Cynodondactylon*.

*Oropetium africanum**Cynodondactylon*



Chenopodium muralis



Chenopodium album

Figure 31 : Certaines espèces de mauvaises herbes observées dans le site expérimental

6.2. Insectes et ravageurs

Concernant les insectes et les ravageurs nous avons noté dans le site expérimental l'attaque des pucerons, les moineaux, les chenilles et les coccinelles (figure 32).



Coccinella septempunctata (Linné, 1758)



Chenille.sp.



Larve *sp*



Trace des oiseaux (le moineau)

Figure 32 : Quelques insectes et ravageurs observés dans le site expérimental

7. Problèmes rencontrés lors de l'expérimentation

7.1. Problèmes liés à la plante

Durant le cycle végétatif, nous avons eu des problèmes de suivis des plantes:

- Pas de germination de plusieurs grains.
- La germination tardive.
- Hétérogénéités dans le stade levé des jeunes plantes.
- Hétérogénéité des plantes entre les parcelles.

7.2. Problèmes liés à l'irrigation

L'installation de système goutte a été confronté à des problèmes techniques qui a affecté le développement des plantes

- Les goutteurs se bouchent par le calcaire de l'eau.
- Les fuites d'eau des tuyaux empêchant la distribution homogène de l'eau sur les parcelles élémentaire (figure33).



Figure 33 : Les fuites d'eau de tuyaux dans la parcelle élémentaire

II- Discussion

À travers les résultats obtenues au cours de notre expérimentation qui a été menée en plein champs sur le comportement de trois variétés de *Chenopodium quinoa* (Q101, Q102 et Q103) et étudiée à travers certains paramètres agronomiques et physiologiques, il ressort que :

Le site expérimental est caractérisé par les données pédologiques et climatiques suivants :

- Sol salin à texture sableuse, à pH alcalin avec une forte conductivité électrique (6,675dS/m). Le pH d'eau est basique ($7.8 < \text{pH}_{\text{eau}} < 7.9$).
- Les données climatiques de la région d'étude, la température minimale et maximale résumées dans le tableau 6 et avec les données bibliographiques. On peut dire que la plante de quinoa s'est trouvée dans des conditions favorables pour son développement notamment durant les stades phénologiques critiques. Les températures étaient favorables pour son développement, en effet, la plante de quinoa s'adapte aux températures de -8 et +38°C.

Ces conditions environnementales (qualités d'eau et sol, conditions météorologiques) ont une influence sur les paramètres morphologiques (hauteur, surface foliaire, forme de feuille) et physiologiques (teneur en eau, chlorophylle) et de rendement (PMG, poids de panicule) de quinoa.

Les résultats obtenus montrent que la germination des grains est immédiate et totale pour les trois variétés étudiées. La variété Q102 a enregistré un taux de germination le plus élevé, plusieurs auteurs ont également rapporté des résultats semblables (Rjeibi et Kahlaoui, 2015 ; Djedei et Merabet, 2019).

La différence du nombre de plants levés entre les variétés peut être expliquée par le comportement variétal et les conditions agro-écologiques, selon (Prommark, 2014) le taux de levée est une caractéristique variétale. Cet auteur a indiqué dans ses travaux menés sur trois variétés de quinoa, un taux de levée le plus élevé de 59,8% et le plus faible 3,5%. La densité des plants levés est fonction du nombre de grains et de la survie des plantes (Buckman, 1990).

Le nombre de plants levés et le taux de levée obtenus montrent une différence entre les trois variétés Q102, Q103 et Q104. Le taux de levée varie entre 62,8% à 73,2%, c'est la variété Q102 qui a enregistré un taux de levée important (73,2%) par rapport aux deux autres variétés. Nos résultats sont proches de ceux de (Touati, 2018) qui a obtenu un taux de levée de 85% chez la même variété dans un essai mené en plein champ sous palmiers.

Plusieurs auteurs ont mentionné des différences dans tous les stades de développement du quinoa (Risi et al., 1989). Selon Laing et al. (2016), Daws et al. (2017), Kellogg et Murphy (2017) la somme de jours pour le cycle de

développement du quinoa est de 90 à 150 jours selon les variétés. De même, dans différents travaux menés dans différentes zones écologiques ont notés aussi des variations dans la durée du cycle, en effet, pour Touati, (2018) ; qui a travaillé sur cinq variétés de quinoa à Ouargla, la durée du cycle végétatif varie entre 140 à 158 jours. Hadj Hammou, (2019) d'Adrar note un intervalle de 122 à 145 jours.

D'autre part, Vidal et *al.*,(2013) a travaillé sur les variétés Q102 ; Q103 et Q104 et a indiqué des intervalles de 160 à 170 jours (Q102) et de 160 à 180 pour les variétés Q103 et Q104. Nos résultats sont proches de ceux de Vidal et *al.*, 2013 pour la variété Q102 (165 jours), mais non identique pour les autres variétés Q103 et Q104, pour qui on a obtenu 123 et 137 jours respectivement.

La précocité est un facteur important pour le choix des variétés selon les conditions agro-écologiques. D'après Kabalane et Beridi (2015), la durée de cycle végétatif de quinoa est de 100 à 120 jours est pour les variétés précoces, 150 à 160 jours pour les variétés semi- précoces et 180 à 200 jours pour les variétés tardives. Pour nos variétés, on peut classer la variété Q103 comme une variété précoce, et les deux autres variétés Q104 et Q102 comme des variétés semi-précoces.

Pour les caractères morphologiques ; la hauteur des tiges des plantes est un paramètre important qui permet d'identifier les variétés étudiées. Ben Lhabib (2005), Vidal et *al.*, 2013, indiquent que la plante de quinoa pousse jusqu'à une hauteur de 1 à 1.5 m. Dans notre travail, les hauteurs enregistrées sont plus faibles, en effet, l'analyse statistique a montré des différences très hautement significatives entre les variétés; la variété Q102 a montré la longueur la plus élevée (71.70 cm) par rapport aux deux variétés Q103 (44.07 cm) et Q104 (25.55 cm). Ce caractère permet une bonne fixation des plantes dans sol et afin de résister aux facteurs abiotiques (le vent). Nos résultats ne sont pas similaires de ceux de Touati (2018) qui a noté une hauteur de 119,16 cm pour la Q102 mais sont semblables de ceux de Djedei et Merabet (2019) qui ont indiqué une longueur de 72.5 cm pour la même variété.

Bazile (2015) rapporte que le caractère variétal et les conditions du milieu de culture influent énormément sur la hauteur de la plante chez le quinoa. En parallèle, la hauteur de la tige est une composante de rendement. Spehar et Santos (2005) ont signalé une corrélation positive entre la hauteur des plants et le rendement en graines.

Le diamètre de tige est un caractère variétal selon (Vidal et *al.*,2013). Cet auteur a indiqué que le diamètre de tige de la variété Q102 est environ 13 mm à 17 mm ; celui de la variété Q103 varie entre 15 mm à 17,5 mm et enfin celui de la variété Q104, le diamètre est environ de 11mm à 12 mm. Mais nos résultats sont montrés des diamètres très faibles qui sont de 2,68 mm, 1.58 mm et 2.83 mm respectivement pour les variétés Q102 ; Q103 et Q104.

Nous pouvons expliquer cette faible croissance par le comportement des variétés testées au milieu agro-écologique, il est probable que les quantités d'eau

apportée que sont pas suffisantes. La réduction de la croissance est également une capacité adaptative nécessaire à la survie de la plante.

Le poids des panicules est un indice très important dans l'estimation de rendement. L'étude statistique de ce paramètre a montré qu'il y a des différences hautement significatives entre les trois variétés, c'est également la variété Q102 qui a enregistré le grand poids par moyenne qui est de 14.785 g. Nos résultats restent très faibles à ceux de (Touati, 2018).

Au niveau de feuilles, il y'a un relation complémentaire entre la surface foliaire et la teneur de chlorophylle qui peut être considérée comme un indicateur clé de l'état physiologique de la plante (Steele et *al.*, 2008). L'étude statistique montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les trois variétés. La surface foliaire la plus élevée est obtenue pour la variété Q103 avec 47.08 cm², suivie par la variété Q104 et la Q102. Nos résultats sont proches de ceux de (Rejeibi et Khahlaoui, 2015 et Djedei et Merabet, 2019). Cette diminution contribue à réduire les pertes en eau transpirée et probablement aussi c'est une stratégie adoptée par le quinoa pour réaliser l'ajustement osmotique. En effet, si la zone racinaire ne perçoit pas la quantité d'eau nécessaire, les plantes réagissent par en abaissant le potentiel hydrique des feuilles.

La diminution de la teneur en eau au niveau des feuilles résulte de la réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique, cette action est un moyen d'adaptation des plantes aux facteurs défavorables du milieu (Djekoun et Planchon, 1992). Dans notre cas, les résultats obtenus vont dans le même sens, ainsi chez les trois variétés, la teneur en eau est de l'ordre de 84%. Il semble que ces variétés de quinoa soient dotées de mécanismes physiologiques pour résister au stress hydrique

La chlorophylle est parmi les indices qui indiquent l'état sanitaire global de la plantes en général et spécifiquement de la photosynthèse. Le pourcentage de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par plusieurs facteurs tels que la position des feuilles, l'âge des feuilles et les facteurs environnementaux tels que la température, la lumière et la disponibilité en eau (Hikosaka et *al.*, 2006). Nous avons enregistré dans notre essai une différence non significative des teneurs en chlorophylle(a), (b) et totale chez les trois variétés Q102, Q103 et Q104 ; nos résultats sont plus élevés à ceux obtenus par Bhargava (2007) sur le quinoa du Nord-indien et qui a trouvé une moyenne de 1,43 mg/g MF et à ceux de Triki et *al.*, 2016 qui ont enregistré des valeurs de 1,29 et de 1,62 mg/g MF.

D'autre part, nos résultats sont proche de ceux obtenue chez l'orge qui indique une moyenne est égale à 2.26 mg/g (Khalaf et Bazaid, 2013). L'orge est une céréale très utilisé dans le monde en générale et en Algérie en particulier, pour cela on a essayé de le comparer avec le quinoa.

La teneur en caroténoïdes des feuilles du quinoa est nettement plus élevée que la plupart des céréales communes (Ndolo et Beta, 2013). Nous avons enregistré une différence non significative entre les variétés ; le plus teneur a été dans la variété

Q102 par moyenne de 1.568 mg/g et pour les deux variétés Q104 et Q103 le teneur de caroténoïde est 1.473 mg/g et 1.255 mg/g successivement, cette différence montre que la variété Q102 absorbe plus l'énergie lumineuse pour la convertir en énergie chimique. Ce résultat concorde avec ceux de Triki et *al.*, 2016 ; de Hemmami et Ben Ali (2018) et de Djedei et Merabet (2019). La moyenne de caroténoïde chez les feuilles est 484.09 mg/kg alors que chez les graines est 2.83 mg/kg.

Pour les paramètres agronomique, au niveau de grains, plusieurs facteurs influent sur PMG : le manque d'eau après la floraison, accompagné des températures élevées, entraînent une diminution remarquable au de PMG par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (Triboï, 1990), provoquant aussi l'échaudage (Benbelkacem et Kellou, 2001), ce qui induit une diminution directe du rendement. L'étude statistique a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois variétés, néanmoins le PMG le plus élevé est obtenue pour la variété Q102 (3.94 g) par rapport aux autres variétés Q103 (2.80 g) et Q 104 (2.71g) ; les grains supérieurs à 3.0g sont considéré comme de gros grains (Spehar et *al.*, 2011) et ils sont aussi les plus demandés sur le marché (FAO, 2013). Les résultats obtenues pour Q102 contredit ceux de Djili et Amari (2019) qui ont rapporté un PMG le plus faible. Ceci s'explique par le faite que cette variété étant tardive et aussi probablement dû aux meilleurs paramètres de la croissance végétative de cette variété. La recherche de rendement élevé doit passer par la recherche de variétés à forte capacité photosynthétiques. Le manque d'eau réduit la croissance végétative du quinoa ainsi que son rendement.

La différence de PMG obtenue avant le semis et après la récolte peut s'expliquer par l'influence directe des conditions de milieu (facteurs biotiques et abiotiques).

Durant le développement de la culture, les insectes et les ravageurs ont endommagées la culture ; les dégâts causés:

- Présence des chiens qui ont endommagé la culture de quinoa par la cassure et la blessure de tige de quinoa, donc perte de rendement.
- Les moineaux qui attaquent les panicules pour s'alimenter des graines, ce qui peut expliquer les faibles rendements obtenus. .

Conclusion

Au terme de notre étude nous sommes intéressés dans le présent travail à la contribution du comportement variétale d'une espèce appartenant à la famille des halophytes : les Amaranthaceae. L'effet de condition agro-écologique à la région de Ouargla sur l'espèce *Chenopodium quinoa* willd, qui consiste à étudier le comportement variétale de trois variétés de quinoa Q102 ; Q103 et Q104 (*Amarilla sacaca*; *Blanca de Junin* et *Kancolla*) respectivement.

Les résultats présentés dans ce travail font référence à une année d'essais sur le terrain et, par conséquent, les conclusions présentées ne sont pas définitives.

Notre travail s'est ainsi basé sur une étude comparative de certains paramètres de précocité, de croissance (hauteur de la tige, diamètre de tige, surface foliaire, caractères morphologiques de feuilles et de panicules) ; de rendement (poids de panicule principale ; poids de mille grains) de trois variétés de quinoa ; et en second lieu, les mesures de quelques paramètres physiologiques : teneur en eau et dosage de chlorophylle au niveau des feuilles.

Les résultats montrent que le climat, en particulier les températures élevées et la photopériode (heures d'éclairage plus longues) en phase de floraison ont favorisé probablement la prolongation de cette phase et par conséquent la non-production de graines.

L'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés par variétés permet de ressortir les conclusions suivantes.

La variété *Amarilla sacaca* (Q102) semble présenter des bons résultats dans la majorité des paramètres, résumés comme suit :

- Un taux de germination et taux de levée intéressant (100% et 73.2%).
- La hauteur de tige la plus élevée.
- Le diamètre de la tige le plus élevée
- Meilleur poids de mille grains de variété Q102,
- Teneur en chlorophylles le plus élevée,
- possède des feuilles triangulaires en couleur vert et des panicules intermédiaires.

Concernant la variété *Blanca de Junin* (Q103):

- Cycle végétatif le plus précoce.
- Grande surface foliaire par rapport aux deux autres variétés.
- La teneur en eau la plus élevée.
- Panicules de type glomériforme

Conclusion

Enfin la variété *Kancolla* (Q104) est caractérisée par :

- Variété semi-tardive
- Nombre des panicules secondaire le plus élevés.
- Feuilles triangulaires de couleur rouge-vert,
- Panicules en forme glomérule.
- Des faibles résultats par rapport les deux autres variétés, on peut citer : le poids de plante le plus faible ; le poids de mille grains le plus faible ; le poids de panicule principale le plus faible et le moins de hauteur de tige.
- On peut conclure qu'elle moins adapté à la condition de milieu.

Pour le choix de la meilleur variété à cultiver sous nos conditions édapho-climatiques, nous proposons la variété *Blanca de Junin* (Q103) en premier choix qui a enregistré un temps précoce de 123 jours suivie par la variété *Amarilla Sacaca* (Q102) en deuxième choix qui a montré une durée de cycle 175 jours. Mais au niveau de rendement, la variété Q102 est enregistré la grande valeur de PMG avec 3.94g ; donc du point de vue production c'est la meilleure variété.

Finalement, nos résultats préliminaires amènes à identifier le quinoa comme une plante résistante aux contions environnementaux très défavorables.

Pour arriver à réaliser le rendement souhaité il faut choisir des graines à haute faculté germinative et bien respecter la conduite culturale de la plante surtout la date de semis et bien gérer l'irrigation.

L'introduction de la culture du quinoa en Algérie pourrait ouvrir ainsi des perspectives de développement et de hausse de niveau de la sécurité alimentaire.

Perspectives

Il serait souhaitable de :

- Poursuivre et d'approfondir les travaux sur le quinoa qui semble tolérer les facteurs environnementaux très défavorables ?
- Etudier le comportement de quinoa en sols salées des bordures de sebkhas.
- Evaluer la gestion de l'irrigation du quinoa selon les différentes conditions pédo-climatique par d'autres essais en plein champs.
- Prendre en considération le climat pour l'élaboration et l'adaptation du calendrier d'irrigation
- D'introduite cette nouvelle culture à l'exploitation agricoles à travers des nouveaux recherches qui permet d'aller plus lois (étudier leur comportement anatomique et génétique vis-à-vis les conditions agressifs de milieu)

Nous souhaitons que ce travail soit poursuivi par d'autres travaux en vue de mieux préciser les résultats et d'approfondir davantage la problématique en question, dont les retombées seront positives pour le développement agricole de milieu saharienne.

Références bibliographiques

1. **A.N.D.I., 2013.** Wilaya d'Ouargla. Edition Agence Nationales de Développement d'investissement, Ouargla, 19 p.
2. **Azib S., 2010.** Gestion des périmètres agricoles au niveau de la zone de mise en valeurs de Hassi Ben Addallah, Magister Ecologie Saharienne et Environnement, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 31-114p.
3. **Bajji M, Lutts S et Kinet J.M., 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Cultivars performing differently in arid conditions. Plant Sci. Vol 160, 2001, 669 -681.
4. **Bazile D., 2015.** Le Quinoa: Les Enjeux d'une Conquête. Paris: Éditions Quæ, 112 p.
5. **Benhabib O., 2005.** Les cultures alternatives: Quinoa, Amarante et épeautre. Bulletin du PNTA n133, Octobre 2005.
6. **Bertero, H.D King, R.W., Hall, A.J.,1999.** Modelling photoperiod and temperature reponses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*a.Field crops research),63 :19-34P.
7. **Berthomeiu P., Conéjéro G., Benrebiha F.Z et Rey P.,2012.** Differential responses to salinity of two *Atriplexhalimus* population in relation to organic solutes and antioxidant systems involving thiolreductases.J. Plant Journal.(22) N° 2004-2014.
8. **Bhargava A, Shukla S, Ohri D.,2006.** *Chenopodium quinoa*aan Indian perspective. Industrial
9. **Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P.,Raffailac J.P., Rocheteau A.,2006.**Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. Eur, J, Agron.,25, 299-308p.
10. **Boutelli H.,2012.** Salinité des eaux et des sols au niveau de la sebkha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement.
11. **Breckle S.W.,2002.** Salinity, halophytes and Salt affected natural ecosystems. *In* Salinity: environments- Plants- Molecules, Ed A.L.U. Luttge .pp 53-77- Kluwer Academic Publishers.

Références bibliographiques

12. **Buckman.,1990.** Agriculture et fertilisation. Ed. Norsk hydro a.s. 258p.
13. **Carmen D. C.,2008.** Diversité génétique et réponse aux contraintes du climat. Une étude de cas à partir de la biologie des populations Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivie, Doctoral thesis, Faculty of Agricultural sciences in Gembloux.
14. **Canahua A. et ReaJ.,1979.** Quinoa resistentes a heladas .In :II Congreso International
15. **CARDENAS, M., 1944.** Plantas alimenticias nativas de los Andes. II. Cereales y otras semillas. Folia, Universidad de Cochabamba, 3:102-119. Bolivia.
16. **Chalandre M.C.,2000.** Sous-classe des Caryophyllidées. Éléments de Botanique. Biologie et recherche. 15 p.
17. **Chedly A., Münir Ö., Muhammad A. GrignonC.,2008.** Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance, BirkhäuserVerlagAG. Berlin. Germany.
18. **Cusack D., 1984.** Quinoa: grain of the Incas. *Ecologist* 14:21–31 Del Castillo C.,Winkel T., Mahy G., Bizoux JP. (2007) Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genet Res Crop E* vol 54:897–905p.
19. **Dajic Z., 2006.** Salt Stress *in* physiology and Molecular biology of stress tolerance in plants, Ed.S. Netherlands, pp 41-99.
20. **Dakiche A., 2001.** Connaître bien la ressource pour mieux la gérer et mieux la protéger, Stratégie de lutte contre la désertification Cas du barrage vert en Algérie ; ANRH Oran 27p.
21. **Del Castillo C., MahyG.,2008.** La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable".BASE.
22. **Dini I., Tenore G.C., Dini A.,2004.** Phenolic constituents of Kancolla seeds. *Food Chemistry*, 84: 163-168p.
23. **Djedei S. et Merabet R., 2019.** Etude comparative des quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la région d'Oued Righ "Djamaa" Master académique Biodiversité et Physiologie végétale, Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 67p.
24. **Djekoun A, Planchon C., 1992.** Stomacal conductance photosynthesis and acetylene reduction rate in Soybean genotypes, *Can J Plant sci*, Vol 72, 1992, 383-390p.

Références bibliographiques

25. **Djerroudi O.,2017.** Caractérisation morpho- physiologique d'une halophyte, atriplex, aux conditions arides. Doctorat en sciences biologiques. Université Ahmed Ben Bella, Oran, 80p.
26. **Djili A.,Ammari I.,2019.** Aptitude de développement de quelque variétés de quinoa(Chenopodium quinoa Willd.) sous les conditions arides (cas de Ouargla),Master gestions des agrosystèmes, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 95p.
27. **Dubief J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Service des études scientifiques, Alger,457p.
28. **Daws. M. Y. et Al Moallem. A. 2017.** Productivity evaluation of three introduced quinoa varieties under central highlands conditions in Yemen. Ed; Syrian journal of agricultural research. Damascus. Syria. Pp 102-113
29. **Edward Glenn P.,Jed Brown Salt J., 1999.** Tolerance and Crop Potential of Halophytes, CRC Press LLC, Critical Reviews in Plant Sciences, vol. 18, no. 2, pp. 227–255.
30. **FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016** FAOSTAT Database, FAO. 1 December 2016; (www.fao.org/faostat).
31. **FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),1998.** Under-utilized Andean food crops. Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.
32. **FAO (Food and Agriculture Organization),2013 .**Quinoa année Internationale,
33. **Flowers T.J., Colmer T.D., 2008.** Salinity tolerance in halophytes, New Phytologist 179, 945–963.
34. **Flowers TJ.,Hajibagheri MA., Clipson NJW., 1986.** Halophytes: The Quarterly Review of Biology 61, 313–337. doi:10.1086/415032.
35. **Flowers Tj.,Troke Pf.. Yeo Ar.,1977.** The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Review of Plant Physiology 28, 89–121. doi:10.1146/annurev.pp.28.060177.000513
36. **Galwey NW.,1992.** The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversi fication: a review. Ind Crop Prod 1(2–4):101–106.
37. **Galwey N.W.,1993.**The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification: a review. Industrial Crops and Products 1: 101-106.
38. **Gandarilias, H., 1968.**Caracteresbotânicosmâs importantes para la clasificaciôn de la quinua. In : Anales de la Primera Convenciôn de Quenopodiaceas quinua –

Références bibliographiques

- canahua. Universidad Nacional Técnica del Altiplano (Ed). Puno, Peru. pp. 41-49.
39. **Gandarillas H., 1979** La quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Genética y origen. In: La Quinoa y la Kañiwa cultivos andinos. Tapia, M.E., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A. (Eds.). CIID-IICA. Bogota, Colombia. pp 45-64.
40. **Gandarillas H., 1968**. Razas de quinua. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. Boletín Experimental N° 4, La Paz, Bolivia, p. 53.
41. **Gandarillas H., 1979**. La quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Botánica. In: Tapia M.E. et al., eds. La Quinoa y la Kañiwa cultivos andinos. Bogota: CIID-IICA, 20-44p.
42. **Gandarillas H., 1979**. La Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Botánica. In: La Quinoa y la Kañiwa, cultivos andinos.
43. **Gandarillas H., 1984**. Obtención experimental de Chenopodium quinoa Willd. La Paz: Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria.
44. **Garza Aguirre R.A., Hernandez Pinero JL, Rocha Estrada A., Forough bakhch Pournavab R., Mereno Limon.S., 2015**. Microanalysis of leaves of Atriplex canescens (Pursh) Nutt. Under saline conditions. Int. Jour. Farm and Alli. Sci. Nol., 4(1) : 26-31p.
45. **Hadj Hammou B., 2019** Etude de comportement agronomique de quelques variétés de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) dans la région d'Adrar; zone de t'sabit, Master académique Systèmes de Production Agro-écologiques, Université Ahmed Draïa Adrar, 72p.
46. **Hamnache H., 2017**. Durabilité de la culture de pomme de terre à Ouargla, Master académique Ecologie Végétale et environnement, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 87p
47. **Heller R. et Esnault R., et Lance C., 1998**- L'eau dans la plante. In : physiologie végétale Dunod, 1, 315p.
48. **Herbillon M., 2015**. Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques, Thèse, D, pharm. Rouen, 125 p
49. **Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O., Onoda Y., 2006**. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. J. Exp. Bot. 57: 291-302 p.

Références bibliographiques

50. **Ismail B., 2016.** Dynamique spatiotemporelle de la salinité se sol sableux irrigués en milieu aride, application à une palmeraie de cuvette de Ouargla en Algérie, Doctorat en sciences Agronomique, université Kasdi Merbah Ouargla,
51. **ITDAS de Ouargla, 2018.** La culture de quinoa dans la région de Ouargla. Ferme de production des semences Institut Technique de Développement d'agriculture Saharienne Ouargla, 81-83p.
52. **ITDAS de Ouargla, 2019.** La culture de quinoa dans la région de Ouargla. Ferme de production des semences Institut Technique de Développement d'agriculture Saharienne Ouargla.
53. **Jacobsen S., Quispe H., Christiansen J., Mujica A.,2000.** What are the mechanisms responsible for salt tolerance in quinoa (Chenopodium quinoa willd.)? Paper presented at the Crop Development for the Cool and Wet Regions of Europe: achievements and Future Prospects, Crop development for the cool and wet regions of Europe: achievements and future prospects: COST Action 814: proceedings, Pordenone, 2000.
54. **Jacobsen S.E., 1998.** Developmental stability of quinoa under European conditions. *Ind. Crops Prod.*, 7, 169-174p.
55. **Jacobsen S.E., Stølen O.,1993.** Quinoa morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe." *European Journal of Agronomy* 2(1): 19-29p.
56. **Jacobsen SE., Monteros C., Christiansen JL., Bravo LA.,Corcuera LJ, Mujica A.,2005.**Plant responses of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to frost at various phenological stages. *Eur J Agron* 22:131–139p.<http://www.fao.org/quinoa-2013/faqs/fr>
57. **Khalaf A.F. et Bazaid S.A.,2013.** Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.*
58. **Karima K., Louhichi B., 2012.** Réponse Physiologique au Stress Hydrique de Variétés de Blé Tendre (Triticum Aestivum L.) Cultivées en Algérie
59. **Kemassi A., 2019.**Caractérisation physico-chimique et biochimique des graines de (Chenopodium quinoa Willd) cultivées dans la région d’Ouargla, Université Kasdi Merbah– OUARGLA, 53p.

Références bibliographiques

60. **Laguna P.,2002.** Competitividad, externalidades e intemalidades: unretopara les organizacioneseconomicascampesinas. DebateAgrario, Analysis y Altemativas.Lima,Pérou. 34:95-169p.
61. **Lescano, J.L. 1994.** Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos. Convenio INADE/PELT-COTESU. Producciones CIMA. La Paz, Bolivia.
62. **Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P, Fourcroy P. Et Francine C. D., 1995** - Les plantes face au stress salin. Cahiers agricultures, 4:263-73p.
63. **Levitt J., 1980.** Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt, and other stresses. Academic Press, New York, 365-488p.
64. **Lim S, Kawak J., Kim M., Lee D.,2013.** Separation of a functional deubiquitylating module from the SAGA complex by the proteasome regulatory particle. *Nat Commun* 4:2641
65. **MADRPM,2005** . Ministère de l’Agriculture, du Développement Rural et des pêches Maritimes, fiche technique sur les cultures alternatives : Quinoa, amaranthe et épeautre.
66. **Mokded R, Ons T, Abdallah A, Chedly A., AbderrazakS.,2008.** Selection of a halophyte that could be used in the bioreclamation of salt-affected soils in arid and semi-arid regions,” Chapter in Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. Birkhäuser Verlag AG. Berlin. Germany, 241-246p.
67. **Mujica A., 2001.** Quinoa (Chenopodium quinoa willd). Lima: CIP-DANIDA, pop:25-38p.
68. **Mujica A., Canahua A., 1989.** Fases fenológicas de cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd). In: Curso Taller, Fenología de cultivos andinosyuso de la informaciónagrom et eorológica. Salcedo, 7-10 agosto, INIAA, EEZA-ILLPA, PICA, PISA.Puno, Perú., 23-27 p.
69. **Mujica A., Izquierdo J., Marathee J.P., 2001.**Origen y descripción de la quinua. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) :ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.
70. **Mulas, M.,2004.** Potentialité d’utilisation stratégique des plantes des genres Atriplex et Opuntia dans la lutte contre la désertification. Short and Medium, Term Priority Environmental Action Programme (SMAP) Février, 91p.

Références bibliographiques

71. **Murphy K.,2017.** A quiet harvest: Linkage between ritual, seed selection and the historical use of the fiber bladed knife as a traditional plant breeding tool in ifugao, Philippines. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 13:3.
72. **Munns R., Tester M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance *Annu Rev Plant Biol* 59(1): 651–68p.
73. **Ndolo. V.U., Beta T. (2013).** Distribution of carotenoids in endosperm, germ, and aleurone fractions of cereal grain kernels *Food Chem.*, 139(1-4), 663-671p.
74. **O.N.M.,2019.** Les données météorologiques de la région de Ouargla. Office National Météorologie. Ouargla.
75. **Oucif Bedida Z.,Zouari ahmed F., 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 Biodiversité et physiologie végétale, 61p.
76. **Pacheco A, Morlon P., 1978.** Los sistemas radicales de las plantas de interés económico en el Altiplano de Puno: un estudio preliminar. Puno, Perú. 20 p.
77. **Paul B., 1978.** Aspects physiologique de l'halophilie et de la résistance aux sels, 286 p.
78. **Poilecot P., 2007.** État du monde, désertification; BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES, N° 293 (3) ,17p.
79. **Prommarak S., 2014.** Response of Quinoa to Emergence Test and Row Spacing in Chiang Mai -Lumphun valley Lowland Area. *KhonKaen Agri. J.* 42. Sppl .2: 8-14p.
80. **Rea, J., 1969.** Morfologia de la quinua. In: Observaciones sobre la biología floral y estudios de saponinas en Chenopodium quinoa Willd. Ministerio de Agricultura. Departamento de Experimentación. Serie Técnica N° 3. La Paz, Bolivia. pp. 15-17p.
81. **Risi, C. and N. Galwey (1989).** *Chenopodium* grains of the Andes: a crop for temperate latitudes. *New crops for food and industry*/edited by GE Wickens, N. Haq, P. Day.
82. **Rojas, W., 1998.** Análisis de la diversidad genética del germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de Bolivia, mediante métodos multivariados. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 209p.

Références bibliographiques

83. **Rosas, M.R. (1989)** El genero *Atriplex* (*Chenopodiaceae*) en Chile. *Gayana Bot.* Vol. 46, n° 1- 2, pp. 3-82.
84. **Rouillois-brigol M., 1975.** Le pays d'Ouargla (Sahara algérien : Variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Publications du Département de géographie de l'Université de Paris-Sorbonne, 389 p.
85. **Ruas PM, Bonifacio A, Ruas CF, Fairbanks DJ, Anderson WR (1999)** Genetic relationships among 19 accessions of six species of *Chenopodium L.* by random amplified polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica* 105:25–32.
86. **Sairam R.K and Tyagi A., 2004,** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants, *Curr.Sci.* 86 : 407–421.
87. **Tapia M.E., 2000.** Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): ancestral cultivo andino, alimento del presente y future.
88. **Tapia M.E., 2000.** Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathe, J. P. et FAO (eds). CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
89. **Tapia, M. E., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A. et Mujica, A. (eds).** CIID-IICA. Bogota, Colombia. 20-44 p.
90. **Touati I., 2018.** Etude de potentiel de croissance et de production de plusieurs variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) sous les conditions arides de sud de l'Algérie (Cas de Ouargla).
91. **TOUTAIN G., 1979.** Élément d'écologie saharienne de la recherche au développement. INRA. 138p.
92. **Triboï, E., 1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 : 191-200p.
93. **U.S.-E.P.A. (2002).** Saponins of *Chenopodium quinoa* (097094) Fact sheet. Regulating Pesticides.
94. **Uphof J.C.T., 1941-** Halophytes. *Bot. Rev.*, 7(1), 1-58p.
95. **Verslues I.A., Agarwal M., Katiyar Agarwal S., Zhu J.H., Zhu J.K., 2006.** Methods and concept quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J* 523-539.
96. **Vidal, Apaza (INIA), Gladys Cáceres (INIA), 2015 Rigoberto Estrada (INIA), Rember Woldemichael, G. and Wink, M.,** Identification and biological activities

Références bibliographiques

- of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *J. Agric. Food Chem.* 49, 2327–2332.
97. **Vidal, T., T.G. Crainic, M. Gendreau, C. Prins. 2013b.** A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows. Tech. Rep. 61, CIRRELT.
98. **Winkel, S., 2002,** Biosynthesis of flavonoids and effects of stress Brenda, Department of Biology, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia 24061-0406, 1369-5266/02/\$ — see front matter; *Current Opinion in Plant Biology* 2002, 5:218–223

Annexes



Annexe 1 : Racine de quinoa (Vadersatad.com)



Annexe 2: Fleur du quinoa (rosatubes.centerblog.net)



Annexe 3: Graines de quinoa (agrihebdo.ch)

Annexes



Annexe 4: Quelques variétés de quinoa (gastronomiac .com)



Annexe 5: Attaque de puceron sur la feuille du quinoa

Annexe 6.: Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100g (Souci, Fachmann et kraut, 2008)

Apport énergétique	
Joules	1415 KJ
Calories	334 kcals
Principaux composants	
Protides	14.8 g
Lipides	5.04 g
Saturés	505.7 mg
Oméga-3	200 mg
Oméga-6	2430 mg
Oméga-9	1300 mg
Eau	12.7 g
Glucides	58.5 g
Fibres alimentaires	6.64 g
Cendres totales	3.33 g
Macro et microéléments (oligoéléments)	
Fer	8.0 g
Magnésium	2.8mg
Phosphore	328 mg
Potassium	804 mg
Sodium	9.6 mg
Zinc	505 mg

Annexes

Bore	0.800 mg
Calcium	80 mg
Chlore	105 mg
Cobalt	0.0031 mg
Cuivre	1.787 mg
Vitamines	
Vitamine B1	0.170 mg
Vitamine B3 (ou PP)	0.450 mg
Vitamine E	4.0 mg

Annexe 7 : Groupes homogènes pour le paramètre hauteur des plants.

Modalité	Moyenne	Groupes
Q102	71,700	A
Q103	44,067	B
Q104	25,550	C

Annexe 8: Groupes homogènes de paramètre de poids de plante

Modalité	Moyenne	Groupes
Q102	21,595	A
Q103	5,062	B
Q104	3,289	B

Annexe 9 : Groupes homogènes de paramètre de poids de panicule principale

Modalité	Moyenne	Groupes
Q102	14,785	A
Q103	3,199	B
Q104	1,970	B

Annexe 10 : Groupes homogènes du paramètre de poids de mille grains (g)

Modalité	Moyenne	Groupes
Q102	3,943	A
Q103	2,808	B
Q104	2,710	B

Annexe 11 : Analyse de variance le paramètre de chlorophylle a, b et totale.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Signification
Modèle chl a	2	0,310	0,155	0,150	0,864	A.S
Modèle chl b	2	1,217	0,609	2,138	0,199	A.S
Modèle chl	2	2,490	1,245	0,864	0,468	A.S

Annexes

totale

A.S : aucune signification

Résumé : Contribution à la caractérisation morpho-physiologique et agronomique de trois variétés/ population de quinoa dans les conditions arides (Cas de Ouargla).

Ce travail est consacré à la contribution de la caractérisation morphologique de trois variétés/ population de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans les conditions arides (Cas de Ouargla) qui sont *Amarilla sacaca* (Q102) ; *Blanca de junin* (Q103) et *Kancolla* (Q104) ; par l'évaluation du comportement morphologique, physiologique et agronomique de ces variétés. Cette étude est réalisée hors palmier au niveau de l'exploitation agricole de l'université de Ouargla ; ainsi, le dispositif expérimental choisi est de type bloc aléatoire avec quatre répétition.

Les résultats obtenus montrent une variabilité dans les résultats obtenus et dans le comportement des trois variétés. Au niveau des paramètres agronomiques, la variété Q102 a enregistré un poids de mille grains le plus élevé. Pour le paramètre de croissance, la variété Q103 est considérée comme une variété précoce.

Enfin, les variétés testées ont répondu aux conditions édapho-climatiques de milieu aride saharien.

Mots clés : quinoa, morphologique, condition aride, Ouargla.

Summary: contribution to the morpho-physiological and agronomic characterization of three varieties/population of quinoa in arid conditions (case of Ouargla).

This research is devoted to the contribution of the morphological characterization of three varieties/ population of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in arid conditions (case of Ouargla) which are *Amarillasacaca* Q102 ; *Blanca de junin* Q103 and *Kancolla* Q104, by evaluating the morphological, physiological and agronomic behavior of these varieties. This work is carried out outside the palmer at the farm level of the experimental device chosen is random block type with four repetitions.

The results obtained show that at the agronomic parameter, the variety *amarillasacaca* Q102 recorded a high weight of thousand grains, variety Q103 considered as precece variety.

Finally, the varieties tested responded to the climatic edaphic conditions of the arid Saharan environment.

Key word: quinoa, , morphologic, condition arid, Ouargla.

ملخص : مساهمة الخصائص المرفو- فيزيولوجية و الزراعية لثلاثة انواع من الكينوا في الظروف الجافة (منطقة ورقلة).

هذا العمل مكرس لمعرفة الخصائص المرفولوجية لثلاث أصناف الكينوا (*chenopodium quinoa* Willd.) تحت الظروف الجافة (منطقة ورقلة). وهم *amarilla sacaca* Q102 ; *Blanca de junin* Q103 و *Kanacolla* Q104. مع تقييم السلوك المرفولوجي و الفيزيولوجي و الزراعي لهذه الانواع.

ثم هذا العمل خارج النخيل على مستوى جامعة قاصدي مرباح ورقلة وكان الجهاز التجريبي المختار من نوع عشوائي مع أربعة تكرارات النتائج المتحصل عليها للدراسة الزراعية توضح ان Q 102 سجلت اكبر وزن 1000 بذرة و ان الصنف Q103 كنوع مبكر.

وأخيرا الأنواع المختبرة أظهرت استجابة للظروف المناخية للبيئة الصحراوية الجافة

الكلمات المفتاحية : كينوا، فيزيو-مرفولوجي، الظروف الجافة، ورقلة.