



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

MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie
Sciences Agronomiques
Hydro-pédologie

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Mm. Benkaddour Ikram-Errahmane

Le : mercredi 23 septembre 2020

Utilisation d'un Bac d'évaporation de classe (A) pour l'estimation des besoins en eau d'une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) sous serre

Jury :

M	BOUKHIL K	MAA	Université de Biskra	Président
Mme	KESSAI A	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme	HIOUANI F	MCB	Université de biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Remerciement

*Avant toute chose, nous remercions « Allah », pour nos avoir donné la force,
la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.*

*Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un devoir agréable
d'exprimer en quelques lignes notre reconnaissance que je dois à tous
ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.*

*Au terme de cette étude, mes reconnaissances respectueuses vont
d'abord KESSAI ABLA, pour avoir accepté de m'encadrer ainsi que pour
ses précieux conseils et orientations, sa disponibilité, sa gentillesse, sa
modestie et pour l'intérêt bienveillant manifesté pour mon travail.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements aux membres du jury qui ont
accepté d'évaluer ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier le Directeur et tout le personnel de l'ITDAS
Ain Benoui Biskra.*

Je remercie également Dr SALIM TAIBE ; Mr SAMIR MERDASSI.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, je dis merci.

IKRAM

ERRAHMANE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la
flamme de mon*

Cœur, ma vie, et mon bonheur ; MAMAN.

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien
moral et*

Source de joie, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir

Réussir, mon père

A ceux qui m'ont soutenu, encouragé

Moralement et toujours à mes cotés :

Ma sœur : SANA

Mes frère : Abader-elghifari , Ala eddine

Aux tous la famille BENKADDOUR

*Ames chère amies : Khawla ; Khadidja ; Nawel ; Hakima ;
Nessrine ; Mariem.*

Je dédie également Ahmed Daoued et Faysal Ghogmar

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

IKRAM

ERRAHMANE

LISTE DES ABREVIATION

%	Pour cent
CE	Conductivité Electrique.
Cm	Centimètre.
ET°	Evapotranspiration Potentielle de Référence
ETM	Evapotranspiration Maximale.
ETP	L'évapotranspiration potentielle
ETPs	Evapotranspiration potentielle sous serres
ETR	L'évapotranspiration Réelle
ETR	L'évapotranspiration Réelle
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations.
g	Gramme.
ha	Hectare.
I.T.D.A.S	Institut technique du développement de l'agriculture saharienne.
INRAA	Institut National De La Recherche Agronomique; station d'adrar
INRF	Institut National de Recherche Forestière
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
Kc	Coefficient Culturelle .
Kg	kilogramme.
L	Litre.
m	Mètre.
m²	Mètre carrés.
Mm	Millimètre.
N°	Nombre
Ph	Potentiel d'hydrogène.
Qx	Quintaux.
RFU	Réserve Facilement Utilisable.
RU	Réserve Utile.
tn	Tonnes

Liste des tableaux

Tableau 1: Les stades phénologiques du quinoa	12
Tableau 2: La teneur en nutriment du quinoa.....	15
Tableau 3: Teneur en minéraux du quinoa en comparaison d'autres cultures	15
Tableau 4: Teneur en Potassium, Cuivre et Magnésium (mg/kg).....	16
Tableau 5 : Les variétés ont été testées.....	31
Tableau 6 : Résultats des analyses du sol	32
Tableau 7 : Résultats des analyses de l'eau	32
Tableau 8 : Dispositif expérimental	34
Tableau 9 : Le coefficient culturelle de la culture de quinoa	36
Tableau 10: Identification des stades phénologiques du quinoa (ITDAS, 2019).....	37
Tableau 11 : Test de germination.....	39
Tableau 12 : La durée des stades phénologiques en jours.....	41
Tableau 13 : Besoins de la culture du quinoa (ETM).....	44
Tableau 14: Groupes homogènes (Hauteur moyenne des plants en cm).....	48
Tableau 15 : analyse de la variance effet variété (Hauteur moyenne des plants en cm)....	49
Tableau 16: Groupes homogènes d'interaction (Hauteur des plants en cm).....	50
Tableau 17: Groupes homogènes (Nombre des ramifications par plant).....	51
Tableau 18: analyse de la variance (nombre de ramification par plante).....	51
Tableau 19 : Groupes homogènes d'interaction (Nombre des ramifications par plant)....	53
Tableau 20: Analyse de variance (Nombre des panicules par plante).....	54
Tableau 21 : Analyse de variance (Nombre des panicules par plante).....	54

Liste des figures

Figure 1 : Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud (la densité des points reflète l'importance relative de la culture) (d'après National Research Council 1989).....	04
Figure 2 : Mouvement du quinoa dans le monde (Bazile,2014)05	
Figure 3 : Localisation des sites des essais d'introduction de quinoa en Algérie (FAO, 2010).....	06
Figure 4 : Système racinaire du quinoa (Gandarillas, 1979).....	08
Figure 5 : Forme de la tige principale (coupe transversal).....	08
Figure 6 : Types des ramifications de quinoa.....	09
Figure 7 : Variation du nombre de dents dans les feuilles de quinoa (Gandarillas, 1979)....	10
Figure 8 : Panicules de quinoa (IRD).....	11
Figure 9 : Les formes d'inflorescences du quinoa.....	11
Figure 10 : Formes du grain.....	11
Figure 11 : Les stades phénologiques de la culture du Quinoa.....	14
Figure 12 : Evapotranspiration de référence (ET ₀) (Allen et al., 1998).....	20
Figure 13 : Courbe de variation du coefficient cultural K _c	22
Figure 14: Diagramme schématique d'un bac Classe A	26
Figure 15: Bac d'évaporation du Colorado.....	27
Figure 16: Evaporpètre Wild.....	28
Figure 17 : Evaporomètre de Piche.....	29
Figure 18: Les variétés de quinoa Q102 et Q105.....	31
Figure 19 : Coefficient de culture K _c pour le quinoa.....	36
Figure 20 : Evolution des doses d'irrigation sous serre.....	46
Figure 21 : Hauteur moyenne (cm) de la plante.....	47
Figure 22: Effet de la variété sur la hauteur de la plante.....	48
Figure 23 : Interaction (Hauteur des plants en cm).....	49
Figure 24: Effet des traitements d'irrigation sur le nombre des ramifications.....	51
Figure 25 : Effet de variété sur le nombre des ramifications.....	52
Figure 26 : Interaction (Ramification de la plante).....	52
Figure 27 : Effet de besoin en eau sur le nombre de panicule.....	53

Liste des photos

Photo 01 :Bac d'évaporation Classe A installé sur terrain	26
Photo 02 : Le semis (Originale, 2020).	33
Photo 03 : L'essai de capacité de rétention (Originale, 2020).....	34
Photo 04 : dispositif expérimental (Originale, 2020).....	35
Photo 05 : la jauge à crochet d'évaporation (Originale, 2020).....	37
Photo 06 : La germination du grain de quinoa (Originale, 2020).....	39
Photo 07 : Les stades de développement du quinoa V1 (Originale, 2020).....	43
Photo 08 : Les stades phénologiques du quinoa v2 (Originale, 2020).....	43
Photo 09 : Mesure ETP par le bac de class A (Originale, 2020).....	45

Table de matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Introduction

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la culture de quinoa

I.1. Historique et origine.....	3
I.2. Importance économique de la culture de quinoa.....	4
I.2.1. Dans le monde.....	4
I.2.2. La culture de Quinoa en Algérie.....	5
I.3. Classification de quinoa.....	6
I.4. Description de la morphologie de la plante.....	7
I.5. Les stades phénologiques du quinoa	12
I.6. Besoin en eau	15
I.7. La composition de grains de quinoa	15
I.7.1. La teneur en nutriment	15
I.7.2. Les minéraux	15
I.7.3. Les fibres alimentaires	16
I.7.4 Le saponine	17
I.8. Intérêt mondial pour la culture du quinoa	17

Chapitre II : Les besoin en eau des cultures

II.1. Les Besoin en eau.....	19
II.2. Evapotranspiration des cultures.....	19
II.3. Différents types de l'évapotranspiration.....	19
II.3.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) ou de référence (ET0).....	19
II.3.2. Évapotranspiration maximale de cultures (ETc).....	21
II.3.3. L'évapotranspiration Réelle (ETR).....	22
II.3.4. Les facteurs conditionnels de l'évapotranspiration.....	23
II.4. Méthodes d'estimation de L'évapotranspiration potentielle (ETP) ou référence (ET0)	

II .5. Méthode directes d'estimation d'ETP.....	24
II .5.1.Bacs d'évaporation.....	25
II .5.1.1.Bac d'évaporation Classe A.....	25
II .5.1.2. Bac d'évaporation du Colorado.....	25
II .5.1.3. Bacs flottants.....	26
II .5.2. Les Evaporomètres.....	27
II .5.2.1. Evaporomètre Wild.....	27
II .5.2.2. Evaporomètre de Piche.....	28
II .6. Le Pilotage de l'irrigation.....	29

Chapitre II : Matériels et méthodes

III .1. Objectif	31
III .2. Site expérimental.....	31
III .3. Matériel et Méthodes.....	31
III .3.1. Matériel végétal.....	31
III .3.2. Le sol.....	32
III .3.3. L'eau.....	32
III .3.4. Matériel technique utilisé.....	32
III .4. Méthodologie de travail.....	33
III .4.1. Préparation des pots et semis.....	33
III .4.2. Mise en culture.....	33
III .4.3. La détermination de la capacité de rétention du sol.....	33
III .5. Dispositif expérimental.....	34
III .6. Mesure d'évapotranspiration sous serre.....	35
III .7. Identification des stades.....	37
III .8. Paramètres étudiés.....	38
III .9. Analyse statistique.....	39

Chapitre IV Résultats et Discussions

IV.1. Effet des quantités d'eau d'irrigations (S0, S1, S2) sur les stades de développements (durée et date) de la culture de quinoa.....	40
IV .2. Besoin en eau (ETM) (mm/ cycle).....	44
IV .3. L'effet traitements d'irrigations sur les caractéristiques morphologiques.....	47
IV.3.1. Hauteur moyenne de la plante en cm (HP).....	47

IV.3.2. Nombre de ramification moyen par plante.....	50
IV.3.3. Nombre des panicules.....	53
IV.3.4. synthèse sur L'effet des traitements d'irrigation sur les paramètres de croissance.....	54

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Durant les années 70, plusieurs programmes informatiques et d'assistance par ordinateurs ont été proposés pour pilotage et la gestion des irrigations. Ces programmes sont basés sur les méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de la culture (ET) et la réserve en eau du sol (**Best et James, 1988 ; Jensen et al., 1971**).

Les méthodes d'estimation et/ou la détermination de l'évaporation sont généralement; soit par des instruments, soit par calcul en utilisant les variables météorologiques (**OMM, 1997**).

Les bacs évaporatoires sont conçus pour prendre en compte tous les phénomènes atmosphériques influençant l'évaporation, ainsi que l'inertie thermique de la masse d'eau. Les bacs peuvent être de différentes tailles, formes, matériaux, et positionnements (enterré ou flottant à la surface du plan d'eau). On mesure une quantité d'eau perdue par évaporation. Tous les paramètres cités précédemment vont influencer la mesure et il sera nécessaire de les corriger à l'aide de coefficients (**Vachala, 2008**).

Le bac classe A est circulaire de 1.20 m de diamètre et de 0.25 m de profondeur, en tôle galvanisée non peinte, et posé sur un socle laissant circuler l'air librement (**Aidoudi, 2012**).

Chenopodium quinoa Willd est une plante très répandue dans les régions Andines où elle est cultivée pour l'alimentation humaine. Ses graines sont employées comme céréales depuis des siècles (**Mahoney et al., 1975**). C'est une plante caractérisée par sa bonne valeur nutritionnelle et surtout par sa résistance considérable aux conditions défavorables du climat tel que, la sécheresse, la salinité et au froid et peut être cultivé à haute altitude dans les régions montagneuses (**Maradini A. et al., 2015; Repo-Carrasco-Valencia R. et al., 2011; Valencia C., 2004**).

La modélisation exacte de la réponse au stress hydrique-culture du quinoa est nécessaire pour augmenter son utilisabilité dans les terres marginales comme celle développée récemment par la FAO, qui comprend l'outil d'aide à la décision dans la planification et l'analyse de scénarios à différentes saisons et lieux (**Nain et Kersebaum, 2007 ; Salazar et al., 2009 ; Andarzian et Ayenel, 2008**).

Le coefficient (K_c) pour le quinoa n'a pas encore été déterminé, de sorte que les valeurs de K_c pour les autres cultures comme l'orge et le blé sont souvent utilisés pour les calculs (**Michel et Garcia, 1997**). La recherche sur les besoins d'irrigation et la réponse du rendement

à différents niveaux d'arrosage manque, ce qui rend difficile le dimensionnement des systèmes d'irrigation (**Mungai et Stigter, 1993**). Par conséquent, il est urgent d'obtenir une méthode adéquate pour déterminer besoins d'irrigation du quinoa.

Pour estimée le besoin en eau de la culture de quinoa sous serre, nous utilisons le Bac d'évaporation classe A,

L'objectif de ce travail est l'estimation des besoins en eau (ETM) sous serre en utilisant la méthode du Bac classe (A) de la culture du quinoa

Ce mémoire est structuré en deux parties:

La 1ère Partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail. Elle est formée de deux chapitres :

- Chapitre I : Généralités sur le quinoa.
- Chapitre II : Estimation des besoins en eau

La 2ème partie concerne le matériel et les méthodes utilisées dans cet essai.

La 3ème partie est articulée sur l'explication des résultats obtenus ainsi qu'une discussion générale.

Le présent travail est achevé par une discussion et une conclusion générale.

Chapitre I

*Généralité sur la
culture de quinoa*

I.1. Historique et origine

Le quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), est une plante originaire des hauts plateaux andins. Cultivé par des populations rurales à faibles revenus (Bolivie, Pérou, Equateur), il est l'objet d'un important marché d'exportation comme « production biologique » pour les pays développés (en Europe, Amérique du Nord et au Japon). Son succès est lié à la fois à la bonne qualité nutritionnelle de ses graines riches en protéines et équilibrées en acides aminés (**Tapia et al., 1979; Risi et Galwey 1984; Coulter et Lorenz, 1990**), Cette plante traditionnelle est cultivée depuis plus de 5 000 ans sur les hauts plateaux d'Amérique du Sud. Comme le haricot, la pomme de terre, le maïs, le quinoa était à la base de l'alimentation des civilisations précolombiennes, mais, contrairement à ces dernières, il n'a pas retenu l'attention des conquérants espagnols à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe de ses graines non écorcées, et du fait que la farine qui en est tirée n'est pas panifiable en raison de l'absence de gluten.

Dans les années 1970, les pays industrialisés en quête d'une alimentation plus saine découvrent les qualités nutritionnelles du quinoa qui est désormais distribué dans la plupart des grandes surfaces, notamment dans les magasins de produits issus de l'agriculture biologique et du commerce équitable (**Mujica, 1992**).

Elle est tolérante à des facteurs abiotiques comme la sécheresse, les radiations UV, le gel et la salinité des sols, ce qui en a fait une espèce candidate pour les tests de culture en station orbitale (**Tapia et al., 1979 ; FAO., 2001 ; Bruno et Whitehead .,2003**).

Grâce à ces générations d'agriculteurs, le matériel génétique de cette espèce, comme celui d'autres espèces locales apparentées (*Chenopodium pallidicaule* Aellen, *Chenopodium quinoa* ssp. *melanospermum* Hunz.), a pu être conservé par ce que l'on pourrait appeler un système spontané de conservation *in situ* (**Tapia, 2002**).



Figure 1 : Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud (la densité des points reflète l'importance relative de la culture) (d'après National Research Council 1989).

I.2. Importance économique de la culture de quinoa

I.2.1. Dans le monde

Le quinoa occupe une superficie d'environ 99.313 ha dans le monde, et la production était de 78.025 tonnes en 2010. La Bolivie et le Pérou sont les principaux producteurs (Fig. 01). La Bolivie est le principale producteur du quinoa en terme de superficie, qui est de l'ordre de 63.010 ha avec une production d'environ 36.106 tonnes alors que le Pérou produit plus de 41.000 tonnes sur une superficie d'environ 35.313 ha (rendement plus élevé au Pérou) (FAO STAT, 2010).

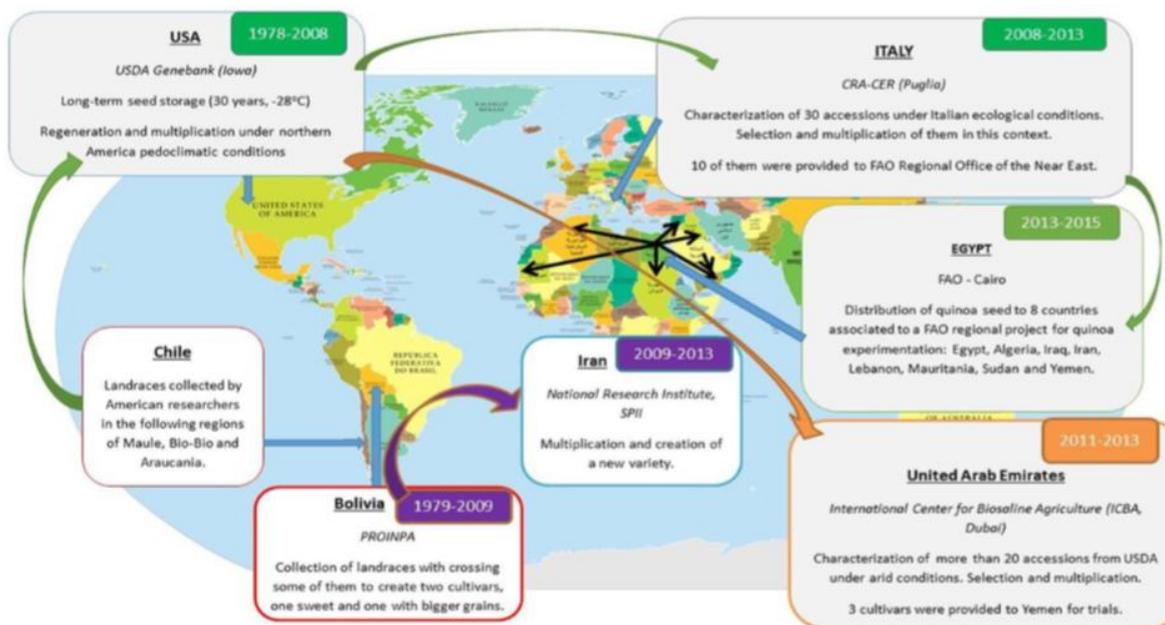


Figure 2 : Mouvement du quinoa dans le monde (Bazile,2014)

I.2.2. La culture de Quinoa en Algérie

L'introduction de la culture du quinoa en Algérie s'est faite en 2014. Elle est cultivée à titre expérimental dans huit sites appartenant à quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologique. ITDAS, (Biskra et El-oued), INRAA, (Adrar et Ghilizane), ITGC, (Sétif, Tiaret et Guelma) et INRF (Alger).

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

L'objectif du suivi est la détermination du cycle de la détermination du cycle de la culture d'une part et d'autre part l'optimisation des apports d'eau et d'engrais selon les stades de développement de la culture pour une meilleure économie.

Les accessions cultivées présentaient une différence dans le cycle de développement ; il existe des variétés précoces et tardives.

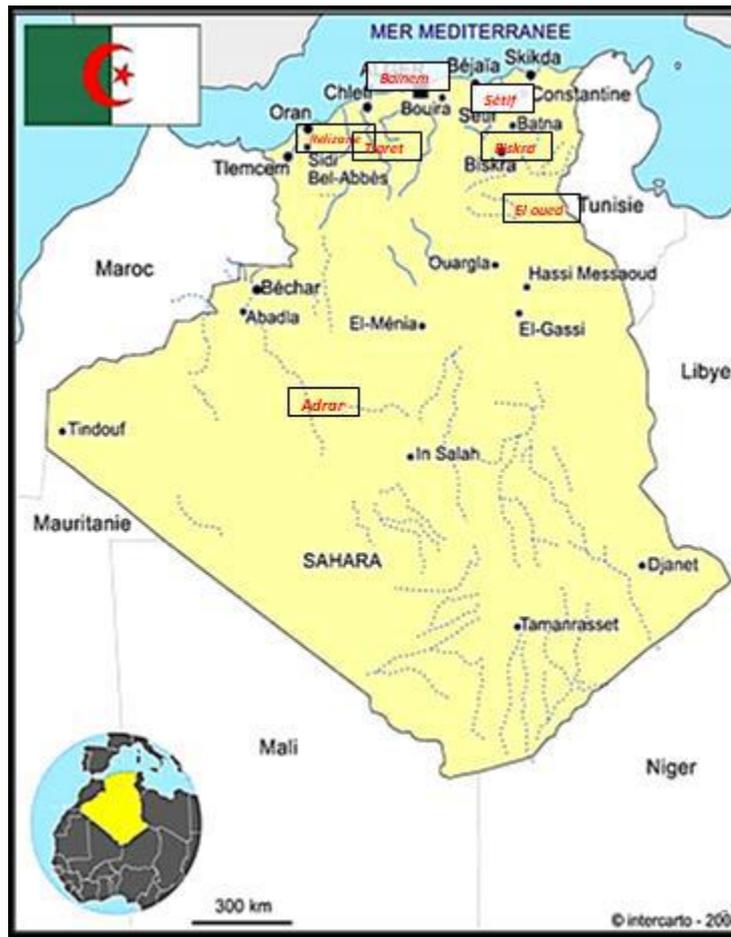


Figure 3 : Localisation des sites des essais d'introduction de quinoa en Algérie (FAO, 2010)

I.3. Classification de quinoa

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

➤ Classification de Cronquist (1981)

Règne : *Plantae*

- Sous-embr : *Tracheobionta*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Groupe : *Thalamiflorae*
- Sous-classe : *Dicotyledonae*

- Ordre : *Caryophyllale*
- Famille : *Chenopodiaceae*
- Genre : **Chenopodium**
- Espèces : **Chenopodium quinoa.**
- Nom binominal : *Chenopodium quinoa Willd.*

I.4. Description de la morphologie de la plante

La morphologie du quinoa varie selon les géotypes et les zones agroécologiques où on le cultive. D'importantes variations peuvent être trouvées dans la couleur de la plante et du grain, le type d'inflorescence et l'adaptabilité aux conditions du milieu.

➤ La plante

Elle est en érection, atteignant des hauteurs variant de 0.60 à 3.00 m, selon le type de quinoa, les géotypes, la fertilité des sols et des conditions environnement ou elle pousse (**Vidal Apaza et al ., 2013 in Malti 2019**).

➤ Les racines

En raison de l'absence d'une période de dormance des graines, la germination du quinoa est extrêmement rapide, elle s'initie en seulement quelques heures en présence d'une humidité de sol adéquate. La racine s'allonge en première, puis continue de croître pour donner lieu à une racine pivotante pouvant atteindre 30 cm de profondeur et à partir de laquelle vont se développer des racines secondaires et tertiaires, desquelles se forment des racelles pouvant également se ramifier .

Ce système racinaire est très robuste, il peut soutenir des plantes de plus de 2 m de hauteur bien que de rares cas d'affaissement des plants aient pu être observés sous l'effet du vent, d'une humidité excessive ou du poids de leurs panicules (**Gandarillas, 1979 ; Mujica et al., 2001**).

La profondeur de la racine est étroitement liée à la hauteur de la plante. Des plantes de 1,70 m avec une racine de 1,50 m et d'autres de 90 cm de hauteur avec une racine de 80 cm ont été référencées (**Pacheco et Morlon, 1978**). C'est à ce fabuleux système racinaire pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux que le quinoa doit sa résistance à la sécheresse et sa bonne stabilité (**Herbillon, 2015**) .

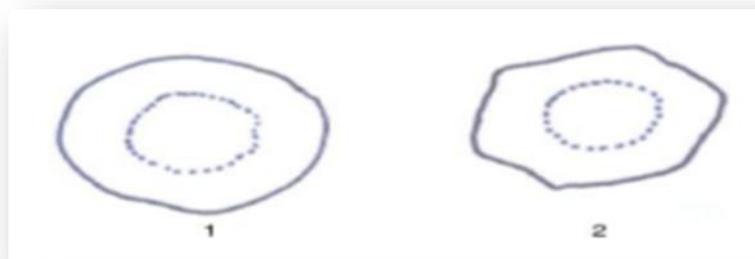


Figure 4 : Système racinaire du quinoa (Gandarillas, 1979)

➤ **La tige**

La tige est cylindrique au niveau du collet puis devient plus anguleuse à partir des ramifications avec une position alterne des feuilles le long de chacune des quatre faces. Elle peut être unique ou bien présenter de nombreuses ramifications. Son diamètre varie entre 1 et 8 cm, et sa hauteur entre 50 cm et 2 m, selon les variétés et les conditions de culture comme la densité d'ensemencement ou la fertilisation (Mujica et al., 2001).

La couleur de la tige est également très variable. Elle peut être uniformément verte, verte avec des aisselles colorées (surtout rouges), verte avec des stries violettes ou rouges, ou bien uniformément rouge. A l'intérieur de la tige, on trouve une moelle de couleur blanche à crème, de texture molle chez les jeunes plants puis devenant aérée et spongieuse à l'approche de la maturité. En revanche, le cortex est ferme et compact, constitué de tissus solides (Gandarillas, 1979).



1-Cylindrique 2-Angulaire (Bioversity international.org)

Figure 5 : Forme de la tige principale (coupe transversal)

➤ **Les ramifications**

Les branches naissent à l'aisselle de chaque feuille sur la tige. Leur longueur varie selon la variété et les conditions environnementales, allant de quelques centimètres jusqu'à une longueur équivalente à celle de la tige principale (**Jacobsen et Stolen, 1993**).

Il existe des génotypes très ramifiés (quinoa des vallées), parfois même à partir de la base (quinoa du niveau de la mer), tandis que d'autres présentent une tige unique (quinoa des hautes plaines). Il existe également des génotypes intermédiaires (**Mujica et al., 2001**).

D'un point de vue commercial, la ramification des plants est indésirable pour la production des graines de quinoa ; c'est pourquoi dans le cadre d'une culture à grande échelle, l'ensemencement est effectué avec une densité ne laissant aucune opportunité aux plants de se ramifier (**Jacobsen et Stolen, 1993**).

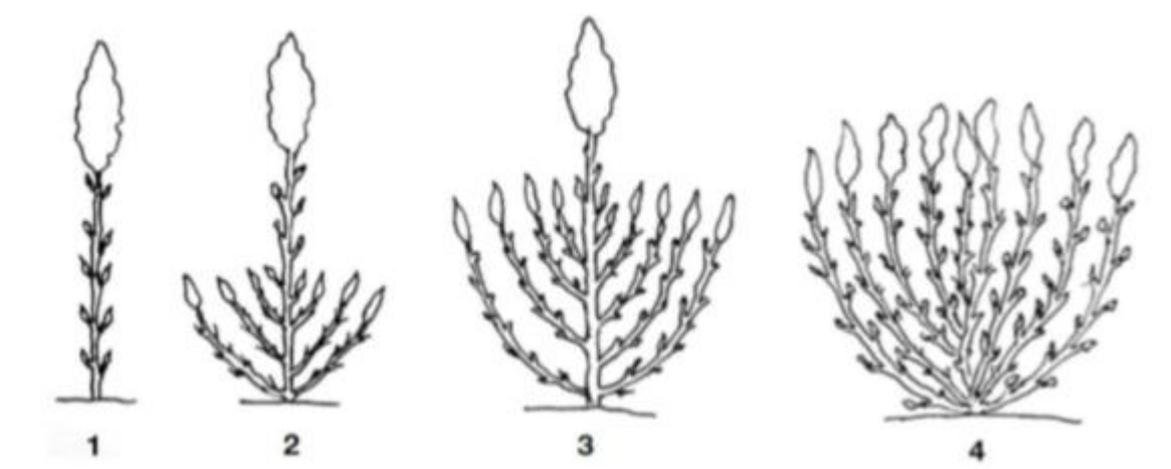
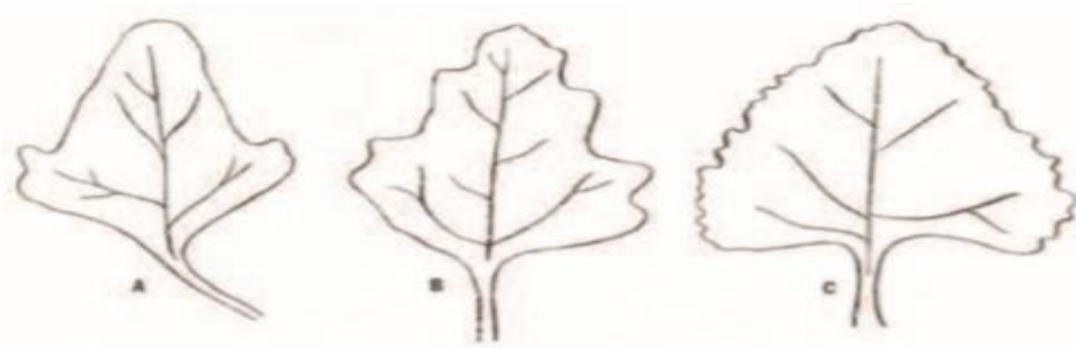


Figure 6 : Types des ramifications de quinoa

➤ **Les feuilles**

Les feuilles sont alternes et se composent d'un pétiole et d'un limbe. Les pétioles sont longs, fins et cannelés sur la face supérieure et de longueur variable au sein de la même plante. Le plus souvent, les limbes sont plans mais ils peuvent parfois être ondulés. Les feuilles inférieures sont grandes, jusqu'à 15 · 12 cm, rhomboïdales (en forme de losange) ou triangulaires ; tandis que les feuilles supérieures sont petites, d'environ 10 · 2 mm, lancéolées ou triangulaires (**Mujica et al., 2001**). La couleur des feuilles varie en fonction des

génotypes, elles sont généralement vertes lorsqu'elles sont jeunes puis elles virent au jaune, rouge ou violet. Ces couleurs sont le résultat de la présence de pigments végétaux appelés bétalaïnes qui sont de deux types : bétacyanines (rouge-violet) et bétaxanthines (jaune) (Gallardo et al., 1996).



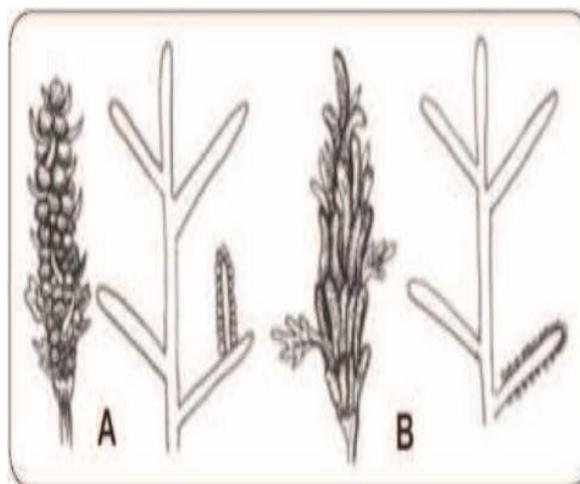
- A) race du sud du Pérou et de la Bolivie avec peu de dents ;
- B) race du centre du Pérou avec 3 à 12 dents ;
- C) race du nord du Pérou et de l'Equateur avec plus de 12 dents.

Figure 7 : Variation du nombre de dents dans les feuilles de quinoa (Gandarillas, 1979)

➤ Inflorescence

C'est une panicule typique, composée d'un axe central et de branches secondaires, tertiaires et pédicelles qui retiennent les glomérules. L'axe principal est plus développé que l'axe secondaire, il peut être relâché (amarantiforme) ou compact (glomérulé), avec des formes intermédiaires entre les deux.

La longueur de la panicule est variable, en fonction du génotype, du type de quinoa, de l'endroit où il se développe et des conditions de fertilité du sol, atteignant 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 al., 2015).



A) glomérulaire ; B) amaranthiforme (Tapia et Fries, 2007)

Figure 8 : Panicules de quinoa (IRD) **Figure 9 :** Les formes d'inflorescences du quinoa

➤ **La graine**

Les grains de quinoa rassemblent à des petits disques aplatis d'environ 2 mm de diamètre (www.vulgarisation.net) et recouvertes de saponine (une résine amère qui éloigne les oiseaux) et n'ont pas besoin d'être traitées pour être cultivées. C'est pour quoi il est presque toujours commercialisé sous le label "agriculture biologique "

Les grains sont sans gluten et contiennent toutes les protéines essentielles à l'alimentation humaine (Moore, 2017).

les grains de quinoa prends des couleurs; blanche, rouge, jaune, noire, rose et violet. D'un diamètre de 2 à 3 mm (Chaherli et Saleh, 2015 in Hadj hammou 2019).

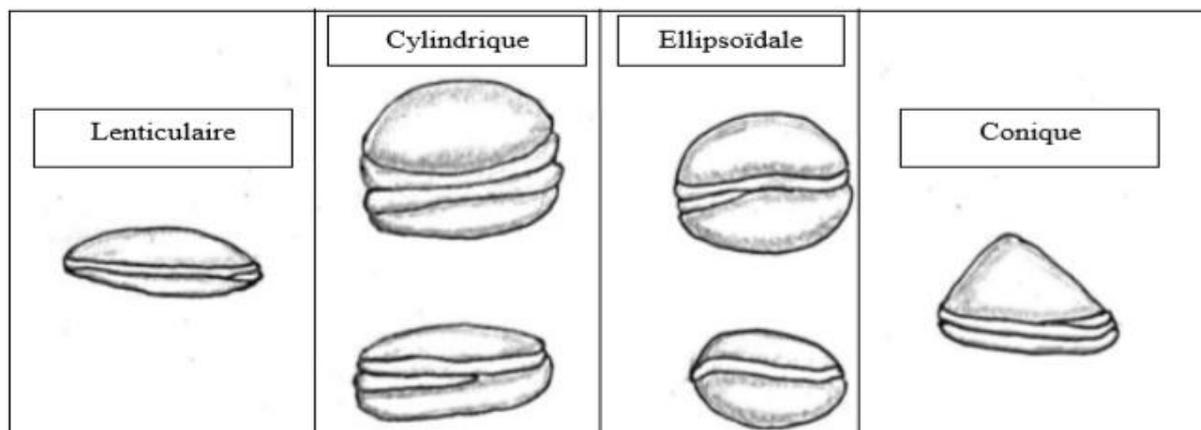


Figure 10 : Formes du grain

I.5. Les stades phénologiques du quinoa

Plusieurs échelles de développement ont été décrites pour le quinoa, selon (**Mujica et Canahua, 1989**) en 12 phases. Les durées indiquées de chaque phase sont des nombres de jours moyens. Un stade est atteint lorsque 50% des plantes sont à ce stade. Les différents stades sont illustrés en (**Tableau 01**) avec une résumé des stades les plus importants.

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

Les stades	jours après le semis	Description
Levée	[7-10]	Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaire.
Ramification	[45-50]	A partir du stade (08) feuilles, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœd. Les feuilles cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégée par les feuilles.
Panicule	[65-70]	A partir du stade (08) feuilles, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœd. Les feuilles cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégée par les feuilles.
Floraison	[90-100]	L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence se produit. Cette observation doit se faire à la mi-journée, les fleurs se refermant pendant la nuit. C'est durant cette phase que la plante est plus sensible aux gelées.

		Les feuilles inférieures, flétries, tombent.
Grain laiteux	[100-130]	Le grain est qualifié de laiteux, car un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit. Un déficit hydrique pendant cette phase entraîner une forte diminution du rendement.
Grin pâteux	[130-160]	L'intérieure des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche.
Maturité physiologique	[160-180]	Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité, avec une teneur en eau inférieure à 15%. Pendant le remplissage des graines depuis la floraison, la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète à maturité.



Figure 11 : Les stades phénologiques de la culture du Quinoa (Source : IDR in LEONVALLET ; 2008)

I.6. Besoin en eau

D'après **Benhabib (2005)**. La culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation se situe entre 250 – 400 mm sur des sols limono-sableux ou sablo-limoneux. En deçà, la hauteur et le rendement des plantes diminuent. Une irrigation excessive augmente par contre la taille des plantes et améliore le rendement avec le risque de verse.

I.7. La composition de grains de quinoa

I.7.1. La teneur en nutriment

Tableau 2 : La teneur en nutriment du quinoa en comparaison d'autres aliments (pour 100 g de poids sec).

Aliments Eléments	Quinoa	Maïs	Riz	Blé
Energie (Kcal/100g)	399	408	372	392
Protéines (g/100g)	16.5	10.2	7.6	14.3
Lipides (g/100g)	6.3	4.7	2.2	2.3
Glucides totaux (g/100g)	69	81.1	80.4	78.4
Fer (mg/100g)	13.2	2.1	0.7	3.8
Zinc (mg/100g)	4.4	2.9	0.6	4.7

Source (Koziol ,1992 in Chiara et al 2013)

I.7.2. Les minéraux (tableau 3 et 4)

Tableau 3: Teneur en minéraux du quinoa en comparaison d'autres cultures (mg/100g).

	Quinoa	Blé	Orge	Riz	Maïs
Calcium	60	25	29	60	7
Phosphore	410	332	221	136	210
Fer	9	4	3	4	3
Sodium	21	2	9	5	3.5

Source (USDA, 2005 in El Hafid 2005)

Tableau 4: Teneur en Potassium, Cuivre et Magnésium (mg/kg).

	Quinoa	Blé	Riz	Orge
Potassium	9267	5783	1183	5028
Cuivre	51	7	2	3
Magnésium	2496	1694	735	1291

Source: Jancurova et al (2009).

I.7.3. Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires constituent un ensemble de substances complexes d'origine végétale qui échappent à l'action des enzymes digestives et à l'absorption intestinale. Elles parviennent directement dans le gros intestin et peuvent subir une fermentation totale ou partielle par les bactéries du côlon. Si elles n'ont pas de valeur nutritionnelle apparente, elles sont toutefois indispensables au bon fonctionnement du transit intestinal.

Ce sont des polymères complexes, de grande taille, qui ont commun leur nature polysaccharidique (à l'exception de la lignine). Ces substances résiduelles sont aujourd'hui reconnues pour leurs nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine (**Brownawell et al., 2012 ; Graf et al., 2015**).

Les fibres alimentaires sont de deux sortes :

Les fibres solubles comme les pectines, les gommes ou les mucilages qui forment des solutions visqueuses ou des gels au contact de l'eau, et les fibres insolubles dans l'eau telles que la cellulose ou la lignine.

Les graines de quinoa contiennent entre 10 et 14% de fibres alimentaires totales qui sont particulièrement présentes dans l'embryon. Cette teneur en fibres totales est comparable à celle d'autres céréales, cependant, la composition des fibres du quinoa ressemble d'avantage à celle des fruits, légumes et légumineuses (**Alvarez-Jubete et al., 2009 ; Repo-**

CarrascoValencia et Serna, 2011 ; Valcárcel-Yamani et da Silva, 2012 ; Lamothe et al., 2015).

Composées d'environ 80% de fibres insolubles et de 20% de fibres solubles, les fibres alimentaires du quinoa sont représentées essentiellement par des xyloglucanes et des polysaccharides pectiques, en des quantités et des structures variables en fonction de la fraction de fibres.

Les fibres insolubles se composent principalement d'acide galacturonique, de glucose, d'arabinose, de xylose et de galactose ; tandis que les fibres solubles contiennent surtout du glucose, de l'acide galacturonique et de l'arabinose (**Lamothe et al., 2015**).

I . 7. 4 Le saponine

Selon **Hadj hammou (2019)**. La saponine est un ensemble des molécules totalement naturelles produites par certains animaux et certaines plantes (quinoa, lierre, soja, salspareille, etc.) Elle peut être plus ou moins toxique selon sa provenance et le type de saponine. Cependant, elle ne représente aucun danger pour l'Homme et est seulement dangereuse pour certains animaux à sang froid comme les poissons ou les insectes s'ils en consomment des grandes quantités. (www.le monde du quinoa.fr)

Les saponines sont tout d'abord des métabolites secondaires dont la fonction première est de protéger la plante des agressions naturelles en s'accumulant dans les régions les plus exposées à l'attaque des champignons, des insectes ou des oiseaux. Elles ont ainsi été détectées dans toutes les parties de la plante de quinoa, les feuilles, les fleurs, les fruits, et l'enveloppe des graines (**Mizui et al., 1988, 1990 ; Cuadrado et al., 1995 ; Mastebroek et al., 2000 ; Kuljanabhagavad et al., 2008**).

I .8. Intérêt mondial pour la culture du quinoa

L'excellence alimentaire du quinoa est connue depuis l'Antiquité dans l'empire Inca.

De nos jours, le quinoa a été identifié pour ses avantages nutritionnels dans le monde entier, pour sa teneur en protéines, en minéraux et en vitamines, et son importance a été renforcée non seulement dans les pays en développement, mais également dans les pays développés.

On a mis au point diverses variétés de quinoa tolérant la salinité, la sécheresse ou le gel, des variétés qui sont plus courtes et donc plus aisées à récolter, qui ont des cycles végétatifs raccourcis et qui contiennent moins de saponine, ces propriétés qui ont augmenté la productivité et la qualité du quinoa et l'intérêt pour sa culture au niveau mondial (**Aabha D, 2015**).

Chapitre II

Les besoin en eau des cultures

II .1. Les Besoin en eau

Les besoin en eau d'une culture représentent les quantités d'eau perdues, après chaque irrigation. Selon **FAO (1975)**, les besoin en eau d'une culture : est la quantité d'eau nécessaire pour couvrir les pertes en eau par évapotranspiration d'une culture saine, cultivée en grande parcelle, sans contraintes du sol (fertilité et humidité), et réalisant son potentiel de production sous les conditions considérées

Donc, le besoin en eau d'une culture correspond à l'évapotranspiration maximale d'une culture (Etc.): cette dernière dépend de la demande climatique qui est appelée évapotranspiration potentielle (ETP) ou de référence (ET0)

II .2. Evapotranspiration des cultures

Ce terme est utilisé en agronomie et en hydrologie, il est composé de deux termes qui sont l'évaporation de l'eau (E) et la transpiration des plantes (T)

L'évaporation est le processus physique par lequel l'eau est transférée à l'atmosphère par passage de la phase liquide à la phase vapeur. L'eau s'évapore ainsi d'une variété de surfaces, tel que les lacs, les rivières, les chaussées, les sols nus et la végétation mouillée. C'est par le mouvement des molécules d'eau que débute l'évaporation (**Bouhlassa, 2006**).

Alors que l'eau absorbée par les racines remonte vers les feuilles pour s'évacuer sous forme de vapeur d'eau à travers les stomates est appelée la transpiration, une faible quantité d'eau est maintenue pour l'hydratation des cellules, l'autre partie de l'eau est utilisée pour la composition de la matière organique.

L'évapotranspiration est la quantité de vapeur d'eau transférée dans l'atmosphère par transpiration des plantes et par évaporation au niveau du sol, de surfaces d'eau libre et autres surfaces interceptant la pluie (**FAO, 1975**).

II .3. Différents types de l'évapotranspiration

II .3.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) ou de référence (ET0)

Ce paramètre est utilisé à différents niveaux des recherches, sur l'utilisation de l'eau pour les besoins en irrigation. Elle est considérée comme un phénomène climatique continu dans l'espace et dans le temps. L'importance des quantités d'eau pour les cultures est fonction de l'ETP où le déficit en eau des plantes en est fonction (**Dubost, 1992**).

La définition de l'évapotranspiration potentielle comme étant l'évapotranspiration maximale d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue » (Perrier, 1977).

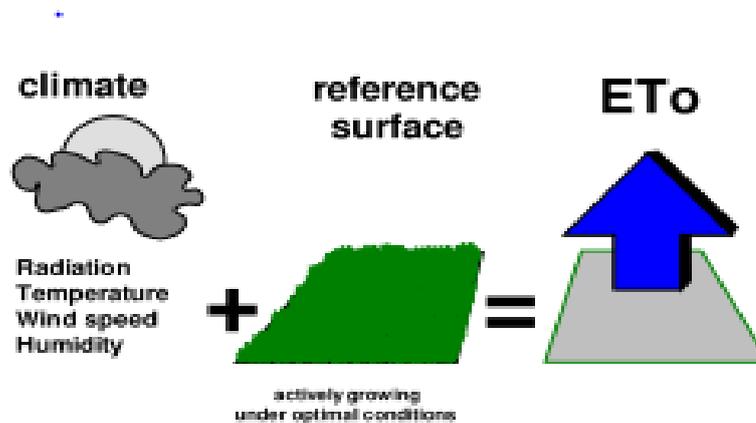


Figure 1.
Reference evapotranspiration (ET₀)

Figure 12 .Evapotranspiration de référence (ET₀) (Allen et al., 1998)

Selon (Allen et al., 1998). l'ET₀ suit les variations saisonnières et journalières du rayonnement solaire (et de la température).

- En zone semi-aride méditerranéenne, les valeurs journalières moyennes de l'ETP se situent entre un peu moins de 1mm/j en hiver jusqu'à 8 à 10 mm/j en été. En outre, le régime d'évaporation est relativement plus stable d'une année à l'autre que le régime pluviométrique tel que décrit précédemment. Il s'en suit donc que les besoins en eau des cultures sont assez prévisibles d'une année à l'autre.
- Cependant, et du fait que l'ETP est plutôt une caractéristique du climat, elle peut être calculé à partir de paramètres climatique.

II .3.2. Évapotranspiration maximale de cultures (ETc)

Elle est définie à différents stades de développement d'une culture donnée sous des conditions agronomiques optimales; c'est à dire sans maladie et sans stress ni hydrique ni nutritionnel...etc.

$$ETc = Kc * ET0$$

Est liée à ET0 par l'intermédiaire d'un coefficient Kc appelé coefficient cultural qui tient compte de la différence physique et physiologique entre la surface de référence et la culture donnée.

Le coefficient cultural Kc représente une intégration des caractéristiques qui distinguent l'évapotranspiration d'une culture donnée(ETC) , de l'évapotranspiration de référence.(ET0)

Il est largement affecté par la nature de la culture, sa hauteur, sa durée de cycle, et son taux de croissance

Selon Allen et al. (1998), le coefficient cultural est largement affectée par plusieurs facteurs tels que :

- les facteurs aérodynamiques liés à la hauteur et à la densité de la végétation ;
- les facteurs biologiques liés à la croissance et la sénescence des feuilles ;
- les facteurs physiques liés principalement à l'évaporation du sol ;
- les facteurs physiologiques liés à la réponse des stomates à la pression de vapeur saturante ;
- les facteurs agronomiques liés aux pratiques culturales (système d'irrigation, fréquence des pluies et d'irrigation...).

Les valeurs de Kc sont souvent données par chaque culture, tout en tenant compte des diverses phases de croissance

Il existe pour chaque culture quatre stades végétatifs bien définie (**Figure 12**) :

- **Stade initial:** plantation, semis (blé ou orge), dormance,...;
- **Stade de croissance ou développement:** la culture est en train de développer son potentiel végétatif;
- **Stade de floraison et fructification:** il s'agit d'une phase critique au cours du cycle végétatif de la plante. Il faut qu'il y ait un maximum d'eau pour avoir un bon calibre des fruits;

- **Stade de maturation et récolte** : La figure suivante représente la courbe de différentes phases du coefficient cultural en fonction des stades de développement de la culture.

Les caractéristiques de K_c sont: la hauteur des cultures (qui affecte la résistance aérodynamique et la rugosité), la résistance de surface des cultures (affectée par la surface foliaire, la fraction du sol couverte par la végétation, l'humidité à la surface du sol) et l'albédo (affecté par la fraction du sol couverte et l'humidité à la surface du sol).

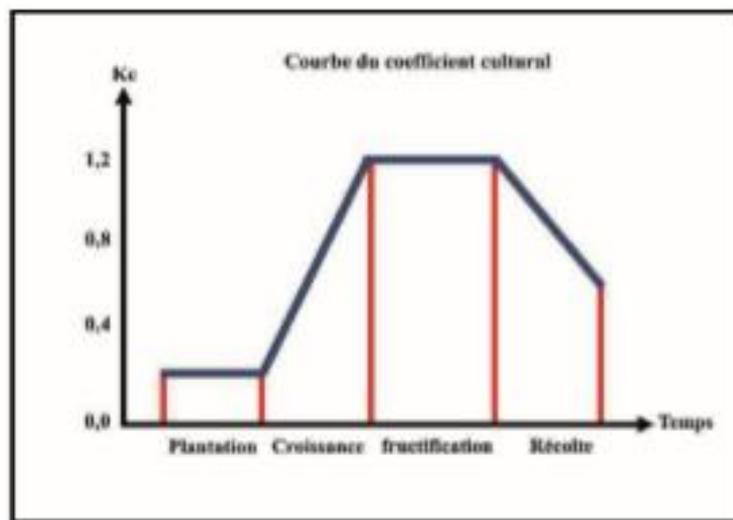


Figure 13 : Courbe de variation du coefficient cultural K_c .

- **Evapotranspiration potentielle sous serres (ETPs)**

L'évapotranspiration des plantes sous serre est fonction du rayonnement solaire pénétrant dans l'abri. L'agitation de l'air ayant une importance secondaire contrairement à ce qui se passe en plein champ. De nombreux travaux de recherche montrent en effet qu'il existe une corrélation étroite entre la consommation en eau d'une plante bien alimentée et l'énergie solaire qu'elle reçoit. Cette relation s'exprime par l'équation suivante (Skhiri, 2019) :

$$ETPs = \frac{a \times RGs}{L + b}$$

Où

- a et b: coefficients expérimentaux de l'équation de régression;
- ETPs: évapotranspiration potentielle de référence sous serres (mm j-1);
- RGs: rayonnement solaire global sous serre (cal cm-2);

- L: chaleur latente de vaporisation de l'eau (cal cm⁻³).

le taux d'évapotranspiration maximum (ETCs) d'une culture vigoureuse cultivée sous serre bien alimentée en eau. est fonction de l'ETPs. Elle est estimée par la méthode estimative de la (FAO, 1989) come suit

$$\text{ETCs} = \text{Kc} \times \text{ETPs}$$

D'où Kc : représente le coefficient cultural

II .3.3. L'évapotranspiration Réelle (ETR)

C'est la valeur de l'évapotranspiration d'une culture dans des conditions d'alimentation en eau insuffisante. En pratique, la détermination de l'évapotranspiration réelle (ETR) nécessite une grande précision pour plusieurs disciplines, à titres d'exemple (agronomes, hydrologues, météorologistes), qui s'occupent à des problèmes de gestion des ressources en eau et des liaisons entre la consommation en eau et la production végétale (Bouchet et Robelin, 1969). La dépendance de l'ETR à l'égard des facteurs climatiques et des caractéristiques de régulation des couverts végétaux (Katerji et Perrier, 1983).

L'évapotranspiration réelle de cultures sous serres (ETRs) représente la quantité d'eau réellement consommée par une plante cultivée sous serre. Elle peut être égale ou inférieure à l'ETPs selon la disponibilité de l'eau dans le sol et l'état physiologique et pathologique de la plante.

Elle dépend de plusieurs facteurs:

- La nature de la plante;
- L'état physiologique et pathologique de la plante;
- Le stade du développement végétatif.

II .3.4. Les facteurs conditionnels de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration dépend fortement de l'intervention de trois facteurs, climatiques, géographique, biologiques et pédologiques (Allen et al., 1998):

Certains facteurs sont facilement mesurables (température, vent, insolation) d'autres sont mal connus (profondeur des racines, hauteur du couvert végétal). et ces mesures sont souvent rares pour être utilisées en routine. De plus, ces facteurs n'ont pas le même pouvoir pour favoriser ou accélérer le processus de l'évaporation. En effet, d'après Courault et al.

(2005), l'évapotranspiration est très liée au rayonnement solaire et au bilan d'énergie à la surface du sol (in Mjejra, 2016).

➤ *Les facteurs climatiques (pouvoir évaporant du climat):*

- la température de l'air,
- la température de la surface terrestre,
- la vitesse et turbulence du vent,
- la durée de l'insolation ou le rayonnement solaire,
- l'humidité relative de l'air,
- pression atmosphérique.

➤ *Les facteurs géographiques (essentiellement la topographie):*

- l'état de la surface évaporant,
- l'altitude,
- effet du site,
- la proximité de la mer,
- orographie (exposition des versants au soleil, aux vents, pentes).

➤ *Les facteurs biologiques (le couvert végétal):*

- les espèces végétales (stade phénologique de la culture considérée),
- hauteur du couvert végétal,
- résistance stomatique,
- la profondeur des racines,
- besoins ou non d'eau.

➤ *Les facteurs pédologiques (les sols) :*

- la capacité de rétention en eau du sol,
- la réserve utile dans le sol,
- humidité du sol,
- la texture du sol.

II .4. Méthodes d'estimation de L'évapotranspiration potentielle (ETP) ou référence (ET0)

L'évapotranspiration d'un sol couvert de végétation est difficile à estimer. Selon (Allen et al., 1998). La détermination de l'ETP peut être estimée soit directement ou indirectement à l'aide de formules empiriques et théorique qui combinent des variables climatiques.

Mais la plus part de ces formules sont obtenues puis testées dans une zone particulière ou pour une culture donnée, ce qui fait que leur extrapolation à d'autres conditions climatiques nécessite un control et un ajustement afin qu'elles soient adaptées aux conditions locales. Parmi les formules on cite, La formule BLANEY-CRIDELLE (1950), Thornwaite La formule de TURC (1961) ;;;;;; ect

Selon (FAO, 1989) , la méthode de Penman-Monteith est dérivé et développée partir de la formule de Penman 48 , elle est choisie comme étant la méthode qui permet de déterminer évapotranspiration de référence ET_0 elle est considérée comme la étant la méthode la plus utilisée pour n'importe quel type de climat et de région.

II .5. Méthode directes d'estimation d'ETP

II .5.1.Bacs d'évaporation

II .5.1.1.Bac d'évaporation Classe A

Ces bacs présentent l'avantage d'une installation très simple et leurs résultats ne risquent pas d'être faussés par le rejaillissement des gouttes de pluie qui tombent sur le terrain avoisinant, par contre, ils sont très sensibles aux variations de la température de l'air et aux effets de l'insolation.

Le bac dit "Classe A", utilisé par Weather bureau, U.S.A" est constitué d'un cylindre métallique de 121.9 cm de diamètre et de 25.4 cm de hauteur. Dans ce cylindre, on maintient une épaisseur d'eau de 17.5 à 20 cm. Le cylindre est supporté par un support à 15 cm du sol. Le support doit permettre une bonne aération sous le bac (ANRH, 2002).

Selon (Skhiri , 2019) La mesure de l' ET_0 par la méthode du bac d'évaporation classe A se fait par le moyen de la formule suivante:

$$ET_0 = K_{bac} \times E_{bac} \left(\frac{mm}{j} \right)$$

où f

ET_0 : évapotranspiration potentielle de référence; f

K_{bac} : coefficient de conversion (varie de 0,7 à 0,8); f

E_{bac} : évaporation du bac.

Le choix de la valeur du coefficient du bac (K_{bac}) se fait sur un tableau qui prend en compte la vitesse du vent ($m\ s^{-1}$), l'humidité relative (%) et la distance du bac par rapport au gazon (m).

L'avantage principal des bacs est leur économie et leur facilité d'installation, leur inconvénient est la difficulté d'évaluer les effets du rayonnement direct et le transfert de chaleur à travers les parois. (Doorenbos, 1980).



Photo 01 :Bac d'évaporation Classe A

Installé sur terrain (Skhiri, 2019)

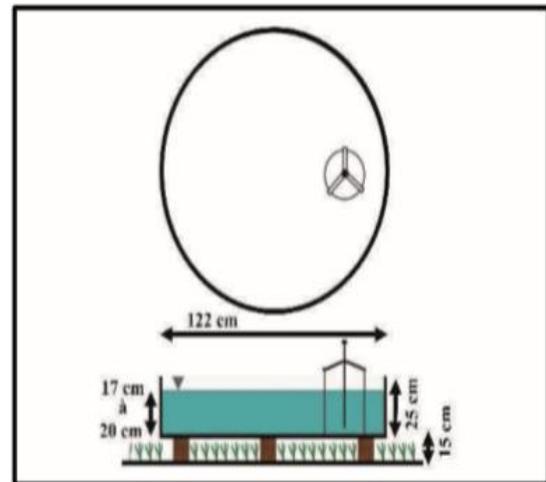


Figure 14:Diagramme schématique

d'un bac Classe A (Skhiri, 2019)

II .5.1.2. Bac d'évaporation du Colorado

Ces bacs sont moins sensibles aux influences de la température ambiante et du rayonnement solaire sur les parois, mais bien que leur bord dépasse le niveau du sol d'environ une dizaine de cm. Les gouttes de pluies ayant rebondi sur le sol et les débris qu'ils recueillent peuvent être la cause d'erreurs de mesure. Le bac " colorado " enterré se présente sous la forme d'un parallélépipède, dont la section droite est un carré de 100 cm de côté, sa profondeur est de 60 cm ; il est enterré de 50 cm (ANRH, 2002).

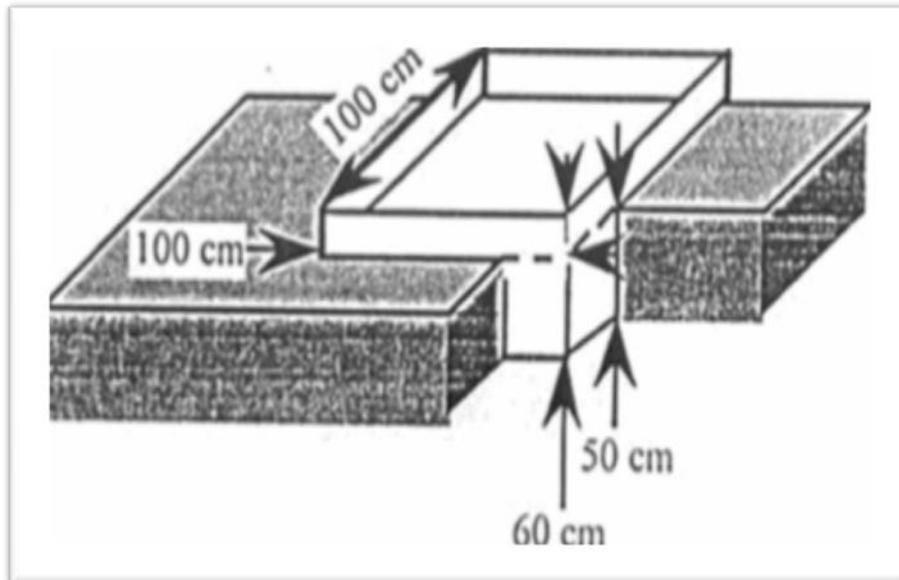


Figure 15: Bac d'évaporation du Colorado (ANRH, 2002).

II .5.1.3. Bacs flottants

Ces bacs sont particulièrement utilisés quand on veut étudier l'évaporation de grandes surfaces d'eau (lacs ou rivières). Leur installation peut être difficile (problèmes d'amarrage et de stabilité sur un plan d'eau de niveau variable). Les mesures sont évidemment moins aisées qu'à terre et sont trop souvent faussées les jours où il y a de grand vent par l'eau introduite dans le bac par les vagues ou déversé sous l'action des mouvements de roulis (Remenieras , 1963).

II .5.2. Les Evaporomètres

II .5.2.1. Evaporomètre Wild

Il est constitué par un tube cylindrique en verre en forme de U de 25 cm de long et 1.5 cm de diamètre. Ce tube gradué est fermé à sa partie supérieure, tandis que son orifice inférieur est obturé par une feuille circulaire de papier filtre normalisé de 30 mm de diamètre et 0.5 mm d'épaisseur fixée par capillarité et maintenue par un ressort. L'appareil ayant été rempli d'eau distillée (Figure .5), celle-ci est évaporée progressivement par la feuille de papier filtre. La diminution du niveau de l'eau dans le tube permet de calculer le taux d'évaporation (Remenieras , 1963).

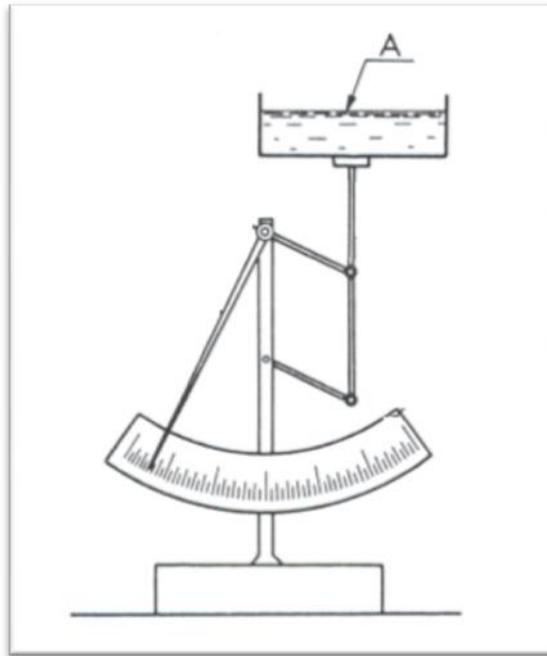


Figure 16: Evaporimètre Wild (ANRH, 2002).

II .5.2.2. Evaporimètre de Piche

Cet instrument est composé de deux parties. L'une c'est le tube en verre rempli d'eau, pour effectuer la mesure directe journalière ment. L'autre, c'est une pastille en forme de buvard composée de deux faciès l'une mouillée par l'eau du tube et l'autre à l'air libre qui se dessèche à mesure que la température augmente. Il permet de lire directement la quantité d'eau évaporée. Il est à recommandé de procéder au remplissage total du tube par l'eau sans bulle d'air, lors de la fixation de la pastille (**Charles, 1975**).

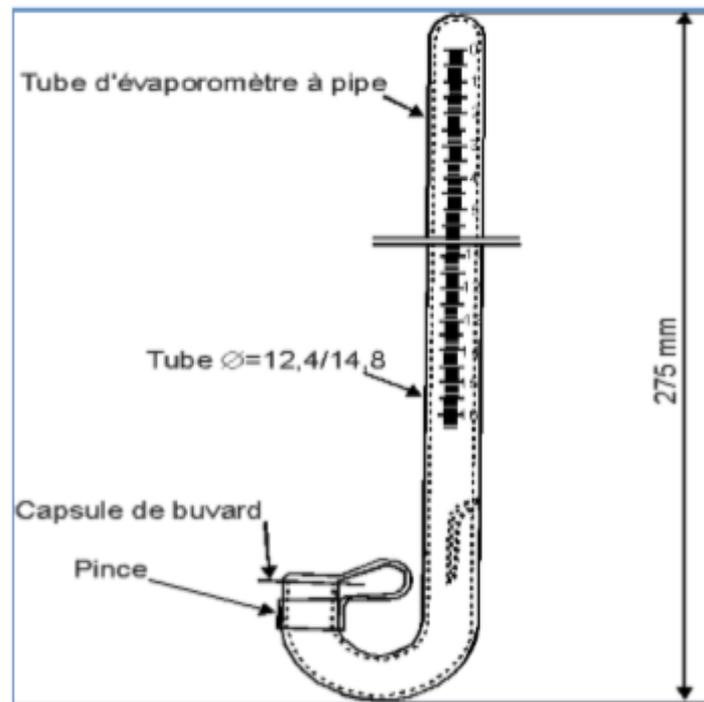


Figure 17 : Evaporomètre de Piche (Skhiri, 2019)

II .6. Le Pilotage de l'irrigation

Le terme « irrigation » a été défini comme : l'application d'eau complémentaire à celle fournie directement par les précipitations naturelles pour la production agricole.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. (Kendouci, 2019).

Le pilotage appelle aussi le déclenchement de l'irrigation, consiste à gérer et définir avec précision pour chaque arrosage la date et la dose optimale .

De nombreuses méthodes de pilotage du sol reposent sur la mesure de paramètres physiques qui sont liés soit à la teneur en eau du sol, soit à la force de liaison eau et sol (tension ou potentiel matriciel).

Le déclenchement de l'irrigation par le bilan hydrique est en général lorsque la réserve en eau du sol atteint l'humidité critique (RFU=0).

Vu qu'il assure la satisfaction des besoins en eau des cultures. Cette optimisation se base sur 3 critères :

- a) Agronomique : vise à maximiser le rendement de la culture ;
- b) Hydraulique : vise à maximiser l'efficacité de l'eau ;
- c) Economique : vise à maximiser le revenu de l'exploitation (**Mokeddem, 2016**).

Chapitre III

Matériels et méthodes

III .1. Objectif

L'objectif général de notre étude consiste à évaluer les besoins en eau (ETM) pour deux variétés de quinoa sous serre par la méthode du Bac de classe (A) dans la région de Biskra

Cette étude vise à déterminer l'effet des quantités d'eau données

- Sur les caractéristiques de développement (date et la durée en jours) des deux variétés ;
- Sur les caractéristiques morphologiques : hauteur de la plante et le nombre de ramification par plant ;
- Sur les paramètres de production : seulement le nombre de panicules.

III .2. Site expérimental

L'expérimentation est réalisée au cours de l'année 2019-2020 au niveau du département des sciences agronomiques d'université Mohammed-Khider Biskra .

III .3. Matériel et Méthodes

III .3.1. Matériel végétal

Dans cette étude on a utilisé deux variétés de quinoa codé (Tableau 5)

Tableau 5 : Les variétés testées

Code	Lignée/variété	Source
Q102	Amarilla Sacaca	Pérou
Q105	Salcedo INIA	Pérou

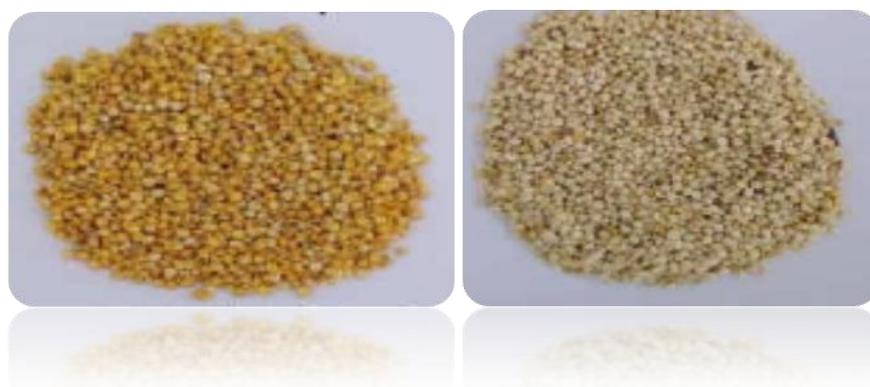


Figure 18: Les variétés de quinoa (Q102) et (Q105) (ITAS, 2019)

III .3.2. Le sol

Le tableau suivant représente les caractéristiques du sol. Les analyses du sol avant la plantation montre qu'il a une texture du sol est limono argileuse, riche en calcaire (47,12%) et faiblement salé (2,53 ds/cm).

Tableau 6 : Résultats analytiques du sol

pH	CE _{1/5} dS/cm	CaCO ₃ Total%	MO %	Cations meq/l				Anions meq/l			
				Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
7.49	2.53	47.12	1.33	10.82	12.81	4.00	0.43	0	1.49	15.93	2.04

III .3.3. L'eau

Le tableau suivant présente les caractéristiques chimiques de l'eau utilisée en irrigation Les analyses du l'eau montre que l'eau est salé avec un SAR : de 5, 31.

Tableau 7 : Résultats chimiques de l'eau d'irrigation

pH	CE 1/5 dS/cm	Cations meq/l				Anions meq/l				SAR
		Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	
7.12	4.65	19.22	13.85	12.33	0.25	0	6.8	33.90	5.03	5.31

III .3.4. Matériel technique utilisé

- Serre en plastique
- pots en plastique d'un volume 8 kg
- Bac d'évaporation classe A
- gravier
- sol + sable
- Fumier

III .4. Méthodologie de travail

III .4.1. Préparation des pots et semis

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

La démarche est comme suit : on a Tamise le sol pour enlever les cailloux et les pierres, puis on a mélangé le sol avec du fumier. Une couche de 2- 3 centimètre de gravier de taille moyenne à été placé au fond des pots afin de faciliter le drainage.

III .4.2. Mise en culture

Les graines préparées sont directement semés dans les pots le **17/11/2019**. Dans chaque pot ont été repiqués 10 poquets à 2 à 3 graines par poquets, les pots sont ensuite irrigués à leur capacité de rétention (1,5 L).



Photo 02 : Le semis (Originale, 2020)

III .4.3. La détermination de la capacité de rétention du sol

Pour déterminer la capacité de rétention, on a amené un pot vide et on a le remplit avec le sol, et puis on a le peser, on a trouvé 10,12 kg, ce dernier présente le poids du pot plus le sol sèche, et puis on a prendre le pot et on a le met dans un bassin contient l'eau pendant 24 heures et on a trouvé 11,62 kg est ça présent le poids du pot plus le sol humide.

Pour déterminer la capacité de rétention on déduit le poids de pot plus le sol humide (11,62) par le poids du pot plus le sol sèche (10,12), on a trouvé environ 1.5 L.

Donc en déduit que la capacité de rétention de ce sol environ 1.5 L.

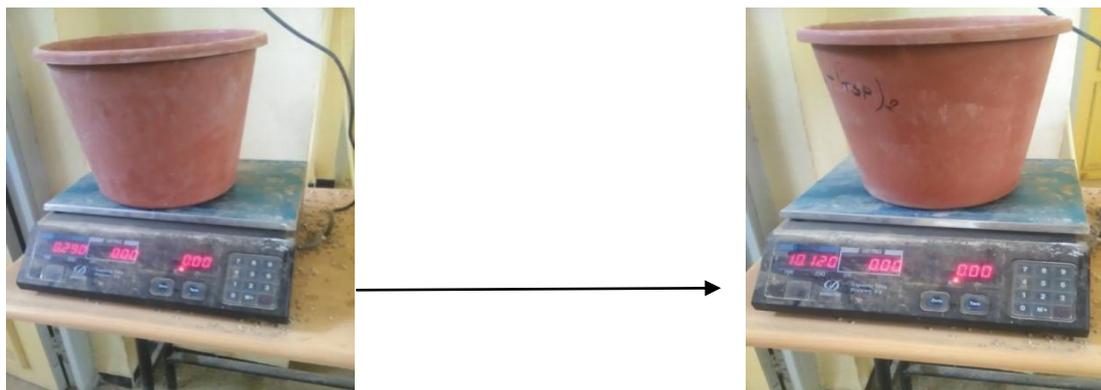


Photo 03 : L'essai de capacité de rétention du sol (Originale, 2020)

III .5. Dispositif expérimental

L'essai comporte deux variétés de quinoa (V1= Q102; V2= Q105) , et trois traitements d'eau d'irrigation (S0= 100% , S1=70 % , S2= 30%) en rapport à la capacité de rétention de l'eau du sol (1.5 L.)

- Le traitement S0 = reçoit une dose de 100 % de 1.5 L
- Le traitement S1 = reçoit une dose de 70 % de 1.05 L
- Le traitement S2 = reçoit une dose de 30 % de 0.45 L

Chaque traitement est répétée 04 (quatre) fois selon un dispositif **split-plot**

Tableau 8: Dispositif expérimental

Bloc 01	Bloc 02	Bloc 03	Bloc 04
S0V1	S2V2	S2V1	S1V2
S1V2	S0V1	S1V1	S2V2
S2V1	S1V2	S0V2	S0V1
S0V2	S1V1	S0V1	S0V1
S1V1	S0V2	S1V2	S1V1
S2V2	S2V1	S2V2	S0V2



Photo 04: Dispositif expérimental (Originale, 2020)

III .6. Mesure d'évapotranspiration sous serre

La mesure de ETPs est faite par le biais d'un bac d'évaporation de class A ce bac a une forme cylindrique, avec un diamètre de 10 cm, et une profondeur de 1,9 cm. Pour permettre à l'air de circuler librement sous le bac, ce niveau de l'eau du bac dernier se trouve placé à 20 cm au dessus du sol.

Pour obtenir le degré d'évaporation en mm, on mesure la hausse ou la baisse du niveau de l'eau libre dans le Bac à l'aide de la jauge à crochet. Cette dernière permet de mesure les variations de hauteur d'eau avec une résolution de 0.05 mm (figure 22).

la lecture journalière du niveau de l'eau dans le bac est choisie a (8h) , après 24 heures on lit la deuxième lecture du niveau de l'eau puis on calcul la différence entre les deux lecture , pour obtenir le taux d'évaporation (e) journalier en mm .

Pour estimer évapotranspiration maximale (ETM) à partir de l'évapotranspiration de référence (ET réf), ou bien ETP, on a utilise les valeurs du coefficient cultural (kc) qui varie pour chaque stade de développement de la culture.

Les coefficients cultural (KC) peuvent être définis pour le premier, le troisième et le quatrième (initial, moyen et tardif saison) et utilisée pour construire la courbe Kc (**Figure 23**).

les valeurs de K_c sont standardisé selon les directives de la FAO sont présentées dans le tableau 9 (Doorenbos et Pruitt, 1986; Allen et al., 1998 in Garcia et al 2002).

Tableau 9 : Le coefficient culturel de la culture de quinoa

Stade de croissance	K_c initial	végétatif	Mi- saison	Fin de saison
K_c	0,52	Dynamique	1.00	0.70

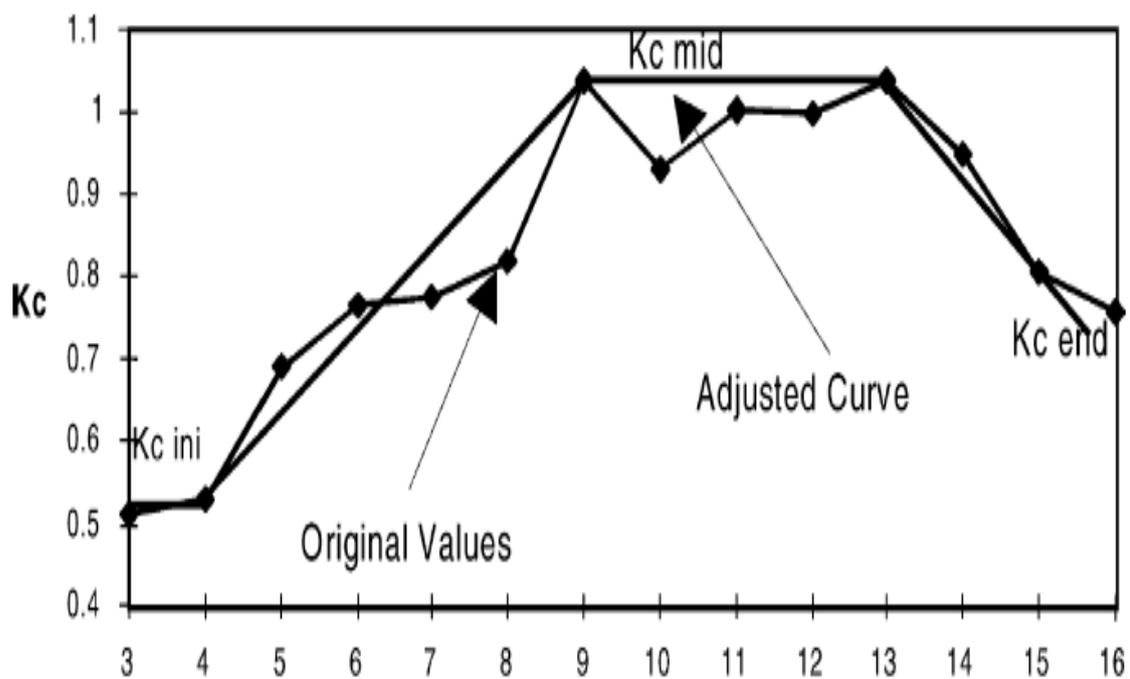


Figure 19 : Coefficient de culture K_c pour le quinoa (Garcia et al 2002)

$$ET_{réf} = K_{bac} \times E_{bac} \left(\frac{mm}{j} \right)$$

$$ETM = ET_{réf} * K_c$$

où

ETM : Besoin en eau ;

ETo: évapotranspiration potentielle de référence;

K_{bac} : coefficient du bac sous serre; qui est généralement (0,9)

Ebac: évaporation du bac ;

Kc : coefficient culturelle.

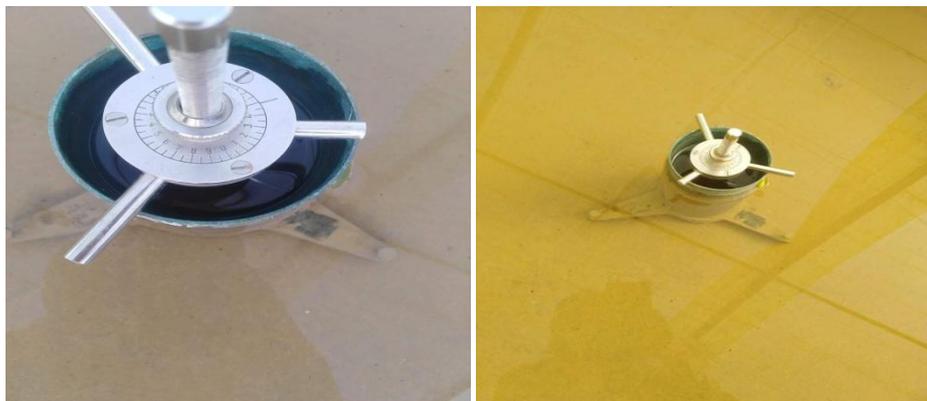


Photo 05: la jauge à crochet d'évaporation (Originale, 2020)

III .7. Identification des stades

Tableau 10 : Identification des stades phénologiques du quinoa (ITDAS, 2019).

Les stades	Identification
Stade levé	Est atteint lors de la sortie des feuilles cotylédonaire, on note la date lorsque la levée a été atteinte par 90% des plantes levées de la parcelle.
Deux feuilles vraies	On Note la date lorsque le stade a été atteint par 50% des plantes de la parcelle.
Quatre feuilles vraies	L'apparition de la 2 ^{ème} paire des feuilles vraies. On Note la date lorsque le stade a été atteint par 50% des plantes de la parcelle.
Six feuilles vraies	L'apparition de la 3 ^{ème} paire des feuilles vraies. On Note la date lorsque le stade a été atteint par 50% des plantes de la parcelle.
Ramification	A partir de stade de 8 feuilles. Les feuilles cotylédonaire jaunies et tombe et laisse une cicatrice sur la tige. On Note la date lorsque le stade a été atteint par 50% des plantes de la parcelle.
Panicule	L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, et la composition des glomérules et les boutons floraux.

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

III .8. Paramètres étudiés

Pour réaliser l'objectif de notre essai nous avons pris en considération les paramètres suivants ; mais en raison de la situation sanitaire du au virus du corona, les paramètres de production n'ont pas pu être atteint.

A .Taux de germination

Le test de germination est réalisé dans les conditions de laboratoire du département d'agronomie. La détermination du pourcentage de germination est réalisée par l'imbibition de 30 graines de chaque variété dans l'eau d'irrigation en condition normale pendant 48 h.

Le pourcentage de germination est calculé selon la méthode de **Doran et Gunn (1986)** par la formule suivant:

$$G\% = 100 * (T/N)$$

G%: Pourcentage de germination

T: Nombre des graines germées.

N : Nombre total des graines mises à germer.

Tableau 11 : Test de germination

Variété	Taux de germination
V1 (Q102)	100 %
V2(Q105)	93 %

**Photo 06** : La germination du grain de quinoa (Originale, 2020)**C. Hauteur de la plante**

La hauteur des plants (cm) a été mesurée de la tige jusqu'au sommet des panicules ; 03 plants mesurés ont été réalisés sur chaque pot.

D. Nombre de ramification

On comptabilise toutes les feuilles vraies qui ont pris leurs formes définitives et qui soient bien visibles, 3 plants par pot.

E. Nombre de panicules

On mesure le nombre moyen des panicules, 03 plants pour chaque pot.

III .9. Analyse statistique

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés ; nous avons procédé à des analyses de la variance et à la comparaison des moyennes à l'aide du **logiciel ANOVA et XLSTAT(2014)**.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Effet des quantités d'eau d'irrigations (S0, S1, S2) sur les stades de développements (durée et date) de la culture de quinoa

D'après le tableau 11, On remarque une différence bien nette dans la durée de développement des plantes par rapport aux traitements d'irrigations (S0, S1et S2)

Durant le stade levé on remarque que chez la variété V1 la levée est plus précoce (08 jours), alors que la variété V2 le stade levé a duré (10 jours) dans les traitements d'irrigation (S0, S1et S2). La variété V1 atteint le stade deux feuilles vraies dans (13 jours), suivi par la variété V2 qui enregistrée aune durée de (16 jours) dans les traitements d'irrigation (S0, S1et S2).

Le stade quatre feuilles vraies est atteint en premier lieu chez la variété V1 (22 jours), suivi par la variété V2 avec une durée de (26 jours) dans les traitements d'irrigation (S0, S1et S2).

Le stade six feuilles vraies est atteint en premier lieu chez la variété V1 (28jours), suivi par la variété V2 avec une durée de 35 jours dans les traitements d'irrigation (S0, S1et S2).

Le stade de ramification est atteint en premier lieu chez la variété V1 avec une durée de (34 jours), suivi par la variété V2 avec une durée de (55 jours) dans le traitement d'irrigation le S0, alors que on a remarque qu'un retard dans la croissance de la plante en traitement S1 (57 jours) et le traitement d'irrigation S2 (63 jours).

Le stade début de panicule est atteint en premier lieu chez la variété V1 avec une durée de (50 jours), suivi par la variété V2 avec une durée de (80 jours) dans le traitement d'irrigation (S0) et e on a enregistré un retard dans durée de formation de panicule de la plante dans le traitement d'irrigation (S1) : 83 jours et le traitement d'irrigation (S2) :(87 jours). Mais, dès le stade de floraison on a observé que les plantes chez la variété V1 dans le traitement d'irrigation (S0) ce stade est atteint a 61 jour avec une différence de durée de floraison de 1 jour jusqu'à 3 jour dans les traitements d'irrigation S1 et S2 par rapport à S0.

Le stade grain laiteux est atteint en premier lieu chez la variété V1 avec une durée de (81 jours) dans le traitement d'irrigation S2, suivie par les traitement d'irrigation (S0 et S1) de

durée de (83 jours) ce qui explique que le traitement S2 a contribué au raccourcissement d cette phase suite a la contrainte hydrique (30% de ETM)

Aussi bien, Le stade grain pâteux est atteint en premier lieu chez la variété V1 avec une durée de (102 jours) dans le traitement d'irrigation (S2), suivi par le traitement (S1 avec une durée de (103 jours.En fin le traitement d'irrigation S0 qui a enregistré une durée élevée de 104 jours

A la fin du cycle qui est la maturité physiologique on remarque chez la variété V1 la durée est identique pour tous les traitements d'irrigations (S0, S1et S2) (120 jours),

RQ : En raison de la propagation de l'épidémie, COVID 19, on n'a pas pu enregistrer les stades de développement (floraison, grain laiteux et pâteux et la maturité physiologique) puis que cette variété V2 est tardive).

Tableau 12 : La durée des stades phénologiques en jours

Les stades	N° des jours (2019 -2020)					
	S0 (100%)		S1 (70%)		S2 (30%)	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Stade levé	08 Jours	10 Jours	08 Jours	10 Jours	08 Jours	10 Jours
Deux feuilles vraies	13 Jours	16 Jours	13 Jours	16 Jours	13 Jours	16 Jours
Quatre feuilles vraies	22 Jours	26 Jours	22 Jours	26 Jours	22 Jours	26 Jours
Six feuilles vraies	28 Jours	35 Jours	28 Jours	35 Jours	28 Jours	35 Jours
Ramification	34 Jours	55 Jours	34 Jours	57 Jours	34 Jours	63 Jours
Début de la formation du panicule - Panicule	50 Jours	80 Jours	50 Jours	83 Jours	50 Jours	87 Jours
Floraison	61 Jours	/ Jours	62 Jours	/ Jours	64 Jours	/ Jours

Grain laiteux	83 Jours	/ Jours	83 Jours	/ Jours	81 Jours	/ Jours
Grain pâteux	104 Jours	/ Jours	103 Jours	/ Jours	102 Jours	/ Jours
Maturité physiologique	120 Jours	/ Jours	120 Jours	/ Jours	120 Jours	/ Jours
N° totale des jours	120 Jours	/ Jours	120 Jours	/ Jours	120 Jours	/ Jours



Stade levée



Deux feuilles vraies



Quatre feuilles vraies



Six feuilles vraies



Ramification



Début de la formation du panicule



Panicule



Début de la floraison



Floraison



Grain laiteux



Grain pâteux



**Maturité
physiologique**

Photo 07 : Les stades de développement du quinoa V1 (Originale, 2020)



Stade levée



Deux feuilles vraies



**Quatre feuilles
vraies**



Six feuilles vraies



Ramification



**Début de la
formation de la
panicule**

Photo 08: Les stades phénologiques du quinoa v2 (Originale, 2020)

IV .2. Besoin en eau (ETM) (mm/ cycle)

Les besoins journalières de la culture de quinoa sont calculés en utilisant la méthode de bac d'évaporation classe (A). Les besoins de la plante journalières sont estimés des le stade de semis jusqu'a stade de fin de formation des panicules,

D'après le tableau n°12, nous indique la variation des besoins selon les stades et le cumul utilisées par la plante , on remarque que les besoins de la culture évoluent selon les stades arrivant a maximum de 48, 6 mm/ mois au formation de panicule pour donner un totale de 141, 76 mm/ cycle

On remarque que, les besoin en eau des cultures sont exprimés par évapotranspiration cultural (ETM), elle est considérée la composante essentielle dans la gestion de l'irrigation, cette quantité d'eau utilisée par le plante dépend de d'évapotranspiration qui est influencée par les stades de croissances (KC), le degré de maturité et les conditions environnante (climatiques et sol) (FAO, 1989).

Tableau 13 : Besoins de la culture du quinoa (ETM)

Mois	ETM (mm)/ mois
18 Novembre – 17 Décembre	18.165
18 Décembre – 17 Janvier	40.082
18 Janvier – 17 Février	30.042
18 Février – 17 Mars	53.469
Total	141.758

La figure (28) représente l'évolution des quantités d'eau utilisées dans les traitements d'irrigations (S0, S1et S2). Les résultats du traitement d'irrigation témoin (S0) ont montré un total de 69 arrosages avec un cumul de 103.5 mm d'eau durant tous les stades végétatifs de la culture de quinoa. En ce qui concerne le traitement d'irrigation (S1) le nombre d'arrosage est de 84 fois, et le cumul des quantités d'eaux sont environ 88.2 mm, avec une réduction de 11,56% par rapport a traitement témoin S0 , le traitement d'irrigation (S2) a enregistré 108 arrosages,

soit environ 48.6mm des quantités d'eau données avec une réduction de 50% par rapport aux traitement d'irrigation témoin (S0).

Cela explique que les quantités d'eau utilisée par la plante dans le traitement d'irrigation S2 (30%) et S1 (30%) sont rendues à celle des S0 (100%) qui est considérée comme un traitement témoin sans stress hydriques **voire Annex (01).**



Photo 09 : Mesure ETP par le bac de class A (Originale, 2020)

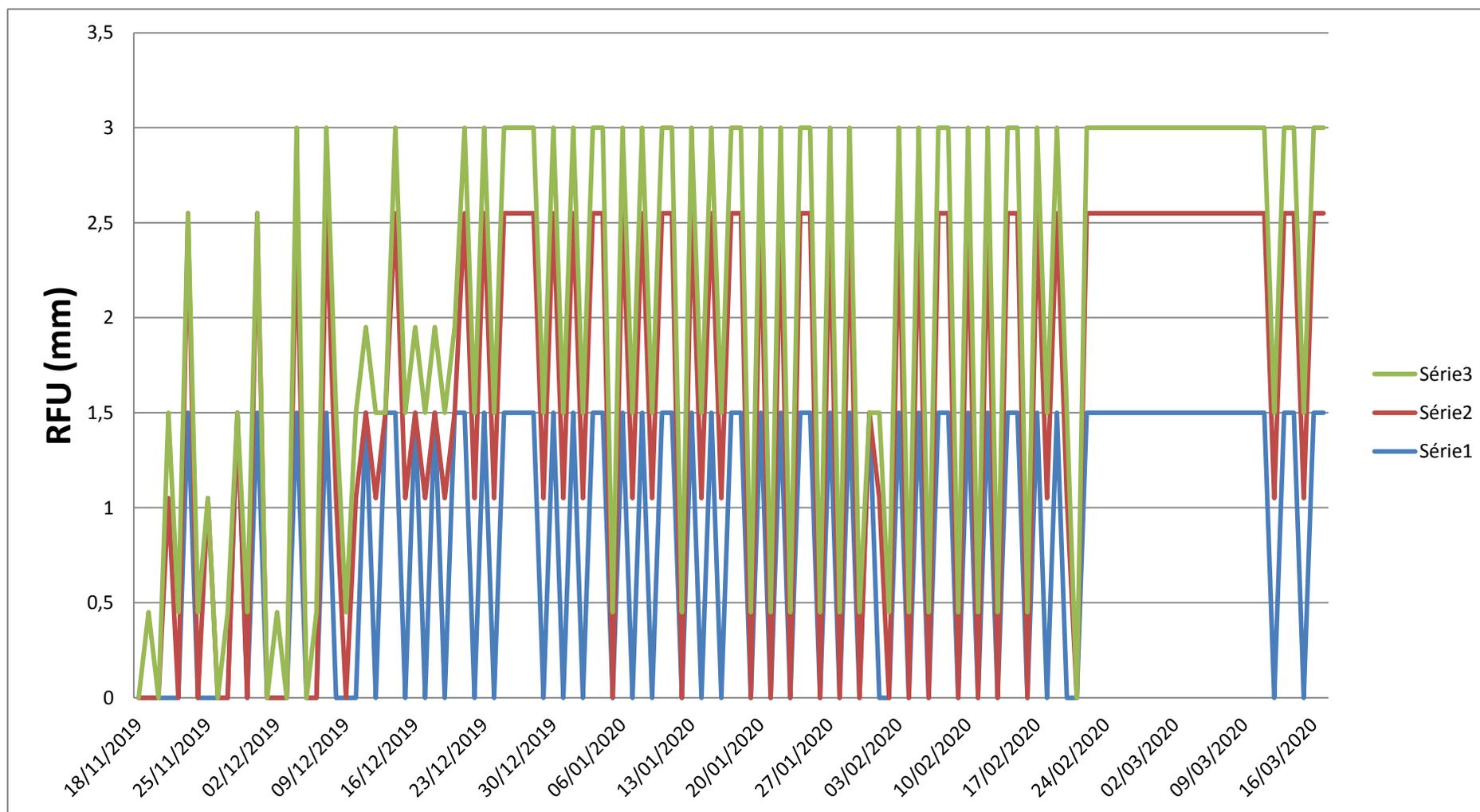


Figure 20 : Evolution des doses d'irrigation sous serre

IV .3. L'effet traitements d'irrigations sur les caractéristiques morphologiques

IV.3.1. Hauteur moyenne de la plante en cm (HP)

La figure (29) nous montre la variation de la hauteur moyenne dans les traitements d'irrigation. (S0, S1et S2), on remarque le traitement témoin(S0) présente une hauteur plus élevée comparativement aux autres traitements.

L'analyse statistique par le test de (Newman et Keuls 5%) sur l'effet traitement nous a montré (tableau (12) une différence significative sur de l'effet de besoin en eau sous serre et la hauteur de la plante.

Le traitement d'irrigation (S0) est classée en groupe A avec une meilleure hauteur (41,688 cm), suivi par le traitement d'irrigation (S1) qui est classée en groupe B avec une hauteur moyenne (38,813 cm), le dernier traitement d'irrigation (S2) est classée en groupe C avec une hauteur moyenne (32,363 cm).

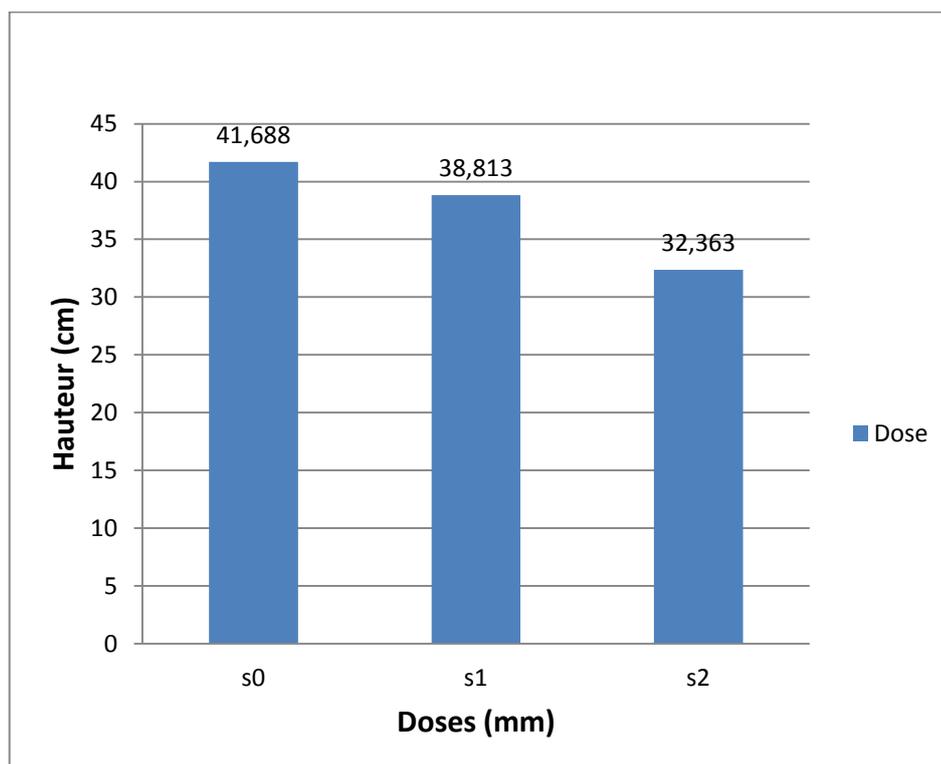


Figure 21 : Hauteur moyenne (cm) de la plante.

Tableau 14: Groupes homogènes (Hauteur moyenne des plants en cm)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
s0	41,688	A	
s1	38,813		B
s2	32,363		C

Aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet variété (tableau 13). Ou la variété V2 est classée en groupe A avec une hauteur moyenne plus élevée (45,100 cm), et la variété V1 est classée en groupe B avec une hauteur moyenne (30,142 cm) voire le tableau (13).

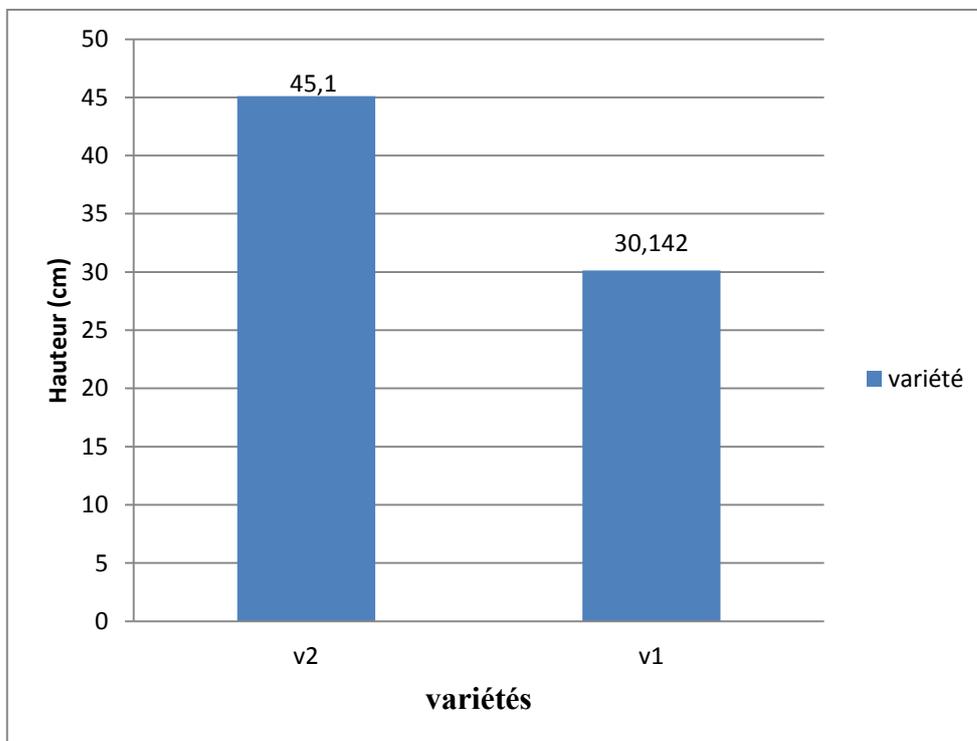
**Figure 22: Effet de la variété sur la hauteur de la plante**

Tableau 15 : analyse de la variance effet variété (Hauteur moyenne des plants en cm)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
v2	45,100	A
v1	30,142	B

L'interaction (traitements d'irrigation * variétés) mentionnée par le tableau (14) et la figure 31. L'analyse statistique a montré une différence significative (Newman et Keuls 5%) pour la hauteur de plante.

Ce test a classé six groupes homogènes, (V2S0) est classée en groupe (A) présente une hauteur plus élevée, (50,27cm) suivie par le groupe (V2S1) qui est classée en groupe (B) avec une hauteur (47,800cm), suivie par les groupes V2S2, V1S0, V1S1 sont classés en groupes (C, D, E) avec une hauteur (37,225 cm ; 33,100 cm ; 29,825 cm), V1S2 dans le groupe F avec une hauteur (27,5 cm). **Annexe (2)**.

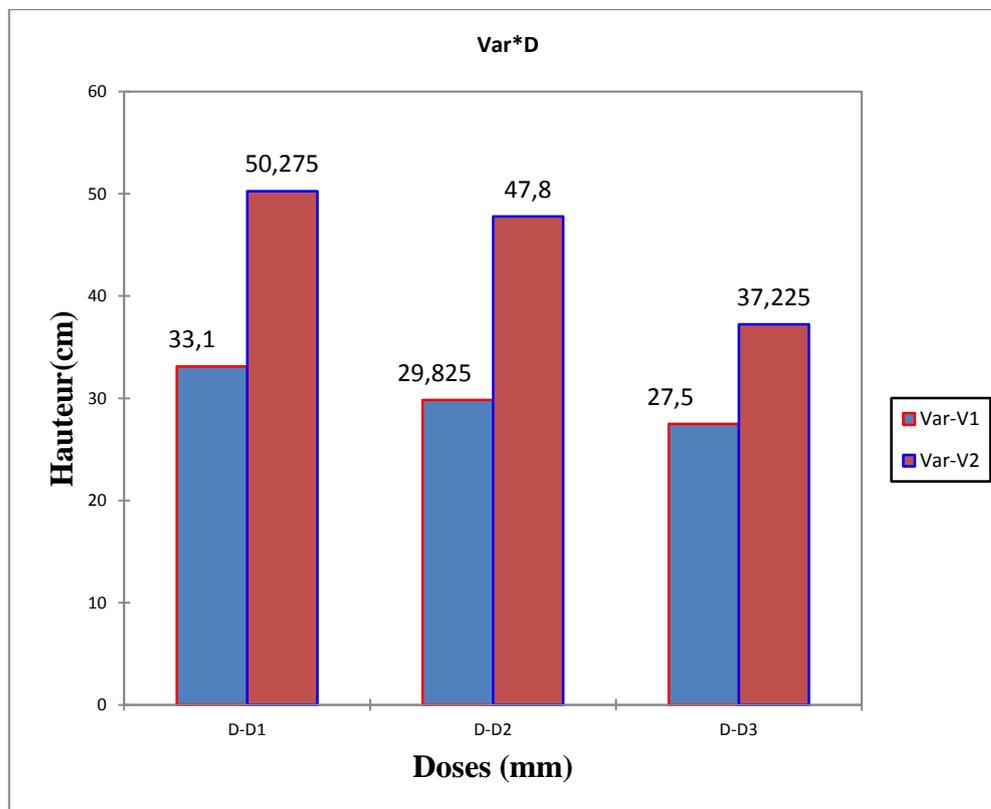
**Figure 23** : Interaction (Hauteur des plants en cm)

Tableau 16: Groupes homogènes d'interaction (Hauteur des plants en cm)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
Var-v2*Type irr-s0	50,275	A			
Var-v2*Type irr-s1	47,800		B		
Var-v2*Type irr-s2	37,225			C	
Var-v1*Type irr-s0	33,100				D
Var-v1*Type irr-s1	29,825				E
Var-v1*Type irr-s2	27,500				F

On peut expliquer que, la réduction de la hauteur de la tige des plantes induite par un déficit hydrique est due à un retard dans la croissance végétative suite à une baisse de divisions cellulaires qui empêche l'absorption de l'eau par les racines (**Oukara et al.,2017**).

IV.3.2. Nombre de ramification moyen par plante

La figure (32) montre la variation de nombre de ramification avec les traitements d'irrigations. L'analyse statistique a montrée (le tableau 15) une différence significative de sur le nombre des ramifications par plante.

Le traitement d'irrigation (S0) classée en groupe (A) a donné le nombre des ramifications le plus élevée (39), suivi par traitement d'irrigation (S1) qui est classée en groupe B avec un nombre de ramification (35) enfin le traitement d' (S2) est classée en groupe C avec un nombre des ramifications (33).

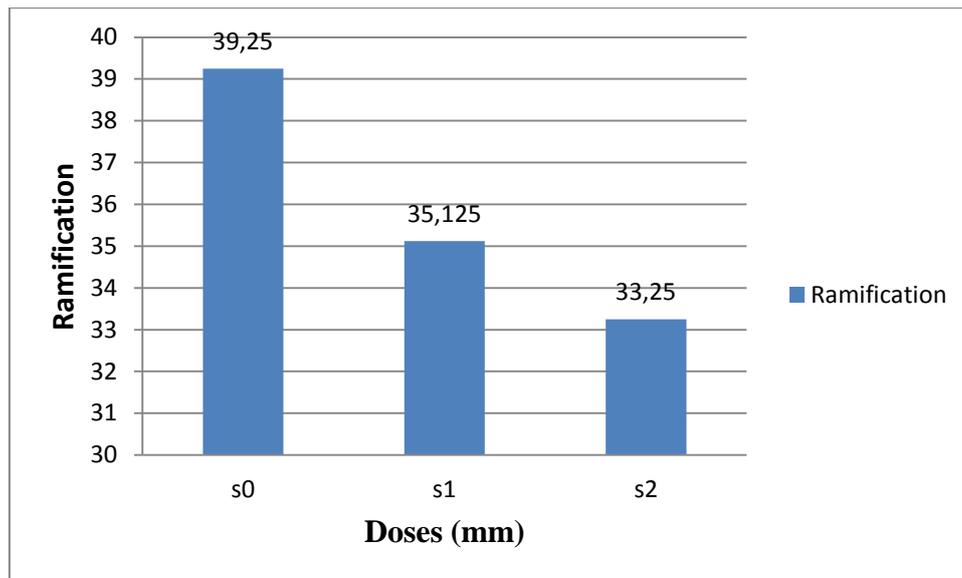


Figure 24: Effet des traitements d'irrigation sur le nombre des ramifications

Tableau 17: Groupes homogènes (Nombre des ramifications par plant)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
s0	39,250	A
s1	35,125	B
s2	33,250	B

Aussi statistiquement on a observé une différence significative pour l'effet variété (tableau 16). On remarque le V2 est classée en groupe A avec un nombre des ramifications plus élevée (38,583), et V1 est classée en groupe B avec un nombre des ramifications (33,167)

Tableau 18: analyse de la variance (nombre de ramification par plante)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
v2	38,583	A
v1	33,167	B

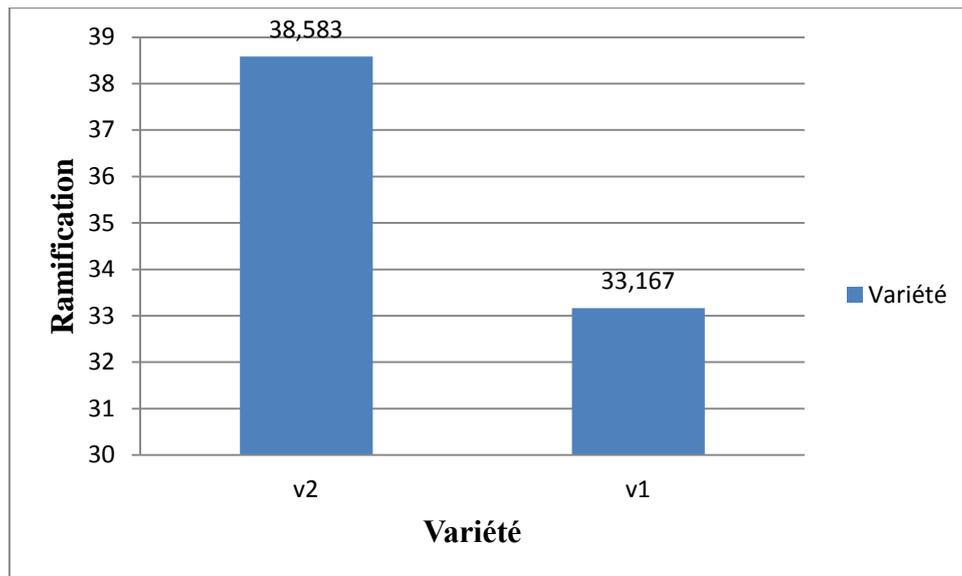


Figure 25 : Effet de variété sur le nombre des ramifications

L'interaction (les traitements * variétés) a montré suite à l'analyse de variance par le test de Neuman et Keuls au seuil 5% une différence significative. (Tableau (17)). Ce test a classé en six groupes homogènes, (V2S0, V2S1, V1S0, V2S2) est classée en groupe (A) présente un nombre des ramifications plus élevé, suivi par les traitements (V2S1, V1S0, V2S2, V1S1) est classée en groupe (B), les traitements (V2S1, V1S0, V2S2, V1S1) sont classés en dernier groupe (C) voir Annexe (3).

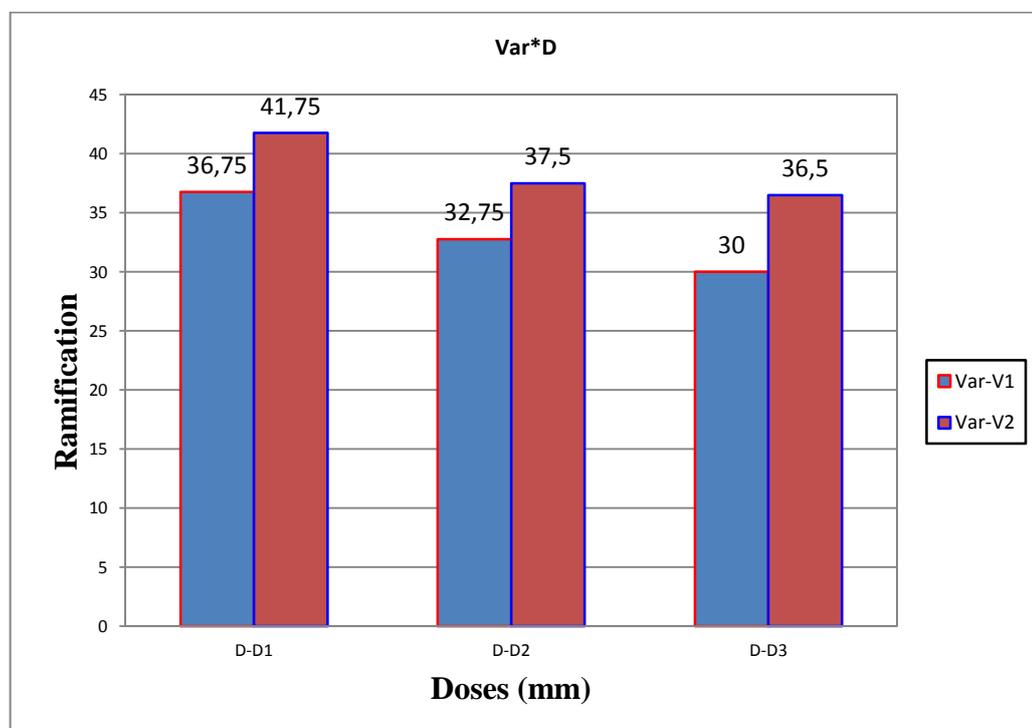


Figure 26 : Interaction (Ramification de la plante)

Tableau 19 : Groupes homogènes d'interaction (Nombre des ramifications par plant)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
Variétés-v2*Type Irr-s0	41,750	A		
Variétés-v2*Type Irr-s1	37,500	A	B	
Variétés-v1*Type Irr-s0	36,750	A	B	C
Variétés-v2*Type Irr-s2	36,500	A	B	C
Variétés-v1*Type Irr-s1	32,750		B	C
Variétés-v1*Type Irr-s2	30,000			C

IV.3.3. Nombre des panicules

La figure suivante nous montre que l'effet des traitements d'irrigation sur le nombre des panicules par plante. On remarque que traitement d'irrigation (S0) a donnée les plus grands nombre de panicule (11) panicules par plante. Suivi par le traitement d'irrigation (S1) qui a donnée (9) panicules. Le dernier traitement d'irrigation (S2) a donnée les plus petites nombre des panicules (6) panicules par plante **voire Annexe (4)**.

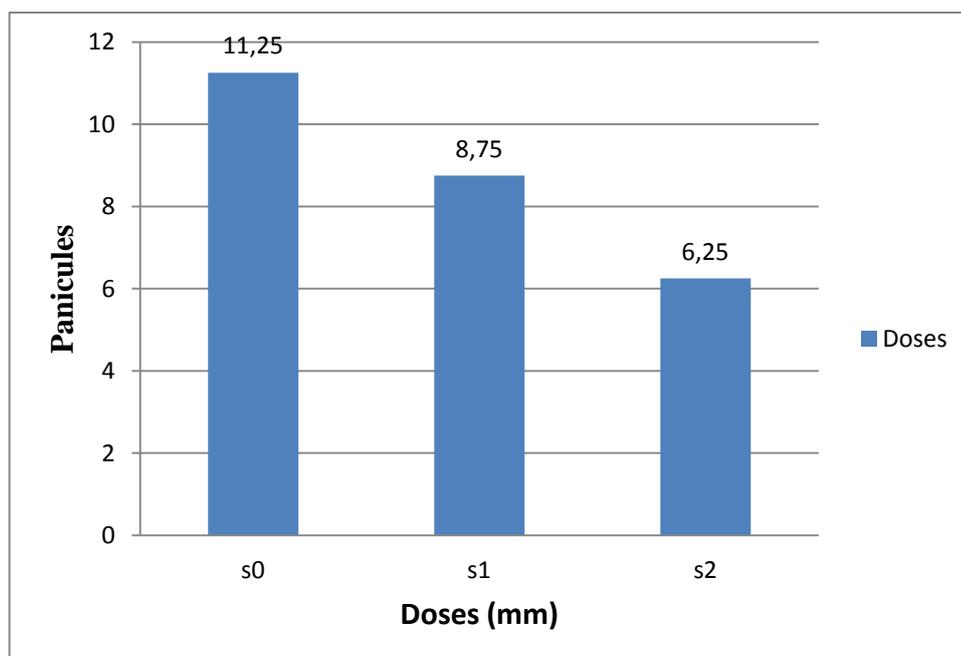


Figure 27 : Effet de besoin en eau sur le nombre de panicule

D'après l'analyse de variance on observe a une différence significative entre les traitements (**voir le tableau (18) et l'Annexe(4)**).

Ce test a classée en trois groupe homogène, le traitement d'irrigation (S0) est classée en groupe A, suivi le traitement d'irrigation (S1) qui est classée en groupe (B) et le dernier traitement d'irrigation (S2) est classée en groupe C.

Tableau20 : Analyse de variance (Nombre des panicules par plante).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
s0	11,250	A
s1	8,750	B
s2	6,250	C

IV.3.4. synthèse sur L'effet des traitements d'irrigation sur les paramètres de croissance

Le tableau 18 regroupe l'effet des trois traitements d'irrigation sur la hauteur des plantes, la ramification et le nombre de panicule par plante.

On remarque que traitement d'irrigation S0 qui est considérée comme 100% de l' ETM a donné une meilleure hauteur, nombre élevé de ramifications et cela a permet a la plante de former un maximum de nombre de panicule.

Le deuxième traitement d'irrigation S1 qui est caractérisé par 70% par rapport a l'ETM a contribué à une hauteur moyenne des plantes 29,825 cm, suivi par un nombre de ramification de 32,750 et que par la suite la plante a formé un nombre de panicule 8,750.

Le dernier traitement d'irrigation S2 qui est caractérisé par une 30% de ETM a contribué a une réduction nette de hauteur 27,500 cm, suivi par le nombre faible de ramification 30,000 et par conséquent la plante a aboutit a la formation des petites nombre des panicules **voire le tableau (19)**.

Tableau 21 : Analyse de variance (Nombre des panicules par plante).

	H	R	P
D1	33,1000	36,7500	11,2500
D2	29,8250	32,7500	8,7500
D3	27,5000	30,0000	6,2500

Le stress hydrique réduit la production de la matière sèche de tous les organes par suite de la fermeture des stomates et l'augmentation de la résistance du mésophylle (**Hallaire 1977 ; Fischer et Turner 1978 ; Santamaria et al ., 1990 ; De Raissac 1992**). La production est plus importante chez la variété.

Cette situation nous a permis d'affirmer que le rendement final et la production de la culture de quinoa est liée aux caractéristiques morphologiques (hauteur, nombre de ramification) et le paramètre de nombre de panicule. Et que malgré la diminution des besoins en eau, 30%, la culture de quinoa a montré une certaine résistance à la contrainte d'eau.

Mais, le besoin en eau à 100 % de ETM sous serre et qui sont obtenus par le bac de class A avec un total de 103.5 mm durant le cycle de maturité physiologique est recommandé pour la maximisation du rendement et de la production pour la culture de quinoa sous serre.

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier l'estimation du besoin en eau (ETM) de la culture de quinoa sous serre dans des conditions de stress hydrique par la méthode de bac d'évaporation classe (A), cette estimation consiste à déterminer la durée et la fréquence d'irrigation appropriées de la culture de quinoa sous serre et leur sur la croissance de la culture de quinoa.

Les résultats du besoin en eau par le bac d'évaporation classe (A) sous serre ont donné un total de 141.758mm jusqu'à fin de formation de panicule, ces besoin en eau utilisées à 100 % de ETM sous serre et qui sont obtenue par le bac de est recommandé pour la maximisation du rendement et de la production pour la culture de quinoa sous serre.

Les résultats de pilotage d'irrigation par le bac d'évaporation classe (A) sous serre :

Ont montré un total de 103.5mm d'eau ont été consommés pour répondre aux exigences pour le traitement d'irrigation (S_0 100%), avec une fréquence d'arrosage qui est égale à 69; suivi par le traitement (S_1 70%) qui a montré un total de 88.2 mm; avec une fréquence d'arrosage qui est égale à 84.

Enfin le traitement d'irrigation (S_2 30%) a montré que les plantes ont consommées que 48.6mm.

Concernant les caractères morphologiques

Le traitement d'irrigation S_2 a montré une réduction significative dans la hauteur des deux variétés de quinoa soit une hauteur de (27,5 cm), chez la variété V1, alors que la variété V2 a donné la meilleure hauteur (50,275 cm).

Du meme ce même traitement (S_2) a montré une réduction significative dans le nombre de ramifications par plante chez la variété V1, alors que la variété V2 a donné un nombre élevé des ramifications.

Concernant les caractères de production

La quantité d'eau d'irrigation donnée pour le traitement (S2) a entraîné une réduction significative dans le nombre des panicules chez la variété V1.

Cette situation nous a permis d'affirmer que le rendement final et la production de la culture de quinoa sont liés aux caractéristiques morphologiques (hauteur, nombre de ramification) et le paramètre de nombre de panicule. Elle nous a aussi permis de constater que malgré la diminution des besoins en eau (30%); la culture de quinoa a montré une certaine résistance à la contrainte d'eau.

Pour notre cas, malgré le manque de paramètres de production qui est dû aux conditions sanitaires propres au Covid-19, on peut suggérer que, la variété (V1) **Amarilla Sacaca**, nommée par (Q102) peut être proposée comme une variété pour multiplication, d'après les résultats de l'ITDAS, (2017) Elle a enregistré un rendement élevé (environ 20qx/ha) que soit au niveau de l'ITDAS ou chez les agriculteurs (**Hoggi et Khaled ,2019**).

Enfin, la culture de quinoa devrait être prise en considération pour encourager sa production en raison de son adaptation aux contraintes hydriques, d'autres études sont cependant nécessaires pour mieux évaluer les capacités de production de cette culture dans les milieux arides.

Références

- 1- **Aabha D., 2015**-Adaptation au changement climatique : produire plus de quinoa grâce aux techniques nucléaires. IAEA Bulletin, Pérou, p : 11.
- 2- **Aidoudi L.,2012**.etude du bilan hydrologique de la retenue du barrage de foug el gherza (wilaya de biskra).mémoire magister rn hydraulique. Univ-biskra.P76
- 3- **Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A. & Rahnama, A.(2011)**. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Water Management* 100, pp. 1–8.
- 4- **ANRH. (2002)**. Notice explicative de la carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie. Edit : Agence nationale des ressources hydrauliques. Alger, 42 p.
- 5- **Best K . and L.G. James.1988**W. ashingtoni nigation fbrecasteri,n Claudio,O n : Evaluationo f on form irrigations chedulingm ethodsf o r potatoesA. m.Potâtoj.. 7l : Pp155-164.
- 6- **Bioversity International et FAO., 2013**- Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N° 538, Pp:3-38.
- 7- **Bouchet R.J., Robelin M., 1969**- Météorologie et agronomie bulletin Technique d'information : 238.
- 8- **Bouhlassa; 2006**. p. Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilalet : Evaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non Saturée de la Plaine de Tafilalet ; Soutenue le 5 septembre, devant le jury Pp30.
- 9- **Bruno, M. & Whitehead, W., 2003** Chenopodium Cultivation and Formative Period Agriculture at Chiripa, Bolivia. *Latin American Antiquity*, 14: 339-355.
- 10- **Charles R., 1975**- La détermination pratique de l'évaporation. Application à
- 11- **Chiara. C., Camilla. M., Bianca. M., Cinzia. S., Eugenio.S., 2013** Quinoa in the kitchen. Ed; G. Canale et C. Spa, Borgaro Torpinèse (Turin). Italie,P 95.
- 12- **Coulter, L and Lorenz K. 1990**. Quinoa composition, nutritional value, food applications. *Food Science Technology*, 23, 203-207.
- 13- **De Raissac, M. (1992)**. Mécanisme d'adaptaion à la sécheresse et maintien de la productivité de plantes cultivées. *Agronomie tropicale* 46, 29-39.

- 14- DUBOST D., 1992-** Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes .In sécheresse no 2. vol. 3. Ed; Czech J. Food SCI. Vol 27.No2. Bratislava. Slovaque République. Pp 71-74.
- 15- El Hhafid. R., 2005.** Quinoa: The Next Cinderella Crop for Alberta ? Ed; Alberta Agriculture, Food and Development. Alberta. Canada P10.
- 16- Fao (Food and Agriculture Organization),, 2001.** . Cultivos Andinos: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Mujica, A., Jacobsen, S.E., Izquierdo, J., Marathe, J.P. (Eds.). Santiago, Chile. (CD-Rom).
- 17- Fisher. R.A., Turner, N.C. (1978).** Plant productivity in the arid and semi-arid zone, *Ann.Rev. plant. Physiol.* 29, 277-317.
- 18- Foucault A., 2014-** Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : application clinique. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France,P 112.
- 19- Gallardo M., Pardo F., Gonzales J., 1996.** Efecto del CINa sobre el contenido de betalainas en *Chenopodium quinoa* Willd. XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. 20-22 de marzo, Mendoza, Argentina, 284-285.
- 20- Gandarillas H., 1979.** Botánica. In : Tapia M.E., Gandarillas H., Alandía S., Cardozo A., Mujica A., Ortiz R., et al., editors. La quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA),Pp 20-44.
- 21- Gracia M .,Raes D., Jacobsen S.E 2003 .** Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands . CIP, Apartado 1558, Lima 12 ., pp 129-130.
- 22- Hadj hammou B . 2019.** Etude De Comportement Agronomique De Quelques Varietes De Quinoa (*Chénopodium Quinoa*. Willd) .Dans La Region D'adrar; Zone De T'sabit.,Thèse master 2, université Ahmed Draïa Adrar.
- 23- Hallaire, M .1977.** La sécheresse et production végétale. *Bull. Tech.* 324, 57-651.
- 24- Herbillon M., 2015.** Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. these pour le diplôme d'état de docteur universite de rouen u.f.r de medecine et de pharmacie .Dumas.P 40

- 25- Jacobsen S.E., Stolen O., 1993.** Quinoa – Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.*, 2, 19-29.
- 26- Jancurova.M., Minarovicova. L et Dandar. A., 2009.** Quinoa – A Review
- 27- Jensen M.E., J.L. Wright. and B. Pratt. 1971.** Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transactions of the ASAE* 14 (5), pp : 54-59.
- 28- Katerji N., & Perrier A., 1983** Modélisation de l'évapotranspiration réelle ETR d'une sur l'Altiplano bolivien. Thèse de doctorat, Agro Paris Tech, France. l'Afrique centrale. ORSTOM. Paris: p 27.
- 29- Kendouci M A., 2019-** Polycopié Pédagogique de Cours "Irrigation", Université TAHRI Mohamed, Béchar : P1
- 30- Lebon Vallet , 2008 :** Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano bolivien. Thèse de doctorat, Agro Paris Tech, France. l'Afrique centrale. ORSTOM. Paris: p 27.
- 31- Malti I., 2019.** Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la croissance et la production de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), Thèse master 2, université Mohamed Khider de Biskra.
- 32- Maradini A., Pirozi M., Borges J., Sant'Ana H., Chaves J., Coimbra J., 2015-** Quinoa: Nutritional, functional and antinutritional aspects. Campus University. Brazil, p: 6-34.
- 33- Mokeddem Z ., 2016 -** Conduite de l'irrigation gravitaire par pilotage tensiométrique pour la conduite de *Panicum virgatum*(halophyte), Thèse master 2, Université Abd el Hamid Ibn Badis Mostaganem.
- 34- Moore. F., 2017.** Développement de la culture de quinoa en Outaouais., Ed; Club des services agroenvironnementaux de l'Outaouais. Québec, Canada.
- 35- Mujica A., Izquierdo J., Marathe J.P., 2001.** Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
- 36- Nain, A.S.and Kersebaum, K.Ch. (2007).** Calibration and validation of CERES-wheat model for simulating water and nutrients in Germany. *Springer*, pp. 161–181.
- 37- Norim ., Davies J., 2007-** Vent du changement : changement climatique, adaptation et pastoralisme l'initiative mondiale pour un pastoralisme durable. WWW.iucn.org/Wisp/Fr/document-French/Wisp-ccap-final-Fr-pdf p270.

- 38- OMM1997.** Estimation of areal evaporation. Technical reports in hydrology and water resources No.56, WMO/TD-No. 785, Geneva.
- 39- Oukara F.,** Chaouia C., Benrebiha F., 2017. Contribution a l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantules du pistachier de l'atlas Pistacia Atlantica Desf. P225.
- 40- Pacheco A., Morlon P., 1978.** Los sistemas radicluras de las plantas de interés económico en el Altiplano de Puno : un estudio preliminar. Proyecto de Investigación y Mejoramiento de las condiciones de desarrollo de la Agricultura del Altiplano de Puno, Perú. parcelle de luzerne: Rôle d'un coefficient cultural. Agronomie, 3, 513-521.
- 41- Rémériéras G.1963-** L'hydrologie de l'ingénieur. Edit : Collection de la direction des études et recherche d'électricité. France, 266 p.
- 42- Repo-Carrasco-Valencia R., Serna L., 2011-** Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 31(1): 225-230.
- 43- Risi, J. and Galwey, N.W., 1984.** The Chenopodium grains of the Andes: Inca Crops for modern agriculture. Advances Applied Biology, 10, Pp 145-216.
- 44- Salazar, O., Wesstrom, I., Youssef, M.A., Wayne, Skaggs, R. & Joel, A. (2009).** Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in loamy sand under cultivation in southeast Sweden. *Journal of Agriculture Water Management* 96, pp. 267–281.
- 45- Santamaria, J.M., Ludlow, M.M., Fukais, 1990.** Contribution of osmotic adjustment to grain yield in sorghum bicolor (L) moech under water limited condition.1. Water stress anthesis . Res,41,51-65.
- 46- Skhiri A.,2019 –** LES BASES DE L'IRRIGATION calcul des besoin en eau. Pp51 – 63.
- 47- Tapia, M.E., 2002.** Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. In: Cultivos Andinos. CD-Rom, Versión 1.0. FAO, UNA-Puno, CIP. Santiago, Chile.
- 48- Tapia,M; Gandarillas, H; Alandia, S; Cardozo, A; Mujica, R; Ortiz, R; Otazu, J; Rea, J; Salas, B; Zanabria, E., 1979.** Quinoa y kawaiiwa: Cultivos andinos. CIID-IICA, Bogota, Colombia.Pp 15-19.
- 49- Valencia Chamorro S A., 2004.** Quinoa. Ecole Polytechnique Nationale, Quito. Equateur, p: 1-7.

50- [www.le monde du quinoa.fr](http://www.lemondeduquinoa.fr).

Annexes

Annexe 01 : Calendrier d'irrigation

la date	Kc	Eb(mm)	Kb	ETM	100%	70%	30%
18-11-2019	0.14	2	0.9	0.252	0	0	0
19-11-2019	0.14	2.33	0.9	0.294	0	0	0.45
20-11-2019	0.14	2.5	0.9	0.315	0	0	0
21-11-2019	0.14	2.3	0.9	0.290	0	1.05	0.45
22-11-2019	0.14	2.3	0.9	0.290	0	0	0.45
23-11-2019	0.14	4	0.9	0.466	1.5	1.05	0
24-11-2019	0.14	2.3	0.9	0.290	0	0	0.45
25-11-2019	0.14	2.3	0.9	0.290	0	1.05	0
26-11-2019	0.14	2.6	0.9	0.328	0	0	0
27-11-2019	0.14	1.9	0.9	0.239	0	0	0.45
28-11-2019	0.14	1.8	0.9	0.227	1.5	0	0
29-11-2019	0.14	1.8	0.9	0.227	0	0	0.45
30-11-2019	0.14	4	0.9	0.491	1.5	1.05	0
01-12-2019	0.14	2.3	0.9	0.290	0	0	0
02-12-2019	0.14	3.25	0.9	0.410	0	0	0.45
03-12-2019	0.16	3.1	0.9	0.446	0	0	0
04-12-2019	0.16	3	0.9	0.432	1.5	1.05	0.45
05-12-2019	0.16	2	0.9	0.331	0	0	0
06-12-2019	0.16	4	0.9	0.569	0	0	0.45
07-12-2019	0.16	4	0.9	0.569	1.5	1.05	0.45
08-12-2019	0.36	2	0.9	0.729	0	1.05	0.45
09-12-2019	0.36	2	0.9	0.648	0	0	0.45
10-12-2019	0.36	2.3	0.9	0.745	0	1.05	0.45

11-12-2019	0.36	2.25	0.9	0.729	1.5	0	0.45
12-12-2019	0.36	2.25	0.9	0.729	0	1.05	0.45
13-12-2019	0.36	5	0.9	2.183	1.5	0	0
14-12-2019	0.5	5	0.9	2.183	1.5	1.05	0.45
15-12-2019	0.5	2.3	0.9	1.035	0	1.05	0.45
16-12-2019	0.5	2.3	0.9	1.035	1.5	0	0.45
17-12-2019	0.5	2.45	0.9	1.103	0	1.05	0.45
18-12-2019	0.5	2.2	0.9	0.990	1.5	0	0.45
19-12-2019	0.5	2.1	0.9	0.945	0	1.05	0.45
20-12-2019	0.64	2.1	0.9	0.945	1.5	0	0.45
21-12-2019	0.64	3	0.9	1.860	1.5	1.05	0.45
22-12-2019	0.64	2.25	0.9	1.296	0	1.05	0.45
23-12-2019	0.64	1.95	0.9	1.123	1.5	1.05	0.45
24-12-2019	0.64	2.25	0.9	1.296	0	1.05	0.45
25-12-2019	0.64	2.3	0.9	1.325	1.5	1.05	0.45
26-12-2019	0.8	2.23	0.9	1.606	1.5	1.05	0.45
27-12-2019	0.8	2.23	0.9	1.606	1.5	1.05	0.45
28-12-2019	0.8	4	0.9	2.772	1.5	1.05	0.45
29-12-2019	0.8	1.95	0.9	1.404	0	1.05	0.45
30-12-2019	0.8	1.4	0.9	1.008	1.5	1.05	0.45
31-12-2019	0.8	1.5	0.9	1.080	0	1.05	0.45
01-01-2020	0.93	1.55	0.9	1.297	1.5	1.05	0.45
02-01-2020	0.93	1.4	0.9	1.172	0	1.05	0.45
03-01-2020	0.93	2	0.9	1.758	1.5	1.05	0.45
04-01-2020	0.93	2	0.9	1.758	1.5	1.05	0.45
05-01-2020	0.93	1	0.9	0.837	0	0	0.45

06-01-2020	0.93	1.5	0.9	1.256	1.5	1.05	0.45
07-01-2020	0.93	1.35	0.9	1.130	0	1.05	0.45
08-01-2020	0.93	1.2	0.9	1.004	1.5	1.05	0.45
09-01-2020	0.93	1.2	0.9	1.004	0	1.05	0.45
10-01-2020	0.93	2	0.9	1.590	1.5	1.05	0.45
11-01-2020	0.93	2	0.9	1.590	1.5	1.05	0.45
12-01-2020	0.93	1.1	0.9	0.921	0	0	0.45
13-01-2020	0.93	0.95	0.9	0.795	1.5	1.05	0.45
14-01-2020	0.93	1.3	0.9	1.088	0	1.05	0.45
15-01-2020	0.93	1.25	0.9	1.046	1.5	1.05	0.45
16-01-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	0	1.05	0.45
17-01-2020	0.94	2	0.9	1.565	1.5	1.05	0.45
18-01-2020	0.94	2	0.9	1.565	1.5	1.05	0.45
19-01-2020	0.94	1.1	0.9	0.931	0	0	0.45
20-01-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	1.5	1.05	0.45
21-01-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	0	0	0.45
22-01-2020	0.94	0.9	0.9	0.761	1.5	1.05	0.45
23-01-2020	0.94	0.85	0.9	0.719	0	0	0.45
24-01-2020	0.94	2	0.9	1.692	1.5	1.05	0.45
25-01-2020	0.94	2	0.9	1.692	1.5	1.05	0.45
26-01-2020	0.94	1	0.9	0.846	0	0	0.45
27-01-2020	0.94	1.1	0.9	0.931	1.5	1.05	0.45
28-01-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	0	0	0.45
29-01-2020	0.94	1.15	0.9	0.973	1.5	1.05	0.45
30-01-2020	0.94	1	0.9	0.846	0	0	0.45
31-01-2020	0.94	1	0.9	0.846	1.5	0	0

01-02-2020	0.94	1.1	0.9	0.931	0	1.05	0.45
02-02-2020	0.94	1	0.9	0.846	0	0	0.45
03-02-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	1.5	1.05	0.45
04-02-2020	0.94	0.9	0.9	0.761	0	0	0.45
05-02-2020	0.94	0.85	0.9	0.719	1.5	1.05	0.45
06-02-2020	0.94	0.9	0.9	0.761	0	0	0.45
07-02-2020	0.94	2	0.9	1.607	1.5	1.05	0.45
08-02-2020	0.94	2	0.9	1.607	1.5	1.05	0.45
09-02-2020	0.94	1	0.9	0.846	0	0	0.45
10-02-2020	0.94	1.2	0.9	1.015	1.5	1.05	0.45
11-02-2020	0.94	1.15	0.9	0.973	0	0	0.45
12-02-2020	0.94	1	0.9	0.846	1.5	1.05	0.45
13-02-2020	0.94	1	0.9	0.846	0	0	0.45
14-02-2020	0.94	2	0.9	1.692	1.5	1.05	0.45
15-02-2020	0.94	2	0.9	1.692	1.5	1.05	0.45
16-02-2020	0.94	1	0.9	0.888	0	0	0.45
17-02-2020	0.91	1	0.9	0.983	1.5	1.05	0.45
18-02-2020	0.91	2	0.9	1.229	0	1.05	0.45
19-02-2020	0.91	1	0.9	1.065	1.5	1.05	0.45
20-02-2020	0.91	1	0.9	1.106	0	1.05	0.45
21-02-2020	0.91	2	0.9	1.597	0	0	0
22-02-2020	0.91	2	0.9	1.597	1.5	1.05	0.45
23-02-2020	0.82	2.5	0.9	1.845	1.5	1.05	0.45
24-02-2020	0.82	2.8	0.9	2.066	1.5	1.05	0.45
25-02-2020	0.82	3	0.9	2.214	1.5	1.05	0.45
26-02-2020	0.82	3.15	0.9	2.325	1.5	1.05	0.45

27-02-2020	0.82	2.85	0.9	2.103	1.5	1.05	0.45
28-02-2020	0.82	4	0.9	2.722	1.5	1.05	0.45
29-02-2020	0.72	4	0.9	2.722	1.5	1.05	0.45
01-03-2020	0.72	2.75	0.9	1.782	1.5	1.05	0.45
02-03-2020	0.72	2.8	0.9	1.814	1.5	1.05	0.45
03-03-2020	0.72	2.75	0.9	1.782	1.5	1.05	0.45
04-03-2020	0.72	2.95	0.9	1.912	1.5	1.05	0.45
05-03-2020	0.72	3	0.9	1.944	1.5	1.05	0.45
06-03-2020	0.63	5	0.9	2.835	1.5	1.05	0.45
07-03-2020	0.63	5	0.9	2.835	1.5	1.05	0.45
08-03-2020	0.63	3.2	0.9	1.814	1.5	1.05	0.45
09-03-2020	0.63	3	0.9	1.701	1.5	1.05	0.45
10-03-2020	0.63	3.25	0.9	1.843	1.5	1.05	0.45
11-03-2020	0.63	3	0.9	1.503	1.5	1.05	0.45
12-03-2020	0.56	3	0.9	1.285	0	1.05	0.45
13-03-2020	0.56	4	0.9	2.117	1.5	1.05	0.45
14-03-2020	0.56	4	0.9	2.117	1.5	1.05	0.45
15-03-2020	0.56	2	0.9	1.124	0	1.05	0.45
16-03-2020	0.56	2	0.9	1.210	1.5	1.05	0.45
17-03-2020	0.56	3	0.9	1.260	1.5	1.05	0.45

Annexe 02 : les valeurs de la hauteur des plantes en cm (HP)

v	s	Hauteur de la plante
v1	s0	32
v1	s0	33,9
v1	s0	33
v1	s0	33,5
v1	s1	30,9
v1	s1	30,4
v1	s1	28,4
v1	s1	29,6
v1	s2	27,2
v1	s2	26,8
v1	s2	27
v1	s2	29
v2	s0	49,8
v2	s0	52
v2	s0	50,7
v2	s0	48,6
v2	s1	47,9
v2	s1	48,2
v2	s1	47,6
v2	s1	47,5
v2	s2	38,1
v2	s2	37
v2	s2	36,8
v2	s2	37

Annexe 03 : Les valeurs du nombre de ramification par plante

V	S	N de ramification
v1	S0	38
v1	S0	32
v1	S0	38
v1	S0	39
v1	S1	34
v1	S1	35
v1	S1	36
v1	S1	26
v1	S2	29
v1	S2	33
v1	S2	35
v1	S2	23
v2	S0	40
v2	S0	42
v2	S0	41
v2	S0	44
v2	S1	38
v2	S1	36
v2	S1	37
v2	S1	39
v2	S2	35
v2	S2	36
v2	S2	38
v2	S2	37

Annexe 04 : Les valeurs du nombre de panicule par plante

v	T	Nbr de panicule
v1	S0	10
v1	S0	11
v1	S0	13
v1	S0	11
v1	S1	9
v1	S1	8
v1	S1	9
v1	S1	9
v1	S2	5
v1	S2	7
v1	S2	7
v1	S2	6

المخلص

تهدف دراستنا الى تقييم الاحتياجات المائية لنوعين من الكينوا في البيوت البلاستيكية من خلال تأثير كميات المياه المعطاة على النمو (الارتفاع و عدد التشعبات) و على الانتاج من خلال حساب عدد العناقيد. يعتمد تقدير التبخر النتج على طريقة باك الفئة أ.

تمت عملية الري على ثلاث كميات من مياه الري (100%، 70%، 30%) لصنفين من الكينوا هما: (Q102 ; Q105) أظهرت النتائج الخاصة بتقدير الاحتياجات المائية بواسطة باك التبخر (أ) اجمالي 141.76 ملم حتى نهاية تكوين العناقيد، و كذلك انخفاض الاحتياجات المائية الى (30%)، لظهار أن زراعة الكينوا أظهرت بعض المقاومة للاجهاد المائي. هذه المتطلبات المائية المستخدمة بنسبة 100% في البيت البلاستيكي و التي يتم الحصول عليها بواسطة باك الفئة أ يوصى بها لتعظيم الغلة و الانتاج لزراعة الكينوا في البيوت البلاستيكية.

الكلمات المفتاحية : الكينوا ، جرعة، باك التبخر فئة أ، البيوت البلاستيكية

Résumé

Notre étude a pour objectif l'évaluation des besoins en eau de deux variétés de quinoa sous serre en déterminant l'effet des quantités d'eau données sur la croissance (hauteur et nombre de ramifications) et sur la production par le comptage de nombre de panicules. L'estimation de l'évapotranspiration (ETM) de la culture est basée sur la méthode du Bac de classe (A). Le processus d'arrosage a été effectué selon trois quantités d'eau d'irrigations (100 %, 70 %, 30%) pour deux variétés de quinoa à savoir : (Q102, Q105).

Les résultats concernant l'estimation des besoins en eau par le bac d'évaporation classe (A) sous serre a donné un total de 141.76 mm jusqu'à la fin de la formation de panicule, aussi la diminution des besoins en eau à (30%); a permis de montrer que la culture de quinoa a montré une certaine résistance à la contrainte d'eau.

Ces besoins en eau utilisées à 100 % d'ETM sous serre et qui sont obtenues par le bac de classe A est recommandé pour la maximisation du rendement et de la production pour la culture de quinoa sous serre.

Mot clés : Quinoa, dose, bac d'évaporation classe A, serre.

Abstract

Our study aims to assess the water requirements of two varieties of quinoa in a greenhouse by determining the effect of the quantities of water given on growth (height and number of ramifications) and on production by counting the number of panicles. The estimation of the evapotranspiration (ETM) of the watering process was carried out according to three quantities of irrigation water (100%, 70%, 30%) for two varieties of quinoa namely : (Q102, Q105).

The results concerning the estimation of water requirements by the class (A) greenhouse evaporation pan gave a total of 141.76 mm until the end of panicle formation, also the decrease in water requirements to (30%); issued to show that the quinoa culture showed some resistance to water stress. These water requirements used at 100% ETM in greenhouse and which are obtained by the class A tank is recommended for the maximization of yield and production for the cultivation of quinoa in greenhouse.

Most key : Quinoa, dose, class A evaporator pan, tight.