

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers (AGDEFA).

Caractérisation phénologique et agromorphologique de variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) à Ziguinchor

Mémoire présenté par **Mlle Fatoumata COULIBALY**

Sous la direction de Pr Siré DIEDHIOU, enseignant-chercheur (UASZ)

Encadrant : Dr Djibril SARR, enseignant-chercheur (UASZ)

Soutenu publiquement le 8 Décembre 2022 devant le jury composé de:

Président : Pr Ismaïla COLY

Membres : Dr Djibril SARR

Dr Aly DIALLO

Dr Joseph Saturnin DIEME

Maître de Conférences

Maître-Assistant

Maître-Assistant

Maître-Assistant

UFR-ST/UASZ

UFR-ST/UASZ

UFR-ST/UASZ

UFR-ST/UASZ

Année universitaire : 2020-2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes chers parents qui m'ont permis d'arriver là où j'en suis.
- Toute ma famille (frères, sœurs, cousins, oncles, tantes...) pour leurs encouragements, leur soutien et leurs prières.
- Toute l'équipe de Assane Seck Université Club (ASUC) section basket-ball (dirigeants et joueurs) pour leur soutien et leurs encouragements.

Remerciements

Tout d'abord je rends grâce à Dieu de m'avoir permis de terminer ce travail.

Mes sincères remerciements et ma profonde gratitude envers mon maître de stage, Dr Djibril SARR (Chef du département d'Agroforesterie) pour m'avoir donné l'opportunité de mener à bien ce travail. Merci pour vos conseils, votre disponibilité, votre patience ainsi que votre aide pour l'élaboration de ce présent mémoire.

Je remercie tous les enseignants du département, Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Pr Ngor NDOUR, Pr Ismaïla COLY, Pr Siré DIEDHIOU, Dr Antoine SAMBOU, Dr Aly DIALLO, Dr Boubacar CAMARA, Dr Joseph Saturnin DIEME, Dr Saboury NDIAYE, Dr Abdoulaye SOUMARE et Dr Oulimata DIATTA sans oublier les vacataires, et les doctorants. Merci pour toutes les connaissances que vous nous avez transmises au cours de ces années. Mes remerciements vont aux membres du jury pour avoir accepté de participer à l'évaluation du présent mémoire.

Je ne saurais terminer sans pour autant remercier mes chers camarades de la 9^{ème} promotion pour leur aide, leur soutien et leurs conseils. J'adresse des remerciements particuliers à ceux qui m'ont été d'une grande aide lors des travaux du stage. Merci du fond du cœur pour ces moments de solidarité et de fraternité que nous avons partagés durant ces années.

Table des matières

Dédicaces.....	I
Remerciements	II
Liste des Figures	V
Liste des abréviations	V
Résumé.....	VI
Abstract.....	VII
Introduction.....	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	2
1.1. Généralités sur le quinoa	2
1.1.1 Histoire et origine du quinoa	2
1.1.2 Classifications du quinoa	2
1.1.3 Description botanique	3
1.1.3.1 Caractères végétatifs	3
1.1.3.1.1 Racine	3
1.1.3.1.2 Tige de quinoa	4
1.1.3.1.3 Ramifications.....	4
1.1.3.1.4 Feuilles.....	5
1.1.3.2 Caractères floraux.....	5
1.1.3.2.1 Inflorescence.....	5
1.1.3.2.2 Fleurs	6
1.1.3.2.3 Graines	6
1.2 Maladies et ravageurs	7
1.3 Composition nutritionnelle	7
1.4 Utilisations de la plante.....	8
1.4.1 Alimentation humaine.....	8
1.4.2 Alimentation animale	8
1.4.3 Utilisations médicinales	8
1.4.4 Utilisations industrielles	8
1.5 Ecologie de la plante.....	9
1.5.1 Résistance de la plante.....	9
1.5.2 Exigence pédoclimatiques	9
1.5.2.1 Exigences édaphiques	9
1.5.2.2 Exigences climatiques	9

1.5.2.3	Les besoins en eau	9
Chapitre 2	: Matériel et méthodes	11
2.1.	Site expérimental.....	11
2.2.	Matériel végétal.....	12
2.3.	Facteur étudié et dispositif expérimental	12
2.4.	Conduite de l'expérimentation	13
2.4.1.	Mise en place de la pépinière	13
2.4.2.	Travail du sol.....	13
2.4.3.	Repiquage et démariage des plantes.....	14
2.4.4.	Application de l'engrais DAP.....	14
2.4.5.	Application de l'engrais NPK (10-10-20).....	15
2.5.	Paramètres mesurés	15
2.5.1.	Sensibilité à la verse	15
2.5.2.	Date à 50% de floraison	15
2.5.3.	Longueur et largeur des feuilles.....	15
2.5.4.	Longueur de la panicule.....	15
2.5.5.	Hauteur des plantes.....	16
2.5.6.	Biomasse sèche aérienne.....	16
2.5.7.	Le rendement et ses composantes	16
2.6.	Traitement et analyse des données	17
Chapitre 3	: Résultats.....	18
3.1.	Sensibilité à la verse	18
3.2.	Date à 50% floraison.....	18
3.3.	Longueur des feuilles	19
3.4.	Largeur des feuilles	20
3.5.	Longueur panicule	20
3.6.	Hauteur des plantes.....	21
3.7.	Rendement.....	22
3.8.	Biomasse aérienne sèche (BAS)	22
3.9.	Poids des 100 graines.....	23
3.10.	Corrélation entre les variables étudiées	24
Chapitre 4	: Discussion.....	25
Conclusion et perspectives		27
Références bibliographiques		28

Liste des Figures

Figure 1 : Racines de quinoa.....	4
Figure 2 : Tige de quinoa ramifiée	5
Figure 3: Inflorescences amaranthiforme (a) et glomérulaire (b)	6
Figure 4 : Graines de quinoa.....	7
Figure 5 : Carte d'aménagement de la ferme.....	11
Figure 6 : Dispositif expérimental.....	12
Figure 7 : Disposition de la parcelle élémentaire	13
Figure 8 : Pépinière de quinoa	13
Figure 9 : Mise en place du dispositif	14
Figure 10 : Plantes repiquées	14
Figure 11 : Application de l'engrais DAP	15
Figure 12 : Balance électronique.....	16
Figure 13 : Pesage des grains.....	17
Figure 14 : Sensibilité à la verse en fonction des variétés	18
Figure 15 : Variation de la date de floraison en fonction des variétés	19
Figure 16 : Variation de la longueur des feuilles en fonction des variétés.....	19
Figure 17 : Variation de la largeur des feuilles en fonction des variétés.....	20
Figure 18 : Variation de la longueur des panicules	21
Figure 19 : Variation de la hauteur des plantes.....	21
Figure 20 : Rendement des différentes variétés	22
Figure 21 : Variation de la BAS en fonction des variétés	23
Figure 22 : Variation du poids des 100 graines.....	23
Figure 23 : Matrice de corrélation.....	24

Liste des abréviations

ANSD : Agence National de la Statistique et de la Démographie

CSE : Centre de Suivi Ecologique

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

IRSAT : Institut de Recherche en Science Appliquée et Technologies

ITDAS : Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne

JAS : Jour Après Semis

JC : Jésus Christ

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

DAP : Di-ammonium phosphate

Résumé

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante annuelle originaire de la région des Andes qui présente une haute valeur nutritionnelle. Au Sénégal l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle demeurant encore un défi prioritaire, l'introduction de cette culture dans les systèmes de production pourrait être un atout majeur pour la diversification et l'amélioration de l'alimentation de la population. C'est dans ce sens que cette étude s'est fixée comme objectif d'évaluer l'adaptabilité de 7 variétés de quinoa aux conditions pédoclimatiques de la région de Ziguinchor. Pour ce faire, un essai a été effectué au niveau de la ferme d'application du département d'Agroforesterie avec un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 3 répétitions. Chaque bloc est constitué de 7 parcelles élémentaires avec une variété par parcelle élémentaire. Les paramètres mesurés sont la date de 50% de floraison, les paramètres morphologiques (dimensions feuilles, longueur panicule et hauteur) et le rendement et ses composantes de rendement (poids total des graines, biomasse aérienne sèche, poids de 100 graines). Les analyses de variances nous montrent une grande variabilité entre les variétés étudiées pour tous les paramètres étudiés. Les résultats obtenus ont permis de distinguer deux groupes de variétés. Les variétés précoces (Titicaca et PI614886) qui ont une floraison comprise entre 46-50 JAS, et les variétés tardives (PI614885, PI433232, PI584524, PI478418 et PI634919) qui ont une floraison entre 75-80 JAS. Les deux variétés précoces et la variété PI614885 sont caractérisées par des paramètres morphologiques et de rendement plus faibles que ceux des variétés tardives. Toutefois la variété PI634919 a obtenu un rendement (8,1 t/ha) et une biomasse aérienne sèche (52,3 g/plant) nettement supérieure à ceux des autres variétés notamment PI614885 qui a enregistré le rendement (3,4 t/ha) ainsi que la biomasse aérienne sèche (18,7 g/plant) les plus faibles.

Mots clés : *Chenopodium quinoa*, variété, adaptation, phénologie, agromorphologie, Ziguinchor.

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is an annual plant native to the Andes region that has a high nutritional value. In Senegal, since the improvement of food and nutritional security still remains a priority challenge, the introduction of this crop into production systems could be a major asset for the diversification and improvement of the population's diet. It is in this sense that this study has set itself the objective of evaluating the adaptability of 7 varieties of quinoa to the pedoclimatic conditions of the Ziguinchor region. To do this, a test was carried out at the application farm of the Agroforestry Department with an experimental device in complete random blocks with 3 repetitions. Each block is made up of 7 elementary plots with one variety per elementary plot. The parameters measured are the date of 50% flowering, the morphological parameters (leaf dimensions, panicle length and height) and the yield and its yield components (total weight of theseeds, dry aboveground biomass, 100-seed weight). The analyzes of variance show us a great variability between the varieties studied for all the parameters studied. The results obtained made it possible to distinguish two groups of varieties. The early varieties (Titicaca and PI614886) which flower between 46-50 DAS, and late varieties (PI614885, PI433232, PI584524, PI478418 and PI634919) which flower between 75-80 DAS. The two early varieties and the variety PI614885 are characterized by lower morphological and yield parameters than those of the late varieties. However, the variety PI634919 obtained a yield (8.1 t/ha) and a dry aerial biomass (52.3 g/plant) clearly superior to those of the other varieties, in particular PI614885 which recorded the yield (3.4 t/ha) as well as the lowest dry aboveground biomass (18.7 g/plant).

Key words : *Chenopodium quinoa*, variety, adaptation, phenology, agromorphology, Ziguinchor.

Introduction

Les céréales occupent une place importante dans l'agriculture mondiale. Selon la FAO (2016), 720 millions d'hectares de céréales sont cultivées dans le monde, soit 51 % des terres arables. Cependant, la pauvreté rurale reste un défi. En effet, les petits agriculteurs sont confrontés à un certain nombre de contraintes de production récurrentes comme la sécheresse, la dégradation des sols et la faible utilisation des techniques permettant leur conservation, l'accès limité aux intrants et semences améliorées ainsi que des techniques inefficaces de stockage post-récolte. La persistance de ces difficultés s'explique par l'exploitation des terres pauvres en éléments nutritifs et vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique (Dao, 2016). La prévalence de la malnutrition chronique reste très élevée (27,3 %) dans ces zones, malgré les efforts des gouvernements pour atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle (Anonyme, 2016).

Au Sénégal l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle demeure encore un défi prioritaire auquel la diversification agricole, avec l'identification de plantes alimentaires à haute valeur nutritive et résistantes à des conditions biophysiques sévères, apporterait une solution durable pour soutenir les moyens de subsistance des agriculteurs.

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), pseudo-céréale (Herbillon, 2015), est une plante annuelle originaire de la région des Andes où il présente une grande diversité d'écotypes cultivés qui lui permet de s'adapter à divers types de sol et à des milieux couvrant de larges gradients d'humidité, de température (-8°C à 38 °C) et d'altitude (0 à 4 500 m) (Bazile, 2013). Il présente une haute valeur nutritionnelle, contient tous les acides aminés essentiels, des oligo-éléments et des vitamines. Son intérêt repose aussi sur l'absence de gluten. La valeur nutritionnelle de ses graines est ainsi supérieure à celle des céréales et la plante entière peut être utilisée comme fourrage vert pour l'alimentation du bétail (Nebie, 2018). Sa culture pourrait contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle d'un pays pauvre comme le Sénégal.

C'est dans cette optique que cette étude s'est fixée comme objectif général de contribuer à l'amélioration et la diversification de l'alimentation de la population Sénégalaise. De manière spécifique, il s'agit d'évaluer l'adaptabilité de sept (7) variétés de quinoa aux conditions pédoclimatiques de la région de Ziguinchor.

Ce mémoire est structuré en quatre (4) chapitres dont le premier porte sur la synthèse bibliographique, le second sur le matériel et les méthodes utilisés, le troisième sur les résultats obtenus et enfin le quatrième sur la discussion des résultats obtenus.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralités sur le quinoa

1.1.1 Histoire et origine du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) a été décrit botaniquement pour la première fois en 1798 par Karl Ludwig Willdenow (botaniste et pharmacien allemand) comme une espèce originaire d'Amérique du Sud, dont le centre d'origine est situé dans les Andes (Dharm, 2019). Cette plante traditionnelle est cultivée depuis plus de 5 000 ans avant JC sur les hauts plateaux andins 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. Contrairement à ces derniers, il n'a pas retenu l'attention des conquérants espagnols à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe de ses graines qui les rend amères, et du fait que la farine qui en est tirée n'est pas panifiable en raison de l'absence de gluten (Bazile & al., 2015).

Dans les années 1970, la découverte des qualités nutritionnelles exceptionnelles du quinoa dans les pays industrialisés impulse sa vente dans les magasins de produits diététiques issus de l'agriculture biologique et du commerce équitable puis dans les grandes surfaces. Une forte croissance de la demande entraîna la multiplication par quatre des prix au producteur bolivien entre 2000 et 2010. Le boom de la culture du quinoa qui s'ensuivit, conduit à une amélioration importante du niveau de vie des populations de l'Altiplano (Bazile & al., 2015).

L'année 2013, année internationale du quinoa, dont le secrétariat a été assuré par la FAO, a contribué à la reconnaissance mondiale du quinoa (Bazile & al., 2015). Aujourd'hui l'expansion de la culture de quinoa sur tous les continents est telle que plus de 125 pays le cultivent, mais la quasi-totalité du quinoa est produit par les petits producteurs du Pérou, de la Bolivie et de l'Équateur et maintenant par les agriculteurs d'Amérique du Nord (Bazile, 2015).

1.1.2 Classifications du quinoa

On distingue deux types de classification : la classification botanique de Cronquist (1981) qui classe le quinoa dans la famille des *Chenopodiaceae*, et la nouvelle classification dite phylogénétique APGIII (2009) qui le range dans la famille des *Amaranthaceae* (Herbillon 2015).

Classification de Cronquist (1981)	
Règne	<i>Plantae</i>
Sous-embranchement.	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Caryophyllidea</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Chenopodiaceae</i>
Genre	<i>Chenopodium</i>
Classification APGIII (2009)	
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Amaranthaceae</i>
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd 1798	

1.1.3 Description botanique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante herbacée, annuelle qui peut atteindre des hauteurs comprises entre 0,5 m à 3 m (Mujica & *al.*, 2001). Il est principalement autogame et a des taux variables d'hybridation naturelle de 10 à 17 %, qui sont susceptibles d'être plus élevés à des espacements de plantes plus faibles et en fonction de la coïncidence de la floraison avec le vent du site ou la présence d'autres vecteurs de pollen (Stanschewsk & al 2021). La couleur prédominante de la plante est verte mais chez les plantes adultes, les couleurs de base sont rouges, pourpre et vertes selon le génotype (Del Castillo & *al.*, 2008).

1.1.3.1 Caractères végétatifs

1.1.3.1.1 Racine

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 (Mujica & *al.*, 2001). Ce système racinaire est très robuste (Figure 1), 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 (Mujica & al., 2001). La profondeur de la racine est étroitement liée à la hauteur de la plante. C'est grâce à ce 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 1 : Racines de quinoa

1.1.3.1.2 Tige de quinoa

La tige centrale est cylindrique au collet et devient plus anguleuse à partir des ramifications avec une position alterne des feuilles. Elle peut être unique ou présenter de nombreuses ramifications, avec un diamètre allant de 1 cm jusqu'à 8 cm et une hauteur de 0,5 m à 3 m, selon les variétés et les conditions de culture comme la densité d'ensemencement ou la fertilisation (Mujica & al., 2001). Sa couleur est aussi très variable : uniformément verte, verte avec des stries violettes ou rouges, ou bien uniformément rouge.

1.1.3.1.3 Ramifications

Les ramifications prennent leur origine aux aisselles des feuilles de la tige (Figure 2). Leur longueur peut varier entre quelques centimètres et peut atteindre celle de la tige principale, en fonction de la variété et des conditions de culture. 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).



Figure 2 : Tige de quinoa ramifiée

1.1.3.1.4 Feuilles

Les feuilles sont alternes et se composent d'un pétiole long et fin et d'un limbe variable suivant la position sur la tige. Les feuilles inférieures sont grandes, rhomboïdales ou triangulaires ; tandis que les feuilles supérieures sont petites, lancéolées ou triangulaires (Mujica & *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. Elles présentent des adaptations morphologiques variées qui les aident à résister à la sécheresse pendant la croissance, parmi lesquelles une cuticule cireuse, des stomates protégés par un épiderme épaissi et des papilles sur les deux faces (Jacobsen & Stolen, 1993). Ces papilles, grâce à leur forte teneur en oxalate de calcium, fonctionnent comme des agents hygroscopiques. Cela signifie qu'elles sont capables de capter l'humidité atmosphérique nocturne, de contrôler l'évapotranspiration excessive mais également de réfléchir les rayons solaires, empêchant ainsi le phénomène de réchauffement des feuilles (Mujica & *al.*, 2001).

1.1.3.2 Caractères floraux

1.1.3.2.1 Inflorescence

La variabilité dans la coloration des plantes n'est pas due seulement à la tige et aux feuilles, mais également à un large spectre de couleurs présent dans l'inflorescence et qui évolue au cours de la maturation des graines de quinoa (Nebie, 2018). L'inflorescence du quinoa est une panicule composée d'un axe principal d'où émergent des axes secondaires et tertiaires. Il a été décrit deux types d'inflorescences chez le quinoa : amaranthiforme (**a**) et glomérulaire (**b**) (Figure 3). Chez le type glomérulaire, les glomérules (courtes ramifications portant un groupe

de fleurs) sont insérés sur les axes tertiaires prenant naissance à partir des axes secondaires, tandis que chez le type amaranthiforme, ils sont directement insérés sur des axes secondaires (Bertero & *al.*, 1996). La longueur de la panicule varie selon la variété, l'environnement et les conditions de fertilité du sol. Elle peut atteindre 30 à 80 cm de long pour 5 à 30 cm de diamètre (Mujica & *al.*, 2001).



Figure 3: Inflorescences amaranthiforme (a) et glomérulaire (b)

1.1.3.1.2 Fleurs

Les fleurs du quinoa sont petites et incomplètes, ne possédant pas de pétale, et peuvent être femelles ou hermaphrodites (Nebie, 2018). Les fleurs hermaphrodites mesurent 2 à 5 mm et les fleurs femelles ne mesurent qu'entre 1 et 3 mm (Mujica & *al.*, 2001).

1.1.3.2.3 Graines

Principales parties comestibles de la plante, les graines peuvent être de trois formes différentes: conique, cylindrique ou ellipsoïde. Elles sont lisses ou avec un cuir chevelu fin avec des couleurs allant du blanc, jaune, rouge, violet, marron au noir selon la variété (Lim, 2013) (Figure 4). La graine comprend trois parties bien définies : l'épisperme, l'embryon et le péricarpe. Elle est recouverte de saponine, substance anti-nutritive amère qui éloigne naturellement les oiseaux et qui est éliminée par lavage (Herbillon, 2015). Les grains de quinoa sont sans gluten et contiennent toutes les protéines essentielles à l'alimentation humaine (Moore, 2017).



Figure 4 : Graines de quinoa

1.2 Maladies et ravageurs

La principale maladie rencontrée chez le quinoa est le mildiou, causée par un champignon appelé *Peronospora farinosa*. Elle se caractérise par des lésions chlorotiques sur les surfaces supérieures des feuilles avec un mycélium blanc ou pourpre sur les surfaces inférieures (Valencia-Chamorro, 2003). D'autres maladies fongiques ont été signalées: la fonte des semis (*Rhizoctonia sp*), la fusariose (*Fusarium sp.*), la pourriture des semences (*Sclerotium rolfsii*), les taches foliaires (*Ascochyta hyalospora*) ou la pourriture brune de la tige (*Phoma exigua*) (Danielsen & *al.*, 2003). Les grains de quinoa contiennent une forte teneur en saponine, un composant qui les rend moins sensibles aux attaques d'oiseaux et aux parasites grâce à son goût amer et à sa toxicité pour les animaux de petite taille (Tapia, 2000).

1.3 Composition nutritionnelle

Le quinoa contient tous les acides aminés essentiels. Il est riche en protéines, en acides aminés essentiels, en fibres alimentaires, en graisses, en minéraux, en vitamines et en antioxydants naturels (Jyoti & Chanu, 2018). Etant une excellente source de fer, le quinoa représente donc un aliment intéressant particulièrement pour les personnes végétariennes (Eddine, 2020). Un très grand avantage pour les personnes atteintes du syndrome du côlon irritable ou de la maladie cœliaque est que le quinoa ne contient pas de gluten. Il a un potentiel nutritif important qui se caractérise par une teneur élevée en protéines : 14 à 21% contre 7 à 12% chez la plupart des autres céréales (Bhargava & *al.*, 2006). La graine contient environ 58% à 68% de polymères de glucose et 5% de fructose, faisant du quinoa une source d'énergie qui libère lentement cette énergie dans l'organisme grâce à son contenu élevé en fibres (Lorente, 2008). Etant donné sa

haute concentration en huile (9,5%), le quinoa peut également être considéré comme une potentielle culture oléagineuse (Kozioł, 1992).

1.4 Utilisations de la plante

Le quinoa peut être utilisé dans l'alimentation humaine et animale mais aussi dans le domaine médicinal et industriel.

1.4.1 Alimentation humaine

Les graines de quinoa peuvent être consommées comme le riz ou transformées en farine pour en faire du pain. Chez les peuples Andins elles étaient cuites et ajoutées aux soupes où elles étaient cuisinées comme les céréales sous forme de pâtés (Bhargava & *al.*, 2006). Elles pouvaient être fermentées pour en faire de la bière (FAO, 2011). Les feuilles sont consommées comme celles des épinards cuites ou en salade (Sibomana, 2017). De nos jours, le quinoa est vendu dans les grandes surfaces sous forme de jus, soupe, pain, céréales, pâtes, biscuits, galettes, formules alimentaires pour bébés. En 2015, au Burkina Faso, l'Institut de Recherche en Sciences Appliquée et Technologies (IRSAT) a transformé les graines du quinoa en mets locaux (gnongon, dégué, biscuits, crêpes, couscous) (Nebie, 2018).

1.4.2 Alimentation animale

La plante peut être utilisée entièrement ou partiellement comme fourrage vert pour les animaux, et aussi les résidus de récolte constituent un aliment riche pour les bovins, les ovins et les volailles grâce à sa haute valeur nutritive (Daws & Al Moallem, 2018).

1.4.3 Utilisations médicinales

Les feuilles, les tiges et les grains de quinoa sont utilisés pour un but médicinal depuis longtemps par les habitants des Andes afin de guérir les blessures, réduire l'enflure, calmer la douleur des dents et désinfecter le canal urinaire (Hadj, 2019). La plante peut être utilisée comme un antibiotique ou servir à la production de vaccins contre le cancer (FAO, 2013).

1.4.4 Utilisations industrielles

Le quinoa est utilisé pour l'extraction des huiles alimentaires et la fabrication de farine panifiable en mélange avec la farine du blé (Hadj, 2019). La poudre, contenant de la saponine, est utilisée dans la fabrication de savon, champings, dentifrice et dans les produits détergents (Rojas & *al.*, 2004).

1.5 Ecologie de la plante

1.5.1 Résistance de la plante

Le quinoa présente une résistance accrue à plusieurs facteurs adverses tels que la salinisation, la sécheresse, le gel, les maladies et autres ravageurs (Jacobsen & al., 2003). Il peut tolérer les sols à pH compris entre 4,8 et 9,5 à cause de sa symbiose avec les mycorhizes qui augmenterait l'utilisation des éléments nutritifs rares (Mujica, 1994). Walters & al, (2016) ont trouvé qu'elle est une plante très économe en eau, qui tolère le manque d'humidité du sol et a des rendements acceptables lorsque les précipitations varient entre 100 mm et 200 mm. Certains écotypes ont même montré qu'ils pouvaient atteindre la maturité dans des conditions d'irrigation équivalente à seulement 50 mm de précipitation par saison, ce qui est une irrigation extrêmement faible pour toutes les espèces de cultures (Martinez & al., 2009). Bien que le quinoa présente divers mécanismes de résistance au stress hydrique, la sécheresse reste un des facteurs les plus courants de baisse des rendements en grain, même si des sécheresses modérées en début de cycle peuvent avoir un effet positif d'endurcissement des plantes (Bosque et al., 2003).

1.5.2 Exigence pédoclimatiques

1.5.2.1 Exigences édaphiques

Le quinoa est cultivé sur des sols marginaux peu fertiles (Benlhabib, 2005). Les profondeurs de plantation recommandées peuvent varier selon l'emplacement et les types de sol. Le compactage du sol est important car les graines de quinoa germent mieux dans les sols plus meubles, de sorte que les taux de germination sont meilleurs dans les sols sableux que dans les sols argileux lourds. Les types de sols hydromorphes sont problématiques pour la culture du quinoa en raison d'une forte sensibilité à l'engorgement (Stanschewski & al., 2021).

1.5.2.2 Exigences climatiques

Pour son bon développement, le quinoa a besoin d'une photopériode courte et d'une température basse. La température minimale limite de croissance pour le quinoa est de -5°C (Bois et al., 2006). Le quinoa est très sensible aux fortes températures au stade floraison ; celles supérieures à 35°C peuvent conduire à la dormance et à la stérilité du pollen (Lebonvallet, 2008).

1.5.2.3 Les besoins en eau

Le quinoa ne demande pas de grandes quantités d'eau puisque c'est une plante qui s'adapte bien à la sécheresse (ITDAS, 2017). Il tolère le manque d'humidité du sol et a des rendements acceptables lorsque les précipitations varient entre 100 mm et 200 mm. Il faut toutefois noter

que, la plante reste sensible à la sécheresse à plusieurs moments du cycle de croissance: avant le semis, au début de la floraison et au début du remplissage des graines. (Stanschewski & *al.*, 2021).

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1. Site expérimental

L'étude a été menée au niveau de la ferme d'expérimentation du département d'agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) qui se trouve au quartier Kénia (Ziguinchor / Sénégal). Elle est située à 12°32'54,88'' de latitude Nord et à 16°16'40,89'' de longitude Ouest (Figure 5).

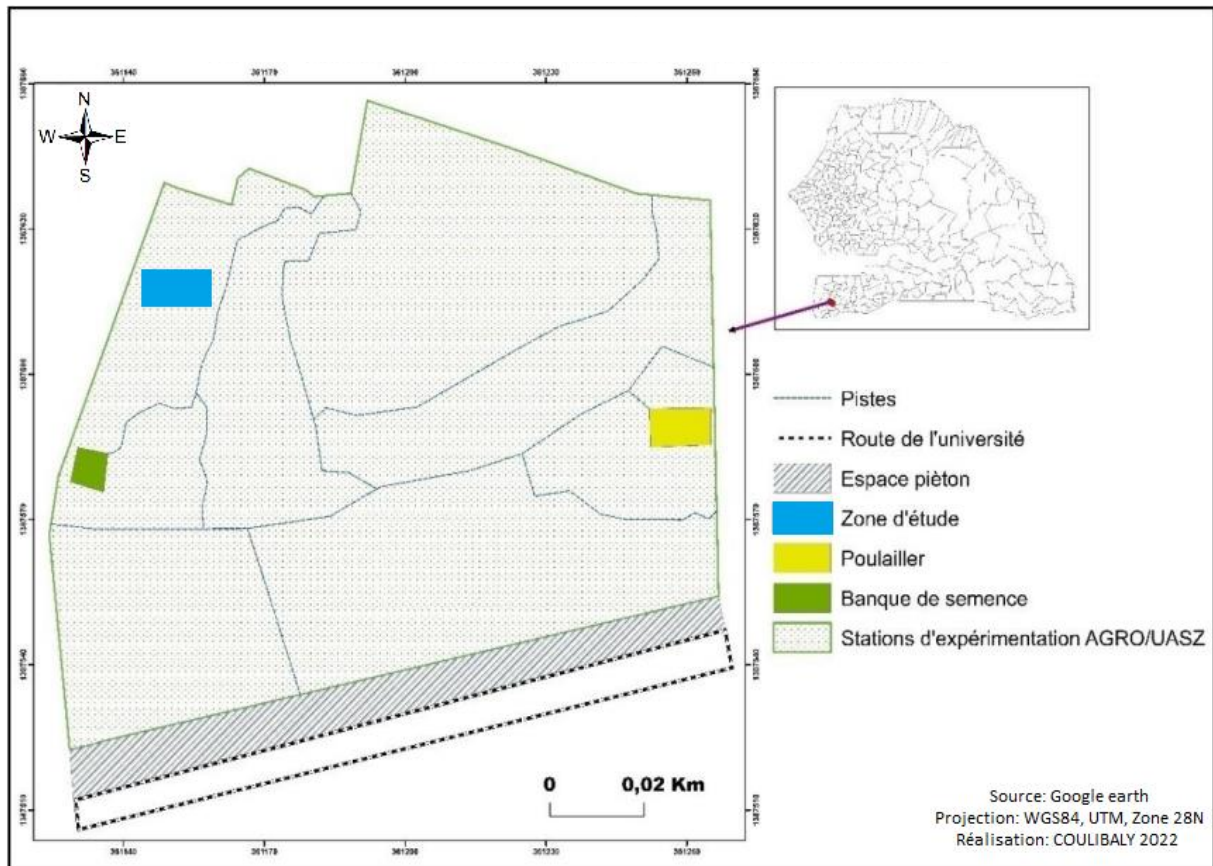


Figure 5 : Carte d'aménagement de la ferme

Le climat est de type tropical sub-guinéen marqué par une saison pluvieuse de 4 à 5 mois (juin à octobre) et une saison sèche de 7 à 8 mois (CSE, 2008). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1377 mm/an entre 1990 et 2020 (ANACIM, 2020).

La température moyenne annuelle à Ziguinchor est d'environ 27° C. La moyenne mensuelle maximale (37° C) se produit en Avril, et la minimale (15,50° C) en Janvier. De Janvier à Juin, les températures dépassent souvent 35° C pendant la journée et baissent en dessous de 20° C la nuit entre Décembre et Avril (ANSD, 2017).

On rencontre dans la région de Ziguinchor des vents chauds et secs (harmattan) de secteur Nord-Est de Novembre à Mai et des vents chauds et humides (mousson) de secteur Sud-Ouest de Mai à Novembre (ANSD, 2017). Néanmoins l'alizé maritime qui est un vent de mer, frais et humide souffle aussi dans cette région entre janvier et février.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une collection de 7 variétés de quinoa dont les 6 proviennent des Etats-Unis (PI614885, PI584524, PI433232, PI634919, PI478418, PI614886) et le 7^e (Titicaca) du Burkina-Faso.

2.3. Facteur étudié et dispositif expérimental

Le facteur étudié est la variété et chaque variété représente un traitement. Le dispositif expérimental utilisé est en bloc aléatoire complet (bloc de Fisher) avec trois répétitions. Chaque bloc est constitué de 7 parcelles élémentaires (une variété par parcelle élémentaire) distantes de 0,7 m (Figure 6). Chaque parcelle élémentaire mesure 0,9 m de large et 1,2 m de long et est constituée de quatre lignes. L'écartement est de 40 cm sur la ligne et 30 cm entre les lignes (Figure 7). Les blocs sont séparés de 0,8 m.

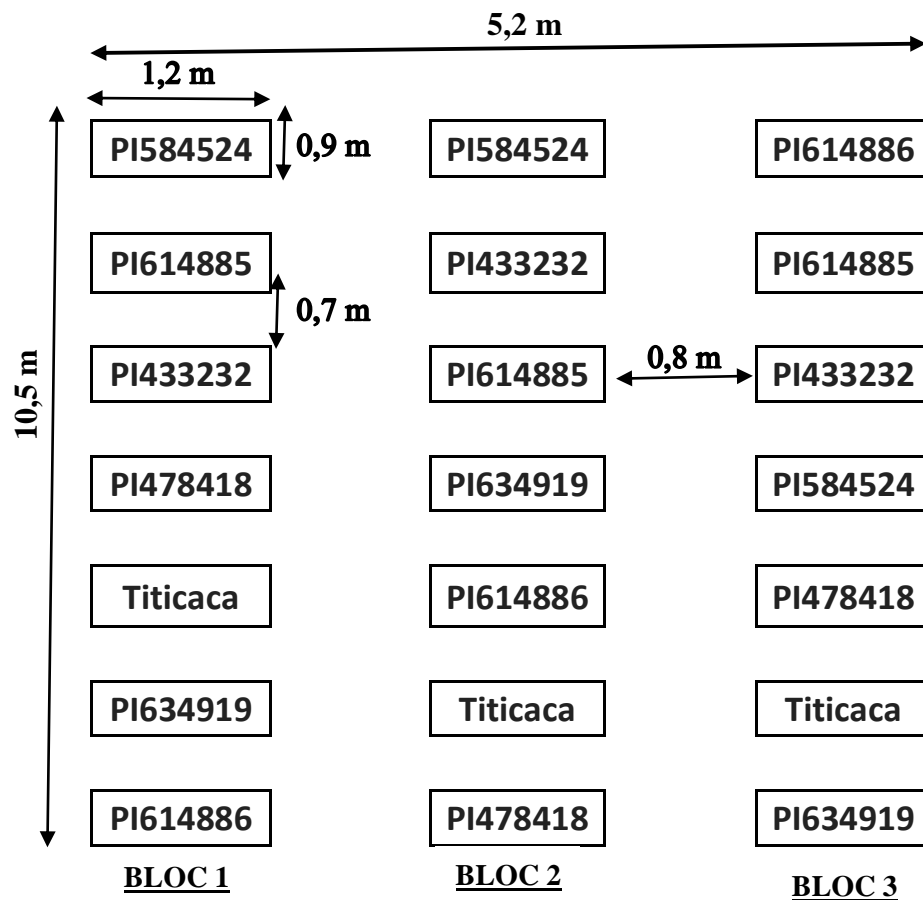


Figure 6 : Dispositif expérimental

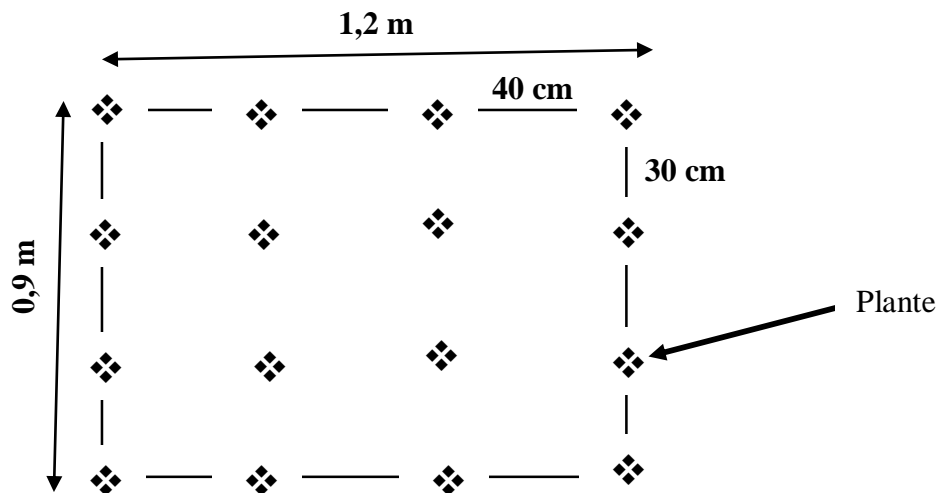


Figure 7 : Disposition de la parcelle élémentaire

2.4. Conduite de l'expérimentation

2.4.1. Mise en place de la pépinière

Le 18/02/2022 une pépinière a été mise en place. Des alvéoles ont été remplies avec du terreau (NFU 44-551) puis mises à l'ombre. Dans chaque trou 5 à 10 graines sont semées et les alvéoles sont recouvertes avec une toile pour garder une bonne humidité. Après 2 jours à l'ombre (durée de germination des graines de quinoa), les alvéoles sont déplacées vers un endroit plus ensoleillé pour éviter un étiolement des plantules (Figure 8).



Figure 8 : Pépinière de quinoa

2.4.2. Travail du sol

Les travaux de préparation du sol consistent au défrichage et au nettoyage de la zone, au labour pour ameublir le sol et à la délimitation de la parcelle d'étude (Figure 9).



Figure 9 : Mise en place du dispositif

2.4.3. Repiquage et démariage des plantes

Le 10/03/2022 (soit 21 JAS) les plantes ont été transplantées en pleine terre. Un démariage est effectué pour ne laisser que 2 plantes par poquet (Figure 10).



Figure 10 : Plantes repiquées

2.4.4. Application de l'engrais DAP

Au 28^e JAS de l'engrais DAP (18-46-0) a été appliqué à une dose de 400 kg/ha sur une bande distante d'environ 10 cm de la ligne de semis (Figure 11).



Figure 11 : Application de l'engrais DAP

2.4.5. Application de l'engrais NPK (10-10-20)

Au 58^e JAS de l'engrais NPK (10-10-20) a été appliqué à une dose de 40 g par ligne et à une distance de 10 cm des plantes.

2.5. Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sont : la sensibilité à la verse, la date à 50% de floraison, les paramètres morphologiques ainsi que le rendement et ses composantes.

2.5.1. Sensibilité à la verse

Elle est évaluée en comptant le nombre de plantes prostrées par rapport au nombre totale de plante de la parcelle élémentaire.

2.5.2. Date à 50% de floraison

Cela correspond au décompte du nombre de jours écoulés entre le semis et la floraison de 50% des plantes de la parcelle.

2.5.3. Longueur et largeur des feuilles

La longueur et la largeur des feuilles ont été mesurées en pleine floraison à l'aide d'une règle graduée, en considérant les feuilles du tiers médian à partir du sommet de la tige principale. Les mesures ont été faites sur les 4 plantes centrales (une feuille par plante).

2.5.4. Longueur de la panicule

Elle est mesurée au stade de maturité physiologique des plantes avec une règle graduée, de la base à l'apex de la panicule principale. Les mesures ont été faites sur les 4 plantes centrales.

2.5.5. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été mesurée du collet jusqu'au sommet de la panicule, au moment de la récolte avec un ruban-mètre.

2.5.6. Biomasse sèche aérienne

La biomasse sèche aérienne a été obtenue après la récolte, le séchage et le pesage des 4 plantes centrales à l'aide d'une balance électronique de précision 0,1 g (Figure 12).



Figure 12 : Balance électronique

2.5.7. Le rendement et ses composantes

La détermination du rendement et de ses composantes a été effectuée sur les 4 plantes centrales et a porté sur le rendement en graines ainsi que sur le poids des 100 graines. Les mesures ont été faites à l'aide d'une balance électronique de précision 10^{-4} g (Figure 13).



Figure 13 : Pesage des grains

2.6. Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies sur le tableur Excel 2013, puis soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel XLSTAT 2014. Si la différence est significative, les données sont soumises au test de comparaison des moyennes de Newman Keuls au seuil de 5% afin de déterminer s'il existe des groupes évidents. En fin, un test de corrélation a été effectué pour évaluer la dépendance entre les variables étudiés.

Chapitre 3 : Résultats

3.1. Sensibilité à la verse

L'analyse de variance montre une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les différentes variétés.

Les variétés PI584524 et PI478418 sont moins sensibles à la verse avec en moyenne de 8% de plants versés tandis que les variétés Titicaca et PI614886 ont enregistré la plus forte sensibilité avec 83% de plants versés (Figure 14).

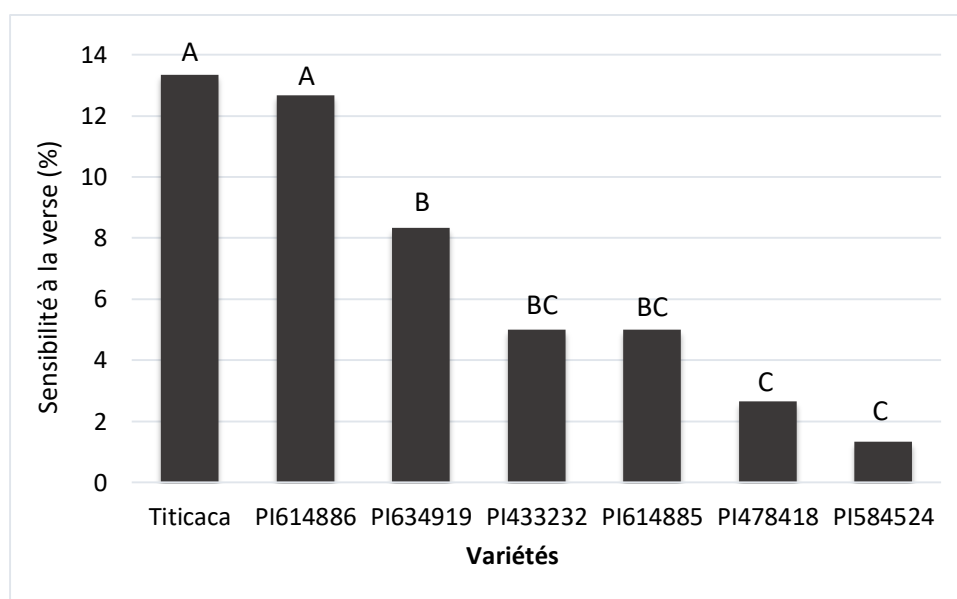


Figure 14 : Sensibilité à la verse en fonction des variétés

3.2. Date à 50% floraison

L'analyse de variance montre une différence significative ($P=0,001$) entre les différentes variétés.

Le test de comparaison de Newman Keuls classe les variétés en 2 sous-groupes (A et B) avec des variétés intermédiaires (AB). Les variétés PI584524, PI433232 et PI478418 enregistrent la plus longue durée entre 70 JAS et 72 JAS puis Titicaca et PI614886 qui enregistrent la plus courte durée avec 46 JAS (Figure 15).

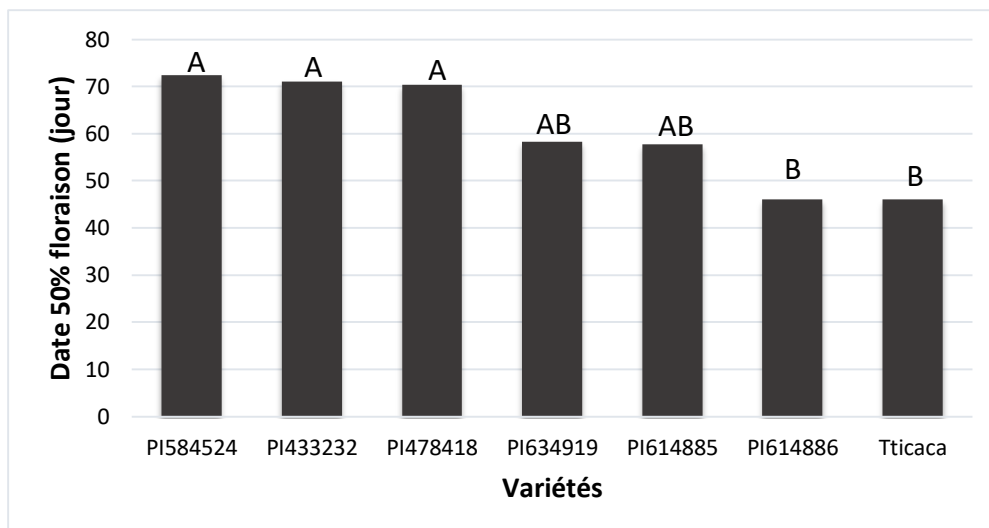


Figure 15 : Variation de la date de floraison en fonction des variétés

3.3. Longueur des feuilles

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative ($P=0,336$) entre les différentes variétés. Par ailleurs, en termes de valeurs absolues la variété PI634919 a la longueur moyenne la plus élevée (4,3 cm) par rapport aux autres variétés dont PI433232 qui a la valeur moyenne la plus faible avec 3,5 cm (Figure 16).

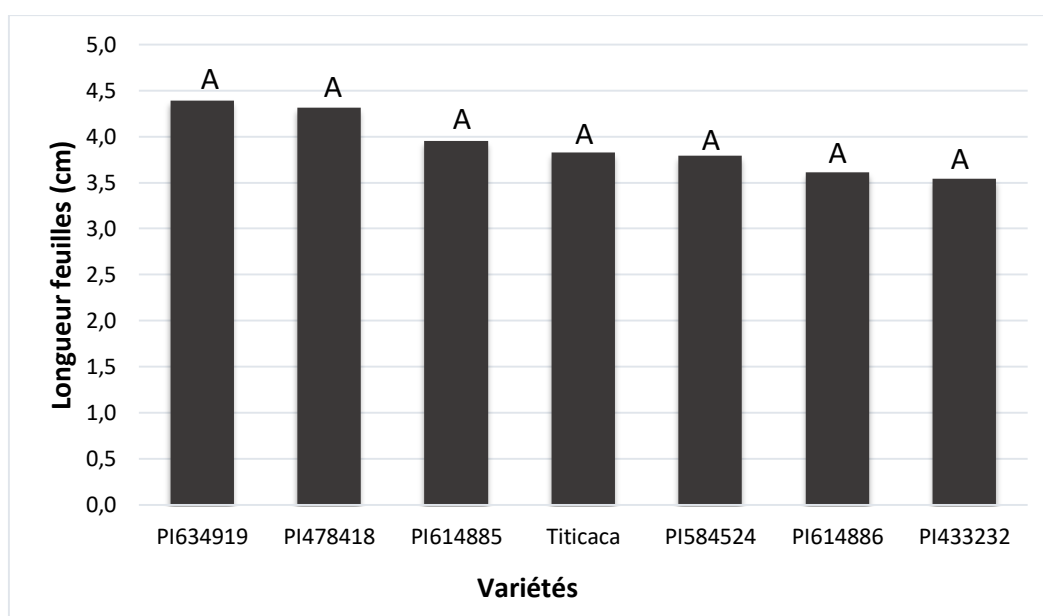


Figure 16 : Variation de la longueur des feuilles en fonction des variétés

3.4. Largeur des feuilles

L'analyse de variance montre une différence significative de la largeur entre les différentes variétés ($P=0,007$). Cette différence se traduit par une largeur moyenne plus élevée chez la variété PI478418 avec 4,1 cm et plus faible chez les variétés PI433232, PI614885, PI584524 et PI614886 entre 2,4 cm et 2,8 cm (Figure 17).

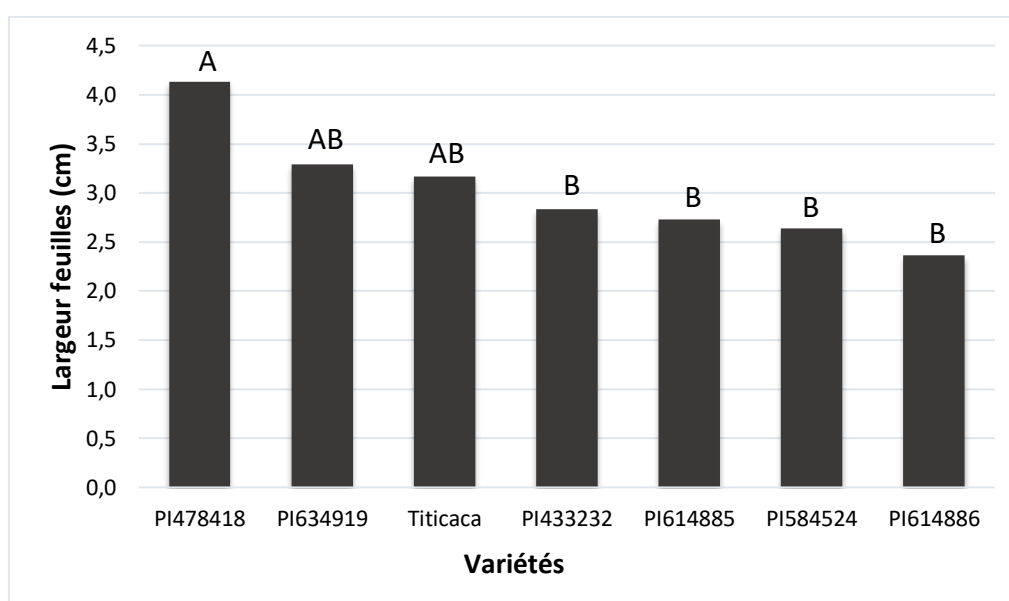


Figure 17 : Variation de la largeur des feuilles en fonction des variétés

3.5. Longueur panicule

L'analyse de variance montre une différence significative entre les différentes variétés ($P=0,012$). Les variétés PI478418 et PI634919 enregistrent la valeur moyenne la plus importante avec 19,3 cm par rapport aux autres variétés dont PI614885 qui a enregistré la valeur moyenne la moins importante avec 14,8 cm (Figure 18).

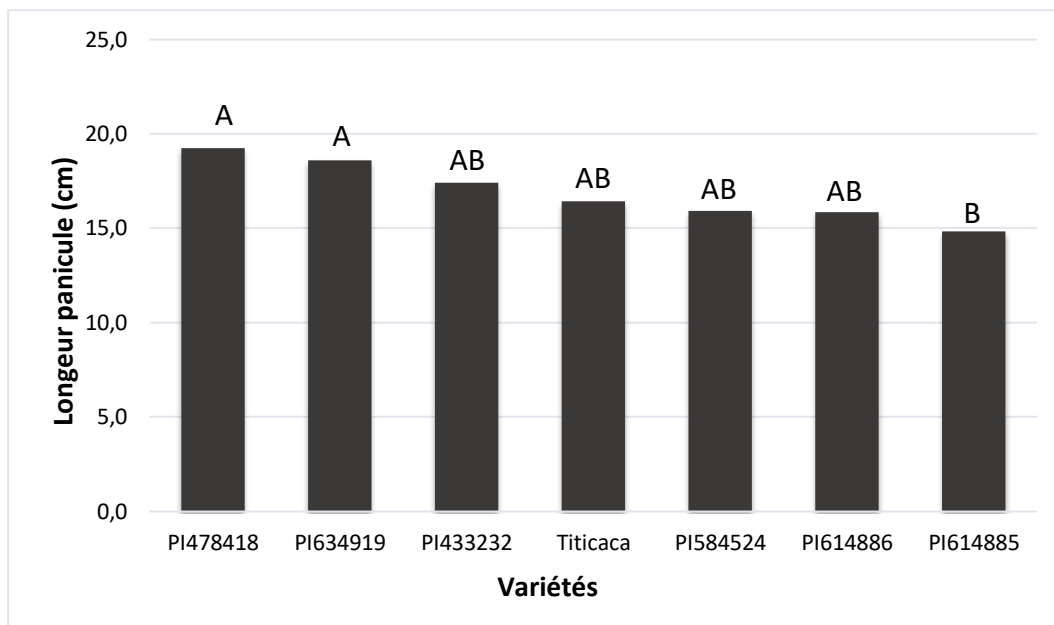


Figure 18 : Variation de la longueur des panicules

3.6. Hauteur des plantes

L'analyse de variance montre une différence significative entre la hauteur moyenne des différentes variétés ($P=0,008$). Les variétés PI478418, PI634919 et PI433232 ont la hauteur moyenne la plus élevée entre 69,5 cm et 74,3 cm tandis que la variété Titicaca a la hauteur moyenne la plus faible avec 37,8 cm (Figure 19).

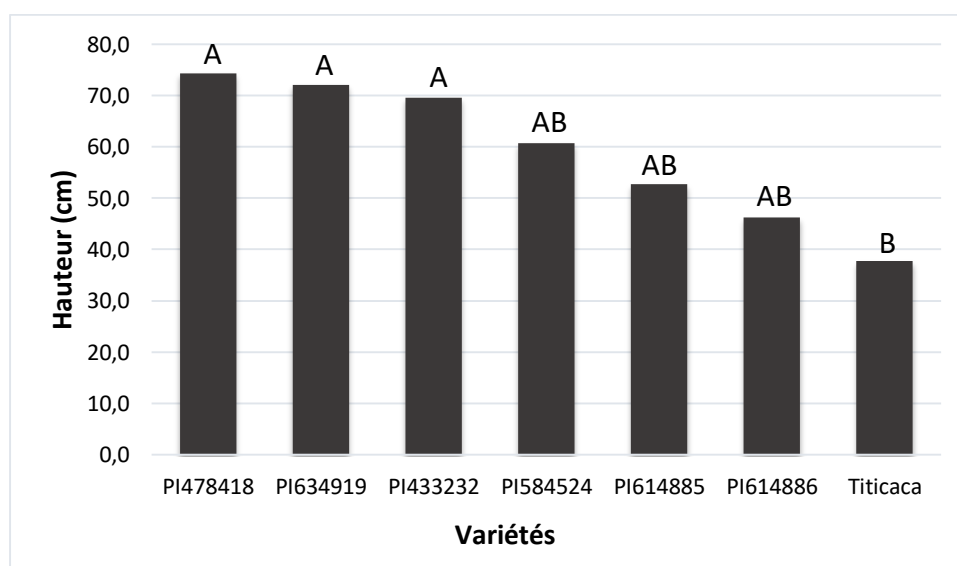


Figure 19 : Variation de la hauteur des plantes

3.7. Rendement

L'analyse de variance montre une différence significative entre les variétés ($P=0,009$). La variété PI634919 enregistre un rendement moyen nettement plus élevé (8,1 t/ha) par rapport aux autres dont PI614885 qui enregistre la valeur la plus faible (3,4 t/ha). Le rendement de la variété PI634919 est le double de la variété PI614885 (Figure 20).

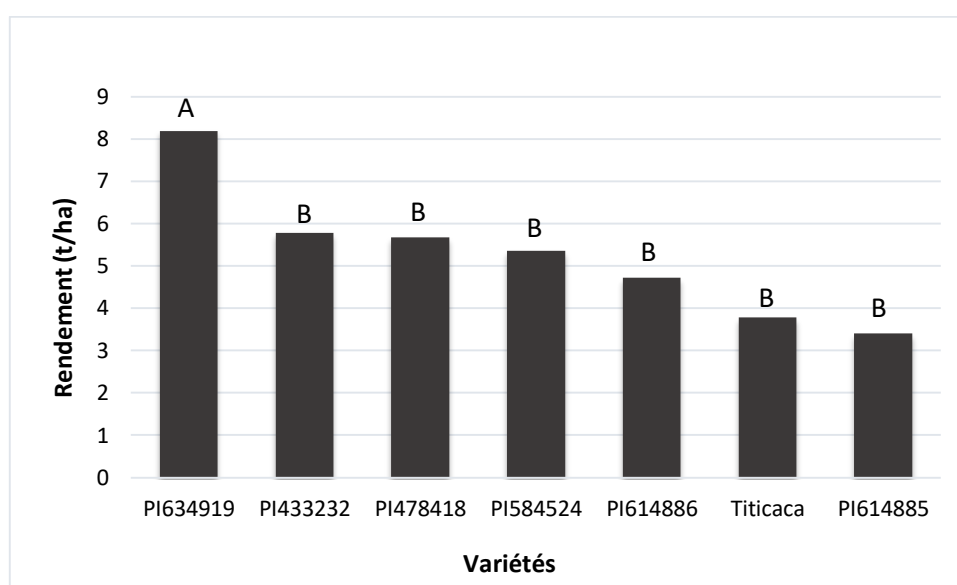


Figure 20 : Rendement des différentes variétés

3.8. Biomasse aérienne sèche (BAS)

L'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative entre la BAS des différentes variétés ($P=0,009$). La biomasse aérienne sèche est plus importante chez la variété PI634919 (52,3 g/plante) par rapport aux autres variétés dont PI614885 qui a la BAS la plus faible (18,5 g/plante). La BAS de la variété PI634919 fait 2 fois celle de la variété PI614885 (Figure 21).

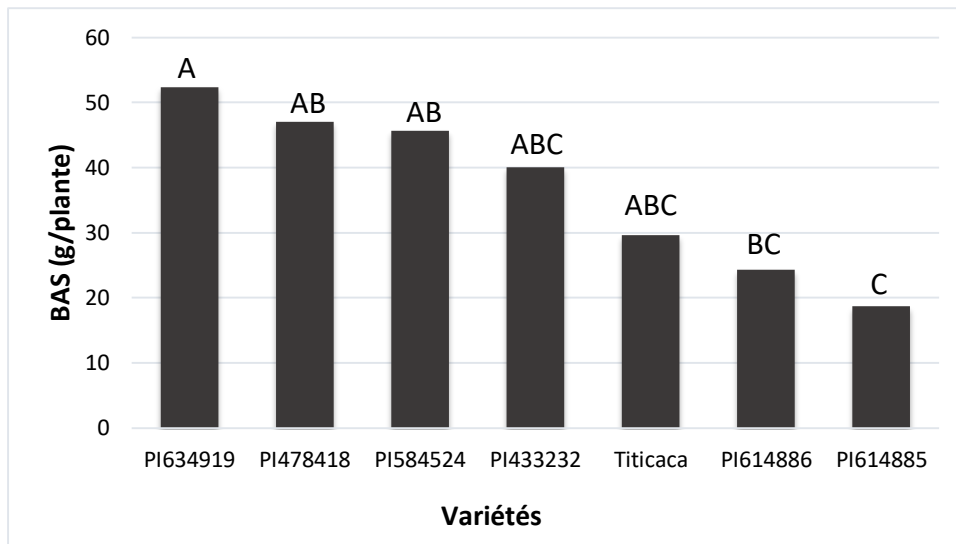


Figure 21 : Variation de la BAS en fonction des variétés

3.9. Poids des 100 graines

L'analyse de variance montre une différence significative ($P=0,020$) entre le poids des 100 graines des différentes variétés (Figure 22). La variété PI634919 a obtenu le poids le plus élevé (0,26 g) et les variétés PI433232, Titicaca et PI614886 le poids le plus faible (0,22 g).

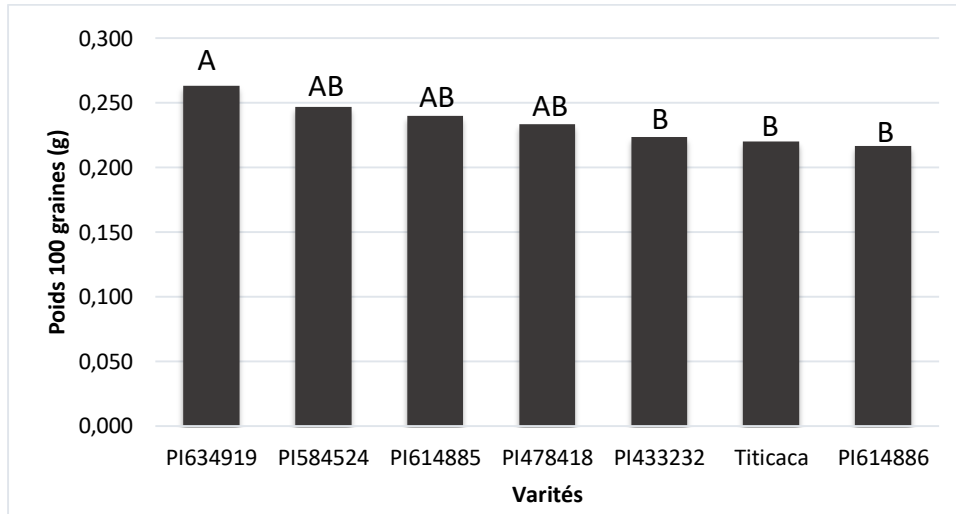


Figure 22 : Variation du poids des 100 graines

3.10. Corrélation entre les variables étudiées

Les résultats du test de Pearson (Figure 23) montrent que la hauteur et la date à 50% de floraison sont significativement et positivement corrélées ($r=0,80$). La sensibilité à la verse et la date à 50% de floraison sont négativement corrélées ($-0,94$). La longueur et la largeur des feuilles sont corrélées positivement ($0,76$) de même que pour la longueur des panicules et la largeur des feuilles. Le rendement est significativement et positivement corrélé à la hauteur. La biomasse aérienne sèche est corrélée significativement et positivement à la longueur des panicules ($0,80$), la hauteur ($0,78$), et le rendement ($0,86$).

DF	1								
LF	0,14	1							
lf	0,30	0,76	1						
LP	0,38	0,63	0,82	1					
H	0,80	0,50	0,51	0,74	1				
R	0,36	0,51	0,33	0,74	0,76	1			
BAS	0,62	0,52	0,54	0,80	0,78	0,86	1		
P100G	0,36	0,70	0,21	0,27	0,55	0,64	0,58	1	
SV	-0,94	-0,22	-0,25	-0,19	-0,69	-0,18	-0,45	-0,44	1
	DF	LF	lf	LP	H	R	BAS	P100G	SV

Figure 23 : Matrice de corrélation

Légende : DF : Date à 50% floraison ; LF : Longueur des feuilles ; lf : Largeur des feuilles ; LP : Longueur des panicules ; H : Hauteur ; R : Rendement ; BAS : Biomasse aérienne sèche ; P100G : Poids des 100 graines ; SV : Sensibilité à la verse

Chapitre 4 : Discussion

L'étude a consisté à tester l'adaptabilité et la performance de 7 variétés de quinoa. Le test d'ANOVA a montré que les variétés sont différentes pour tous les caractères étudiés à l'exception de la longueur des feuilles où il n'y pas de différence significative. Considérant la sensibilité à la verse les résultats ont montré que les variétés précoces (Titicaca et PI614886) sont plus sensibles avec en moyenne 83% de plants versés. Selon Hadj (2019) la verse des plantes pourrait être expliquée par l'effet du vent. Les variétés précoces ayant donné les plus faibles tailles sont aussi les plus sensibles aux effets de vents forts et sont plus susceptibles de verser sous le poids de leurs panicules.

Pour la date à 50% de floraison, l'analyse montre une grande différence entre les variétés qui pourrait s'expliquer par la différence entre leur cycle de cultures et aussi par les facteurs environnementaux. Ces résultats sont conformes à ceux de Bouzini (2019) qui montrent que la date de floraison dépend de l'interaction de plusieurs processus complexes qui sont influencés par les facteurs génétiques et/ou environnementaux.

Concernant la dimension des feuilles, il y'a une différence significative entre la largeur des feuilles des différentes variétés allant de 2,8 cm pour la plus faible à 4,1 cm pour la plus élevée ; tandis qu'il n'y a pas de différence significative pour la longueur (elle varie entre 3,5 cm à 4,4 cm). Cette différence au niveau de la largeur pourrait s'expliquer par le fait que la forme des feuilles n'est pas la même pour les différentes variétés étudiés. Cela a été montré par Mujica & al., (2001) qui soutiennent que les feuilles peuvent être rhomboïdales, triangulaires ou lancéolées.

Pour ce qui est de la longueur des panicules et de la hauteur des plantes, on a constaté qu'elles varient respectivement entre 14,8 cm à 19,3 cm et 37,8 cm à 74,3 cm. Pour la longueur des panicules les résultats sont différents de ceux de Nebie (2018) qui a trouvé des longueurs de panicules variant de 14 cm à 36,10 cm. Cette différence peut être expliquée par les conditions différentes du milieu et les types de variétés étudiés. Concernant la hauteur des plantes les résultats sont proches de ceux de Benzid (2020) qui a trouvé des hauteurs moyennes comprises entre 58,76 cm et 70.91 cm. Selon Bazile (2015) le type de variété et les conditions du milieu de culture influent énormément sur la hauteur de la plante chez le quinoa.

Concernant le rendement et la biomasse aérienne sèche (BAS), la variété PI634919 a donné les résultats les plus élevés avec un poids moyen de 8,1 t/ha et une BAS moyenne de 52,3 g/plant

alors que Titicaca et PI614885 ont donné les valeurs les plus faibles avec respectivement 3,7 t/ha et 3,4 t/ha pour le rendement et 29,7 g/plant et 24,3 g/plant pour la BAS. Ces résultats ne sont pas conformes à ceux de Nebie (2018) pour qui Titicaca fait partie des variétés les plus performantes avec les meilleurs rendements enregistrés. Cela pourrait s'expliquer par les conditions du milieu qui sont différentes et par la période de semis. Selon Marcel (2016), lorsque les températures s'élèvent au moment de la floraison les plantes de quinoa se débarrassent de leurs graines. Ces faibles rendement pourraient aussi s'expliquer par le fait que cette variété (Titicaca) ayant une hauteur faible et un fort taux de sensibilité à la verse, les panicules sont en contact direct avec le sol; ce qui peut entraîner des pertes de rendement. Stanschewski & *al.*, (2021) soutiennent que du fait que les panicules touchent le sol, une germinations avant la récolte et des infections fongiques peuvent subvenir.

La date de 50% de floraison est positivement corrélé à la hauteur des plantes, plus elle est tardive plus la hauteur augmente. Cela explique le fait que les variétés précoces ont enregistré les hauteurs les plus faibles.

Conclusion et perspectives

L'objectif principal de cette étude était d'identifier des variétés de quinoa qui s'adaptent aux conditions pédoclimatiques de la Casamance. Dans cette logique nous avons mené une étude sur 7 variétés de quinoa et on a pu distinguer deux groupes : les variétés précoces (Titicaca et PI614886) et les variétés tardives (PI584524, PI433232, PI634919, PI478418, PI614885). Les variétés précoces en plus de la variété PI614885 ont donné les résultats les plus faibles pour tous les paramètres étudiés. Par ailleurs, la variété PI634919 s'est démarquée des autres avec un rendement et une biomasse aérienne sèche nettement supérieure (respectivement 8,1 t/ha et 52,3 g/plant). Toutefois, il est à noter que globalement les rendements restent faibles. Le quinoa est une culture remarquable avec de nombreuses propriétés précieuses, mais c'est aussi une culture qui a encore besoin de recherches et de sélection pour faciliter son évolution et devenir une culture vivrière majeure.

Il serait intéressant de :

- reconduire cette étude à une période beaucoup moins chaude de l'année afin de comparer les résultats obtenus et pouvoir estimer la meilleure période de semis, pour le quinoa, en Casamance ;
- conduire des essais multi-locaux afin de prendre en compte les variabilités environnementales ;

Références bibliographiques

ANSD. 2017. Situation économique et sociale de la région de Ziguinchor en 2014. 154p

Bazile D, Bertero H. D, Nieto C, 2015, State of the art report on quinoa around the world in 2013, FAO-CIRAD. pp : 605

Bazile D., 2013, Perspective: Le quinoa : un catalyseur d'innovation n° 20; 4p.

Bazile D., 2015. Le Quinoa: Les Enjeux d'une Conquête. Paris: Éditions Quæ, 112 p

Benhabib O., 2005. Les cultures alternatives: Quinoa, Amarante et épeautre. Bulletin du PNTA n133, Octobre 2005

Benzid I., 2020. Contribution à la caractérisation morpho-physiologique et agronomique de trois variétés/ population de quinoa dans les conditions arides (Cas de Ouargla). Mémoire de master Université Kasdi Merbah–Ouargla, p : 37-65

Bertero D., Medan D., Hall A.J. (1996). Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Ann. Bot., 78(3), 317-324

Bhargava A., Shukla S., Ohri D., 2006, *Chenopodium quinoa*: an Indian perspective. Ind; Crops Prod.

Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P., Raffailac J.P., Rocheteau A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. European Journal of Agronomy. 25:299-308.

Bosque S.H., Lemeur R., Van Damme P. & Jacobsen S.E., 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Rev. Int., **19**, 111-119.

Bouzini Imen, 2019. Comparaison entre la mesure du taux de la chlorophylle et le dosage de sa teneur par spectrophotométrie : Comparaison évolutive de la sénescence

de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de master Université des Frères Mentouri Constantine 1. 69p

CSE. 2008. Rapport sur l'établissement de la situation de référence du milieu naturel en Moyenne et Basse Casamance. CSE Dakar. Dakar, Sénégal 201p

Danielsen S., Bonifacio A., Ames T. 2003. Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Food Rev.Int, 19(1-2), 43-59

Dao A., 2016. Quinoa introduction in West-Africa: experience of Burkina Faso. In International Quinoa Conference 2016 (Dubai, Arabes Unis, 6-9 Décembre 2016), Quinoa for Future Food Security in Marginal Environments- Dubai -ICBA 690,14p.

Daws. M. Y et Al Moallem. A 2018 Productivity evaluation of three introduced quinoa varieties under central highlands conditions in Yemen; Syrian journal of agricultural research. Damascus. Syria. Pp 102-113

Del Castillo C., Gregory M., Winkel T., 2008. Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente « bio-équitable ». Biotechnol. Agron. Soc.Envion., 12(4) : 421-435

Dharm S. 2019. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): potential crop for future food, health security, livelihood generation and poverty eradication, India. p. 285.

Eddine L.A.D 2020. La culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la Wilaya de Constantine. Mémoire de fin de cycle, Université de Constantine 1.

FAO 2011. Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security. <http://www.fao.org/docrep/017/aq287e/aq287e.pdf>

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, FAOSTAT Database, FAO. (22 Octobre 2021; www.fao.org/faostat)

FAO. 2013. FAOSTAT database. (Available at <http://faostat.fao.org>)

Hadj H. B. 2019. Etude de comportement agronomique de quelques variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région d'Adrar; zone de T'sabit. Mémoire master. Université Ahmed Draïa Adrar, 73p

Herbillon M., 2015. Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse doctorat en pharmacie. Université de Rouen U.F.R de médecine et de pharmacie. France, pp:27-50

ITDAS, 2017. La culture du Quinoa en milieu Oasien; DFRV, MADRP Alger.

Jacobsen S.E., Mujica A., Jensen C.R., 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Rev. Int. 19:99-109

Jacobsen, S. E et Stelen, O., 1993, Quinoa: morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe, European Journal of Agronomy, 2, 19p - 29p

Jyoti G., Chanu H. 2018. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) – The forgotten golden grain. International journal of food and nutritional sciences. Vol. 7 N°1, <http://www.ijfans.com/currentissue.php>

Koziol M. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Compos. Anal.*, 5(1), 35-68.

Lebonvallet, S. (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Agro Paris Tech, Paris & INRA, Avignon, France.

Lim, T. (2013). *Chenopodium quinoa*. Edible medicinal and non-medicinal plants, Springer: 115-131

Martínez E.A., Veas E., Jorquera C., San Martín R., Jara P. (2009). Reintroduction of *Chenopodium quinoa* Willd. into arid Chile : cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *J. Agron. Crop Sci.*, 195(1), 1-10.

Ministère de la santé, 2016. Rapport d'enquête Nutritionnelle Nationale

Moor. F, 2017. Développement de la culture de quinoa en Outaouais; Club des services agroenvironnementaux de l'Outaouais. Québec, Canada

Mujica, Á., Izquierdo, J., Marathee, J. P., & Capitulo, I. (2001). Origen y descripción de la quinua. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Editores. Mujica, A., Jacobsen, SE, Izquierdo, J., Marathee, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, 9-29.

Nebie L. 2018. Evaluation du quinoa au Burkina Faso : variabilité génétique, adaptabilité et perception des producteurs. Mémoire de fin de cycle université Nazi Boni (UNB).

Rojas. W, José Luis. S et Carrasco. E, 2004. Study on the social, environmental and economic impacts of quinoa promotion in Bolivia; PROINPA Foundation La Paz. Bolivia. P13.

Sibomana. R, 2017 La culture de quinoa; La voix des collines (trimestriel d'information, de formation et d'action du monde rural. No15-16).Bujumbura. Burundi. P26.

Stanschewski, CS; Rey, E.; Fiène, G.; Craine, EB; Wellman, G.; Melino, VJ; Patiranage, DSR; Johansen, K.; Schmoeckel, SM; Bertero, D.; et coll. Quinoa Méthodologies de phénotypage : un consensus international. *Végétaux* **2021**, dix, 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>.

Tapia M.E., 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. In : Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathe, J. P. y FAO, editors. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.

Valencia-Chamorro S. A., 2003, Quinoa, In: cabalero B. 2é: éd. Encyclopedia of Food science and nutrition (vol.8), Amsterdam, Academic Press, 4895p - 4902p.

Walters H., Carpenter-Boggs L., Desta K., Yan L., Matanguihan GJ, Murphy KM 2016. Effet de l'irrigation, des cultures et des cultivars sur les caractéristiques agronomiques et nutritionnelles du quinoa. *Agroecol. Sust. Food*.