



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER- BISKRA



FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat** en sciences agronomiques

Option : Production Végétale

THEME

***Mécanisation des semis du quinoa, essai
d'adaptation d'un semoir conventionnel***

Présentée par : HABBAS Mahdjouba

Jury composé de :

Présidente : FARHI Kamilia (Prof - Univ. Med Khider. Biskra)

Promotrice: BOUKHALFA Hassina Hafida (Prof - Univ. Med Khider. Biskra)

Examineur: MEHAOUA Mohamed Seghir (Prof - Univ. Med Khider. Biskra)

Examineur : NOURANI AHMED (DR- CRSTRA. Biskra)

Année universitaire : 2024/2025

Dédicace

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon cher collègue, ABID Abdelfettah, mon enseignant et mon conseiller, notre mémoire n'est oublieuse nullement votre conseil, votre générosité et votre bonté, repose en paix mon frère.

Mes parents exceptionnels que Dieu les bénisse, je les remercie de m'avoir donné cette vie

A ma petite famille, mon cher mari et mon petit ange Sami

Mes chers frères et mes chères sœurs

À mes adorables neveux et nièces

Mon beau père, ma belle-mère, mes belles sœurs et mes beaux frères

A toute ma famille et tous ceux qui ont pensée amicale pour moi

Remerciements

Mes remerciements avant tout vont au DIEU de m'avoir donné la foi, la volonté, la patience et de m'avoir accordée le courage et la force pour l'accomplissement de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de thèse, **Pr. BOUKHALFA Hassina Hafida** qui m'a fait l'honneur de m'encadrer. J'ai pu apprécier les qualités d'une femme de science et de pédagogie, mais aussi des qualités humaines qui m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance. Je lui suis particulièrement reconnaissante et redevable pour le temps et l'énergie qu'elle m'a toujours accordée, pour ses conseils, ses orientations et surtout sagesse dont le moindre qu'on puisse dire et celle des grands maîtres, je peux m'estimer très privilégiée.

Je remercie aussi **Pr. FARHI Kamilia**, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse, c'est tout un honneur pour moi.

Mes remerciements vont également à **Pr. MEHAOUA Mohamed Seghir** et à **Pr. NOURANI Ahmed**, pour avoir accepté de prendre le temps d'examiner le document et faire partie du jury.

Que chacun d'entre eux trouve ici l'expression de mes plus profonds respects et ma gratitude.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à **Mr. BENDJEDDOU Fouad**, directeur de l'ITDAS de Biskra, pour la parcelle expérimentale et la fourniture des équipements agricoles nécessaires.

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements à mes collègues, **BOUDRAA Loubna** et **CHEIAKH Mohamed Omar**, qui m'ont encouragé et aidé à chaque étape de la réalisation de mes essais, du semis à la récolte.

Je souhaite adresser mes remerciements à **Mr. BERREKBIA Mohamed**, directeur de l'INRA de Touggourt pour son aide et grand appui dans les traitements statistiques des données.

Je remercie également les enseignants, ingénieurs et techniciens de laboratoires pour leurs aides dans la réalisation des analyses.

Je remercie vivement l'ensemble des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens de la station expérimentale de félicieche, du CRSTRA et de l'ITDAS pour leurs aides scientifiques, techniques ou administratives. Ainsi que tous les agriculteurs des wilayas d'Oued Souf et Biskra ayant participé à l'enquête et qui n'ont pas hésité à me recevoir et à répondre à mes questions.

Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette thèse, trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements et ma reconnaissance.

Merci du fond du cœur !

HABBAS M.

Liste des abréviations

***** : significatif

****** : hautement significatif

******* : très hautement significatif

D : Dose de semis mécanique

DSA : Direction des Services Agricoles.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FG : faculté de germination

H (%) : Humidité relative (%)

IR : indice récolte

ITDAS : Institut technique pour le développement agricole de la saharienne

J : jours

L : Ligne

MS : méthode de semis

NS : non significatif

P : Précipitations (mm).

P : Poquet

PMG : poids de mille graines.

qx/ha: quintaux à l'hectare

Sig. : signification

T° Max : Température maximale mensuelle moyenne (°C).

T° Min : Température minimale mensuelle moyenne (°C).

T° Moy : Température moyenne mensuelle (°C).

V : variété

V : Vitesse moyenne de vent (km/h)

V : Volée

V1 : Giza II

V2 : Q noire

V3 : Q10

Liste des Figures

N°	Titre	Page
01	Situation géographique des sites d'étude.....	11
02	Localisation de la parcelle expérimentale.....	12
03	Données climatiques quotidiennes de la parcelle expérimentale pendant la deuxième saison d'expérimentation (essai 2).....	15
04	Test de germination des variétés du quinoa.....	16
05	Préparation du sol	17
06	Schéma du dispositif expérimental du premier essai (saison 2019/2020).....	19
07	Schéma du dispositif expérimental du deuxième essai (saison 2020/2021).....	21
08	Semis manuel en ligne.....	22
09	Semis manuel à la volée.....	23
10	Semis manuel en poquets	23
11	Semoir en ligne à distribution mécanique utilisé pour le semis du quinoa.....	24
12	Installation du système d'irrigation goutte à goutte	27
13	Récolte manuelle du quinoa	29
14	Ensemble des mesures réalisées sur la récolte du quinoa	33
15	Répartition des types des sols des sites d'investigation	36
16	Préparation du sol par les enquêtés.....	37
17	Types de fumure de fond appliquées par les enquêtés.....	37
18	Source d'approvisionnement et nombre des variétés testées par les enquêtés.....	39
19	Périodes de semis du quinoa par les enquêtés.....	41
20	Durée en jours des stades de développement des variétés testées au premier essai (2019/2020).....	54
21	Durée en jours des stades de développement des variétés testées au deuxième essai (2020/2021)	54
22	Stades phénologiques du quinoa pendant la première saison (2019/2020).....	57

23	Variation du nombre de plants/m ² en fonction des méthodes de semis et des variétés testées	58
24	Variation de la hauteur des plants en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.....	62
25	Variation du nombre de panicules/plant en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.....	64
26	Variation de la hauteur de panicule principale en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.....	66
27	Variation du poids sec des plantes en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.....	68
28	Variation du poids de panicule principale en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.....	70
29	Variation du rendement en grains par plant en fonction des méthodes de semis et des variétés testées	71
30	Variation du rendement total en fonction des méthodes de semis et des variétés testées	74
31	Variation de poids de 1000 graines en fonction des méthodes de semis et des variétés testées	77
32	Variation de l'indice de récolte en fonction des méthodes de semis et des variétés testée.....	79
33	Variation de la tenure en protéines des grains de quinoa en fonction des méthodes de semis et des variétés testée	81

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Caractérisation physicochimique du sol de la parcelle expérimentale.....	13
02	Données climatiques de la première saison agricole.....	14
03	Caractéristiques des variétés de quinoa testées.....	16
04	Doses de semis mécanique pour le premier essai (saison 2019/2020).....	26
05	Doses de semis mécanique pour le deuxième essai (saison 2020/2021).....	26
06	Caractéristiques socioprofessionnelles des enquêtés	34
07	Quelques caractéristiques des variétés évaluées	39
08	Paramètres généraux des semis effectués par les enquêtés.....	42
09	Techniques culturales appliquées par les enquêtés à la culture du quinoa...	45
10	Caractéristiques des opérations de récolte et de post récolte des enquêtés....	50
11	Effet des variétés de quinoa (V) et des méthodes de semis (MS) sur les paramètres étudiés.....	59
12	Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en terme du nombre des plants/m ²	61
13	Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du nombre de panicule par plant.....	65
14	Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du rendement en grains/plant.....	72
15	Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du rendement total.....	75
16	Analyse de corrélation de Pearson des paramètres du rendement et de ses composantes selon les facteurs étudiés.....	83

Sommaire

Liste des abréviations

Listes des figures

Listes des tableaux

Introduction générale 01

Chapitre I : Matériel et méthodes

Méthodologie de travail..... 08

I. Première étape : Investigation de terrain par enquête 08

I.1. Choix des sites d'étude..... 08

I.1.1. Description de la région de Biskra..... 08

I.1.2. Description de la région d'Oued Souf 09

I.2. Echantillon concerné par l'enquête..... 11

I.3. Déroulement d'enquête 11

II. Deuxième étape : Essais expérimentaux 12

II.1. Localisation de la parcelle expérimentale..... 12

II.2. Conditions pédoclimatiques de la parcelle expérimentale..... 13

II.2.1. Caractéristiques physicochimiques du sol 13

II.2.2. Caractéristiques climatiques 13

II.3. Matériel végétal 15

II.4. Mise en place de la culture..... 17

II.4.1. Préparation du sol 17

II.4.2. Conception du dispositif expérimental.....	17
II.4.2.1. Premier essai (saison agricole 2019/2020)	17
II.4.2.2. Deuxième essai (saison agricole 2020/2021)	20
II.4.3. Réalisation des semis	22
II.4.3.1. Semis manuels.....	22
II.4.3.2. Semis mécaniques.....	24
II.4.3.2. 1. Semoir en ligne utilisé.....	24
II.4. 3.2.2. Dose de semis	25
II.5. Conduite de la culture.....	26
II.6. Récolte	28
II.7. Paramètres mesurés.....	29
II.7.1. Durée des stades phénologiques	29
II.7.2. Mesures morphologiques et agronomiques effectuées.....	30
II.7.2.1. Nombre de plants /m².....	30
II.7.2.2. Hauteur de la plante.....	30
II.7.2.3. Nombre de panicules par plant	31
II.7.2.4. Longueur de la panicule principale	31
II.7.2.5. Poids sec des plants.....	31
II.7.2.6. Poids de la panicule principale.....	31
II.7.2.7. Rendement en grains par plant	31
II.7.2.8. Rendement total.....	31
II.7.2.9. Poids de mille grains	31
II.7.2.10. Indice de récolte	31

II.7.2.11. Taux d'azote	32
II.7.2.12. Teneur en protéines	32
II.8. Collecte de données et analyses statistiques.....	32

Chapitre II : Résultats et discussions

I. Première étape : Investigation de terrain par enquête	34
I.1. Identification socioprofessionnelle des participants	34
I.2. Production et gestion de la culture.....	35
I.2. 1. Type du sol	35
I.2.2. Préparation du sol.....	36
I.2.3. Source et caractéristiques des variétés cultivées.....	38
I.3. Semis du quinoa.....	40
I.3.1. Date de semis	40
I.3.2. Paramètres de semis.....	42
I.4. Suivi de la culture	45
I.5. Récolte et poste récolte	49
II. Deuxième étape : essais expérimentaux	53
II.1. Stades phénologiques.....	53
II.2. Notations relatives au cycle pendant le premier essai.....	56
II.3. Mesures morphologiques et agronomiques du deuxième essai	58
II.3.1. Nombre de plants /m².....	58
II.3.2. Hauteur des plants	61
II.3.3. Nombre de panicule par plant.....	63

II.3.4. Hauteur de la panicule principale	66
II.3.5. Poids sec des plants.....	67
II.3.6. Poids de panicule principale.....	69
II.3.7. Rendement en grains par plant.....	71
II.3.8. Rendement total de la culture.....	73
II.3.9. Poids de 1000 graines	76
II.3.10. Indice de récolte.....	78
II.3.11. Teneur en protéines des grains de quinoa.....	80
II.4. Interaction entre les paramètres de rendement.....	82
Conclusion générale	85
Références bibliographies	87
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie est l'un des plus grands pays consommateurs de céréales au monde (Bessaoud et al., 2019). Statistiquement, sa production céréalière est passée de 8 à 51 millions quintaux en un demi-siècle (Zaaboubi et al., 2020). Une politique nationale basée sur la mise en valeur agricole des steppes et du Sahara depuis 1983, vise à remplacer l'agriculture traditionnelle jugée en difficulté et non rentable par la production céréalière (Hadeid et al., 2018).

Dans cette optique, l'Algérie a mis en place depuis les années 2000 une politique visant à l'amélioration de la sécurité alimentaire nationale, le développement de certaines filières agricoles prioritaires et stratégiques (céréales, lait, pommes de terre) et à mettre en valeur les terres des régions sahariennes et steppiques, qui constituent d'importants bassins de production agricole (Bessaoud et al., 2019). S'inspirant des expériences plus ou moins réussies des États-Unis, de l'Arabie saoudite et de la Libye, l'État s'est alors engagé dans une vaste opération de mise en valeur des zones arides et semi-arides, visant à faire de l'agriculture saharienne la réserve alimentaire de l'Algérie, défi que l'agriculture du nord du pays n'avait pas réussi à relever (Hadeid et al., 2018).

Cependant, La nature du relief et les conditions bioclimatiques constituent les principaux facteurs limitants de l'agriculture dans ces zones. Dans ces vastes espaces intérieurs le climat est sec, froid en hiver et chaud en été, où les sols salins occupent de grandes surfaces et l'eau est rare et généralement salée ((Bessaoud et al., 2019 ; Oustani et al.,2023).

En effet, l'introduction des cultures alternatives tolérantes à la sécheresse et au sel est l'une des solutions stratégiques pour combler le déséquilibre entre l'évolution de la population et l'insécurité alimentaire d'une part et d'obtenir des rotations de cultures plus résistantes et de produire de cultures commerciales à haute valeur ajoutée d'autre part (Jacobsen et al.,2012 ; Mahmoud 2017). Un exemple de culture alternative idéale qui peut contribuer à la durabilité environnementale et alimentaire grâce à sa grande adaptabilité, (Bhargava et al.,2006 ;), son agro-biodiversité élevée (Mehda et al.,2023) ses qualités

nutritionnelles exceptionnelles, est le quinoa, qui a attiré une énorme attention dans le monde (Afzal et al., 2023).

Son potentiel d'adaptation et sa capacité de développement remarquables dans des conditions météorologiques extrêmes, y compris la sécheresse, la salinité élevée et le gel (Jaikishun et al., 2019 ; Cauda et al., 2013 ; Murphy et Matanguihan, 2015), font du quinoa une culture robuste avec des caractéristiques agronomiques et physiologiques intéressantes, qui ont encouragé les chercheurs à la sortir des Andes et à tenter de l'adapter à d'autres parties du monde (Mehda et al., 2023).

En 1996, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a classé le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) parmi les cultures les plus prometteuses de l'humanité, reconnaissant ses propriétés bénéfiques et ses utilisations polyvalentes (Alan, 2011 ; Ahmadzai, 2020). Positionné comme une alternative aux graves problèmes de nutrition humaine, il apparaît comme un contributeur crucial à l'amélioration de la sécurité alimentaire. Des aspects remarquables tels que son faible coût de production (Angeli et al., 2020), ses propriétés nutritionnelles et ses diverses utilisations font de lui un choix attrayant pour une agriculture durable (Haros et Schoenlechner, 2017 ; Stanschewski et al., 2021).

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) originaire de la région des Andes de Bolivie et du Pérou, est une pseudo-céréale et n'est pourtant pas considéré comme une céréale en tant qu'il appartient à la famille des Chénopodiacées plutôt qu'à celle des Poacées, du genre *Chenopodium* et de l'espèce quinoa. (Chandra et al., 2018 ; Ruiz et al., 2014), plus précisément une culture tétraploïde et halophyte (Angeli et al., 2020). C'est une dicotylédone herbacée, autogame, annuelle, qui atteint une hauteur de 2 à 3 m (Bhargava et al., 2006 ; García-Parra et al., 2020). Ces plantes peuvent afficher une variété de couleurs allant du vert au rouge et au violet avec de nombreuses couleurs intermédiaires entre les deux (Alan, 2011). Avec un système racinaire pivotant bien développé et très ramifié, l'espèce est plus résistante à la sécheresse, aux vents forts et protégée en période de pénurie d'eau ce qui l'aide à résister (Bhargava et Srivastava, 2013 ; Pando et Aguilar, 2016). Le Quinoa est un mot d'origine quechua désignant une plante annuelle à feuilles triangulaires et panicules composées (Del Castillo et al., 2008). La couleur des feuilles varie en fonction

des géotypes, elles sont généralement vertes lorsqu'elles sont jeunes puis elles virent au jaune, rouge ou violet (Alan, 2011).

Les fruits se présentent en akène indéhiscant de forme cylindrique à lenticulaire (Bhargava et al., 2006). Les graines, de 0.28 à 2,1 mm, sont de couleur noir, rouge, rose, orange, jaune ou blanche (Jaikishun et al., 2019), Consommée sous forme de grain complets, de farine, de flocons ou de graines soufflées (Del Castillo et al., 2008).

Le quinoa, dont la graine est devenue un produit alimentaire extrêmement populaire au cours des dernières décennies (Bazile et al., 2015) présente un intérêt nutritionnel marqué par une composition équilibrée en acides aminés, en minéraux, en fibres, en vitamines, en acide linoléique (omega-3), en amylases, et par l'absence de gluten (Murphy et Matanguihan, 2015 ; Taylor et Awika, 2017 ; Angeli et al., 2020 ; Choudhary et al., 2020). En outre, sa valeur nutritionnelle supérieure à celle de la plupart des céréales, il est appelé chisiya, ce qui signifie "graine mère" en langue quechua (Cauda et al., 2013). Il est souvent qualifié de "super-aliment" riche en protéines de haute qualité avec une teneur plus élevée que n'importe quelle autre céréale, soit en moyenne 16.2% comparé aux 7.5 % du riz ou 14 % du blé (Benlahbib 2005 ; Del Castillo et al., 2008 ; Hammad et al., 2021).

L'Année internationale du quinoa en 2013 a éclairé son potentiel de lutte contre la faim et la pauvreté (Bazile et al., 2016a ; Pulvento et Bazile 2023) et lui a donné une priorité mondiale. Grâce à sa haute valeur nutritionnelle et à sa biodiversité, il a été identifié comme une alternative importante pour contribuer à la sécurité alimentaire mondiale (Jacobsen et al., 2012). En particulier dans les zones où la population n'a pas accès à des sources adéquates de protéines, ou lorsqu'il y a des contraintes environnementales à la production de cultures vivrières (Bazile et al., 2015).

Suite au programme de l'IAQ (Année internationale du quinoa), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a lancé un test multi local par l'intermédiaire de la FAO-TCP (Technical Cooperation Programmers) dans un certain nombre de pays présentant des conditions écologiques similaires. Notamment en Afrique du Nord, au Proche-Orient et en Asie, dans des conditions climatiques semi-arides ou arides assez similaires, à savoir en Algérie, en Égypte, en Iran, en Irak, au Kirghizistan, au

Liban, en Mauritanie, au Tadjikistan et au Yémen. (Bazile et al., 2016b ; Ahmadzai, 2020). En tant qu'une nouvelle culture, le quinoa est introduit en Algérie pour la première fois en 2014, dans le cadre du projet de la FAO. Il a été cultivé à titre expérimental dans huit sites de quatre institutions présentant des caractéristiques agroécologiques différentes à savoir : Baïnem (Alger), Sétif, Tiaret, Relizane, Guelma, Biskra, El Oued et Adrar (Maamri et al., 2022 ; Rahal-Bouziane et al., 2020).

Les études préliminaires réalisés par les instituts de recherche algériens dans le cadre de ce projet, afin d'évaluer les performances des génotypes de Quinoa et ses potentialités de production, ont montré que sa culture et son adoption sont possibles. (Rahal-Bouziane et al 2020 ; Gacemi, 2016). Cependant, peu d'essais ont essentiellement porté sur l'évaluation de l'adaptabilité et des performances agronomiques du quinoa aux conditions arides (Maamri et al., 2022 ; Mehda et al., 2023). En effet, les travaux de, Bazile et al. (2016b), Ahmadzai (2020), Oustani et al. (2023) et Gacemi (2016) étaient consacrés à identifier les variétés les plus performantes en termes de rendement et de qualité, définir les dates de semis appropriées et évaluer l'adaptabilité du quinoa aux conditions climatiques locales.

Les opérations culturales pour la production de quinoa sont généralement limitées à la préparation du terrain, au semis, au contrôle des maladies, des parasites et, plus rarement, des mauvaises herbes et à la récolte (Del Castillo et al., 2008). Parmi ces opérations, le semis est l'une des plus importantes car l'émergence des plantules, ayant un impact sur la densité des plantes et les rendements finaux, dépend de cette étape (Murphy et Matanguihan, 2015 ; Bhargava A et Srivastava S 2013), c'est la clé pour la réussite ou l'échec de la culture et nécessite une certaine expérience. Les graines de quinoa sont semées à des moments différents, en fonction de l'endroit à semer, les caractéristiques de la variété et l'humidité du sol sont également des facteurs importants à prendre en compte pour déterminer la méthode de semis à utiliser, qu'elle soit manuelle ou mécanique (Alan, 2011 ; Murphy et Matanguihan, 2015).

Pour une nouvelle culture introduite comme le quinoa, la technique de semis est une pratique agronomique importante pour obtenir un rendement élevé (Ali et al., 2020), elle influence fortement la croissance, la morphologie, le rendement et l'accumulation de

biomasse (Afzal et al., 2022). Traditionnellement, elle s'effectuait exclusivement d'une façon manuelle (Garcia et al., 2015), soit par poquet, en sillons, à la volée ou par repiquage (Aguilar et Jacobsen., 2003 ; Bhargava et al., 2006 ; Pando et Aguilar 2016 ; Singh et al., 2021 ; Taaime et al., 2023). Ce semis manuel pratiqué dans les pays en développement, entraîne une utilisation excessive de semences, des densités irrégulières et un besoin accru de main-d'œuvre (Afzal et al., 2022). Cependant, la différenciation des itinéraires techniques est fortement déterminée par le degré de mécanisation des opérations. L'itinéraire entièrement manuel se distingue de l'itinéraire semi-mécanisé où seul le labour est effectué mécaniquement (Toral, 2014). La transition vers la méthode plus mécanisée est devenue nécessaire, surtout avec l'augmentation des prix de quinoa liée à l'augmentation de la demande, motivée par l'intérêt croissant de cette culture (Präger et al., 2018 ; Alandia et al., 2020).

Dans un pays comme l'Algérie, où l'introduction récente du quinoa vise à diversifier les cultures et à améliorer la sécurité alimentaire dans des zones arides, la mécanisation est essentielle pour surmonter les contraintes liées aux pratiques traditionnelles. En plus de renforcer la rentabilité, elle permet d'adapter les techniques culturales à grande échelle, rendant cette culture prometteuse et accessible à un plus grand nombre d'agriculteurs (Bazile et al., 2016b).

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre recherche ayant pour objectif principal d'étudier l'impact de la mécanisation du semis du quinoa sur la productivité et la qualité de la culture, particulièrement dans des conditions arides, où les défis agroécologiques nécessitent des innovations technologiques pour garantir la viabilité de cette culture émergente. Sachant que, l'optimisation de cette nouvelle culture nécessite une compréhension approfondie de ses exigences agronomiques et des moyens techniques pour en améliorer la rentabilité.

Matériel et Méthodes

Méthodologie de travail

Notre recherche s'est déroulée en deux étapes indépendantes et complémentaires.

Une première étape consacrée à l'investigation des pratiques agricoles des agriculteurs ayant participé au programme d'intégration de la culture du quinoa dans les wilayas de Biskra et Oued Souf dans l'objectif de collecter des données permettant de tirer des conclusions sur l'adaptabilité de la culture et l'appréciation des agriculteurs.

La seconde étape consiste en des essais expérimentaux étudiant l'effet de la mécanisation de l'opération de semis sur le rendement du quinoa et de ses composantes en région aride.

I. Première étape : Investigation de terrain par enquête

I.1. Choix des sites d'études

Cette étape de recherche porte sur l'analyse des résultats de l'enquête de terrain dans deux régions situées au sud-est de l'Algérie avec des conditions climatiques arides similaires, à savoir : Biskra et Oued Souf (figure 1). Les sites d'étude contiennent une grande partie des stations agricoles appartenant aux centres de recherche nationaux participant au programme FOA sur l'intégration de la culture de quinoa en Algérie (Bazile et al, 2016b).

I.1.1. Description de la région de Biskra

Située à l'est du Pays, précisément au sud des monts des Aurès, à 450 km de la capitale, Alger. Elle se trouve à une altitude de 124m, sa latitude est de 34,48°N et une longitude de 05,44°E (Bakroune, 2021). Biskra Couvre un territoire de 21 509,80 km² (D.S.A Biskra, 2022), avec des frontières au Nord avec la wilaya de Batna, au Sud avec les wilayas d'Ouargla, d'El Oued et de Laghouat, à l'Est avec la wilaya de Khenchela et à l'Ouest avec les wilayas de Djelfa et Msila (figure 1) (Bouchahm et al.,2016 ; Bencheikh, 2017).

La wilaya de Biskra est caractérisée par un climat rigoureux aux étés chauds et très secs et aux hivers froids et secs (Farhi, 2002). La région est aussi caractérisée par une grande irrégularité dans la distribution de la pluviométrie. Les précipitations sont peu importantes et ne dépassent pas 200 mm par an, avec des moyennes annuelles entre 120 et 150 mm/an. La température moyenne annuelle est de 20,9°C, avec des moyennes mensuelles de 4,8°C et 49,5°C en janvier et juillet respectivement (Aidat et al.,2023 ; Bencheikh, 2017).

Le relief de la wilaya de Biskra est constitué de quatre grands ensembles géomorphologiques divers, montagnes, plaines, plateaux et dépressions (Guehiliz, 2023 ; Bakroune, 2021).

Les ressources en eau souterraine de la wilaya sont très importantes représentées par les nappes des deux systèmes aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire (Bouchmal et al., 2011). D'après Bouchahm et al. (2016), trois aquifères sont exploités principalement dans la ville (le Quaternaire, le Miopliocène et l'Éocène). Ces derniers sont très sollicités pour l'agriculture (75 %), l'industrie (10 %) et l'alimentation en eau potable (15 %).

Les sols de la région sont inventoriés dans les classes des sols pauvres, caractérisés par des faibles profondeurs, une faible teneur en matière organique et une très forte salinité (Guehiliz, 2023 ; Bencheikh, 2017). En effet, ses terrains sont sédimentaires, riches en gypse, calcaire et magnésium, avec des alluvions sableuses et argileuses. La structure géologique de la région est extrêmement fragile, avec des failles et des plis. (Bouchahm et al., 2016).

Biskra est une Wilaya de production des primeurs par excellence. Avec plus de 42 000 actifs agricoles, l'agriculture fournit presque la moitié des emplois de la région. Le système agricole particulier couvre environ 185473 hectares de superficie agricole utilisée, dont (62.24 %) est irriguée. La majorité de cette superficie est consacrée au palmier dattier (29766 ha) produisant 4785000 qx et aux céréales (24201 ha) produisant 1031270 qx, tandis que les cultures maraîchères classées en premier ordre produisent 12595840 qx (D.S.A Biskra, 2022).

I.1.2. Description de la région d'Oued Souf

Le Souf est localisé dans la partie sud-est de l'Algérie (figure 1), se trouvant à environ 700km d'Alger. La wilaya occupe un espace vaste, s'étalant sur une superficie de 44 600km² (Ouendeno, 2019 ; Amri, 2023), limitée au nord par la wilaya de Biskra, à l'Ouest par la wilaya de Djelfa, au sud par la wilaya de Ouargla, et à l'est par les wilayas de Khenchela et Tébessa. (Boubir et Farhi, 2009 ; Krolladi, 2005).

La wilaya d'Oued Souf est caractérisé par une forte aridité, le climat dominant est de type désertique, sec et aride avec sécheresse de l'atmosphère, température élevée, rareté des pluies et vents de sable violents (Ouendeno, 2019 ; Amri, 2023) et une pluviométrie faible, ne dépassant pas une moyenne de 80mm à 100mm par an. La pluie ne tombe que quelques jours par an, ce qui donne lieu à une longue période estivale complètement sèche. La wilaya enregistre en moyenne une température allant de 5°C à 45°C. En effet, la saison très chaude dure environ 3 mois, de juin à août avec une température maximale moyenne de 42°C et minimale de 27°C, alors que la saison froide s'étend de novembre à mars, avec une température moyenne minimale de 5°C et maximale de 16°C. (Kholladi, 2005 ; Boubir et Farhi, 2009).

Globalement, Le relief de Souf est composé de trois ensembles. Une zone sableuse du grand Erg oriental défavorable pour l'agriculture s'étend sur toute la région. Le plateau rocheux longe la route nationale 3 à l'ouest de la wilaya et s'étend vers le sud. La zone des chotts, région de dépression, occupe le nord de la wilaya et s'étend vers l'est (Kholladi, 2005 ; Ould rebai, 2019).

En dépit d'une faible pluviométrie, d'un réseau hydrographique peu dense et d'une lame d'eau ruisselé peu importante, la vallée de Souf possède une réserve d'eau très importante qui fait partie du système aquifère sahariens (SAS). La nappe de l'Albien (ou continentale CI), la nappe du complexe terminal (CT) et la nappe phréatique sont les trois nappes souterraines qui la composent (Messekher et al., 2012).

Selon Ould rebai (2019), les ressources en terres de la wilaya d'El Oued sont restreintes. En général, il s'agit de sols peu développés à texture sableuse qui se distinguent par leur grande perméabilité. La silice, le gypse, le calcaire et parfois l'argile constituent le sable du Souf. En outre, ils présentent souvent une texture mince et sont faibles en oligoéléments et en matière organique, ce qui demande des travaux d'amendement et l'ajout de fertilisants.

Cette région a connu une croissance agricole remarquable depuis les années 2000. Le développement des cultures maraîchères en plein champ, telles que la pomme de terre et la tomate, est associé à cette dynamique agricole principalement axée sur les terres de mise en valeur agricole qui relèvent formellement du domaine de l'Etat (Ouendeno, 2019).

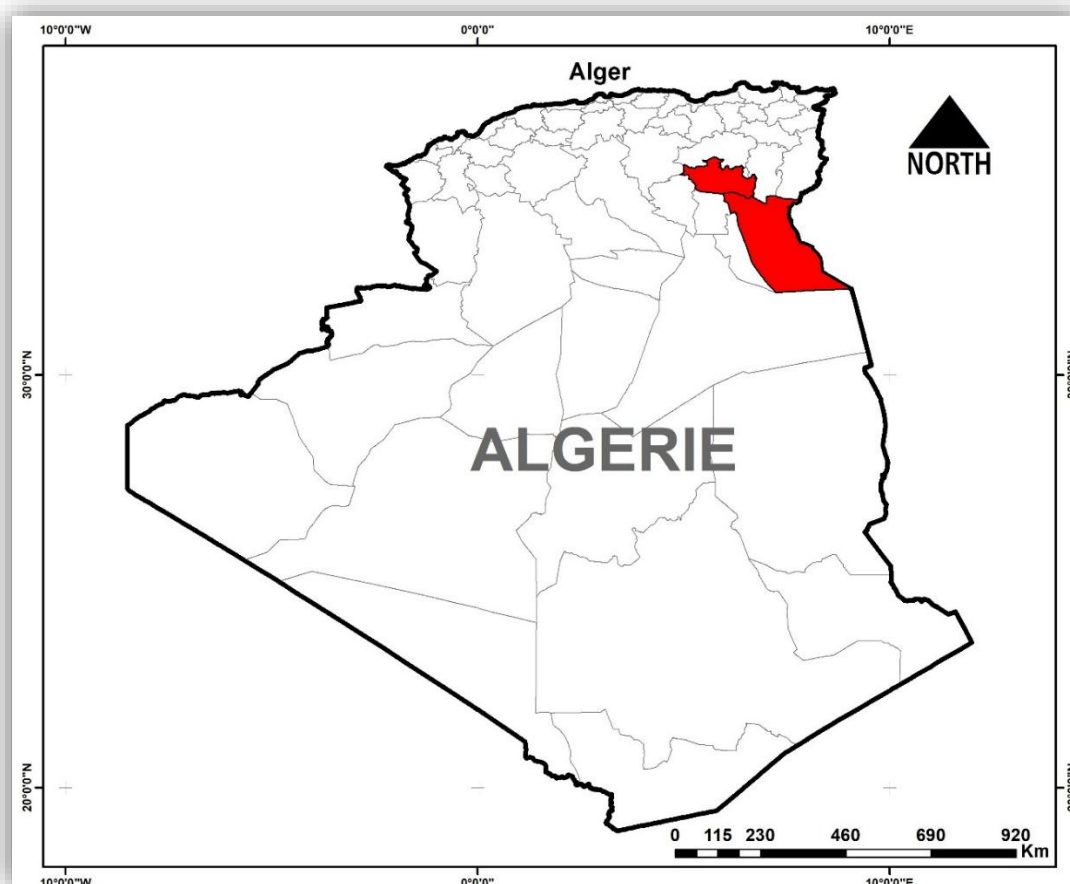


Figure 1. Situation géographique des sites d'étude.

I.2. Echantillon concerné par l'enquête

L'enquête est réalisée auprès des agriculteurs ayant pratiqué la culture du quinoa dans les deux wilayas au cours des 5 dernières années. Leur sélection est basée sur le critère principal de pratique de la culture pendant une campagne agricole au moins. Une liste des candidats a été préparée avec l'aide de l'Institut technique pour le développement de l'agriculture saharienne (ITDAS). L'échantillon comprenait à la fois les agriculteurs et les ingénieurs ayant une expérience dans la culture de quinoa. La collecte des données est réalisée par des visites et des communications téléphoniques.

I.3. Déroulement de l'enquête

L'enquête a porté sur des prospections de terrain par le biais d'un questionnaire (annexe1), menée au cours des campagnes agricoles 2021/2022 et 2022/2023.

Les données recherchées portaient sur l'identification socioprofessionnelle des enquêtés, l'accès aux semences de quinoa et aux informations agricoles, les différentes opérations culturales, les rendements et en fin l'utilisation des grains de quinoa.

Un nombre total de 21 personnes, soit le nombre maximum d'agriculteurs et d'ingénieurs dans les deux zones, ont été interrogés.

II. Deuxième étape : Essais expérimentaux

II.1. Localisation de la parcelle expérimentale

Les essais ont été menés pendant deux saisons agricoles 2019/2020 et 2020/2021 au niveau de l'annexe expérimentale de l'institut technique pour le développement de l'agriculture saharienne (ITDAS) à Felièche. La station est située à 10 km du chef-lieu de la wilaya de Biskra, à 04 km de l'université Mohamed khider, sur la route nationale n°83 allant vers Khenchela (figure 2). Elle s'étend entre 34°82' de latitude Nord et 5°77' de longitude Est.



Figure 2. Localisation de la parcelle expérimentale.

II.2. Conditions pédoclimatiques de la parcelle expérimentale

II.2.1. Caractéristiques physicochimiques du sol

Avant l'installation du dispositif expérimental, des prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués sur les horizons 0 - 20 cm et de 20 - 40 cm en trois répétitions. Les analyses physicochimiques du sol sont réalisées aux laboratoires du centre de recherche scientifique et technique pour les régions arides (CRSTRA), et aux laboratoires du département des sciences agronomiques de l'université de Biskra. Les caractéristiques physicochimiques du sol sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractérisation physicochimique du sol de la parcelle expérimentale.

Caractère	Valeur
Argil (%)	20
Limon (%)	40.5
Sable (%)	39.5
Texture	Loam
pH (1/5)	7.35
CE (1/5) (ms/cm)	4.33
N Total (%)	0.064
P ₂ O ₅ (ppm)	332.72
K ₂ O (ppm)	15.37

Les sols de la parcelle expérimentale sont généralement pauvres. Ils se distinguent par leur texture limoneuse (40.5%), pauvres en azote, en phosphore et en potassium. Leur pH est neutre (autour de 7), avec une conductivité électrique de 4.33 ms/cm.

II.2.2. Caractéristiques climatiques

Les caractéristiques climatiques, y compris la température, l'humidité relative, les précipitations et la vitesse du vent de la première saison agricole (compagne 1), sont synthétisées dans le tableau 2.

Les données climatiques de la station expérimentale au cours de la deuxième saison agricole (compagne 2), y compris la température, l'humidité relative et le point de rosée

enregistrées à l'aide d'un data-loguer, placé à une hauteur de 1,5 m au milieu de la parcelle expérimentale sont représentés par la figure 03 ci-dessous et l'annexe 2.

Tableau 2. Données climatiques de la première saison agricole.

	Mois	T. Min °C	T. Max °C	T moy °C	P (mm)	H (%)	V (km/h)
2019	Novembre	10.7	20.4	15.8	8.38	53.4	17.8
	Décembre	10	20.3	15	2.28	51.6	15.9
2020	Janvier	7.2	17.9	12.2	1.78	51	14.4
	Février	9.8	22.8	16.2	0	37.4	10.6
	Mars	12.2	22.8	17.6	12.95	43.3	17.1
	Avril	16.6	27.2	22.1	25.14	41.4	16.2
	Mai	21.2	34	28.1	16.51	27.6	14.3
	Juin	25.1	37.4	31.8	2.54	24.2	15.9
	Juillet	28.3	40.8	34.6	0.5	24.8	12.6
	Aout	28.9	41.4	35.3	0	24.7	12.1
	Septembre	23.4	34	28.8	16	39.2	12.2
	Octobre	17.1	27.7	22.3	0	36.3	13.8
	Novembre	13.6	23.8	18.7	0.25	44.1	11.4
	Décembre	8.6	18.2	13.3	5.33	49.7	12.9

(www.tutimpo.net)

Les conditions climatiques enregistrées (tableau 2) montrent que la première saison de l'essai expérimental (essai 1) se caractérise par des température moyenne minimales (T. Min) de l'ordre de 7.2 °C au mois de janvier. Par contre, Les températures moyenne maximales (T. Max) ont été enregistrées aux mois d'avril et mai avec 27.2°C et 34°C respectivement, coïncidant avec le stade de maturation (fin de cycle). Cette année est caractérisée par une moyenne des précipitations (P) annuelles de 81 mm, une humidité relative (H) variant de 24,2 % à 51 % et une vitesse moyenne (V) du vent variant de 10.6 à 17.1 Km/ha.

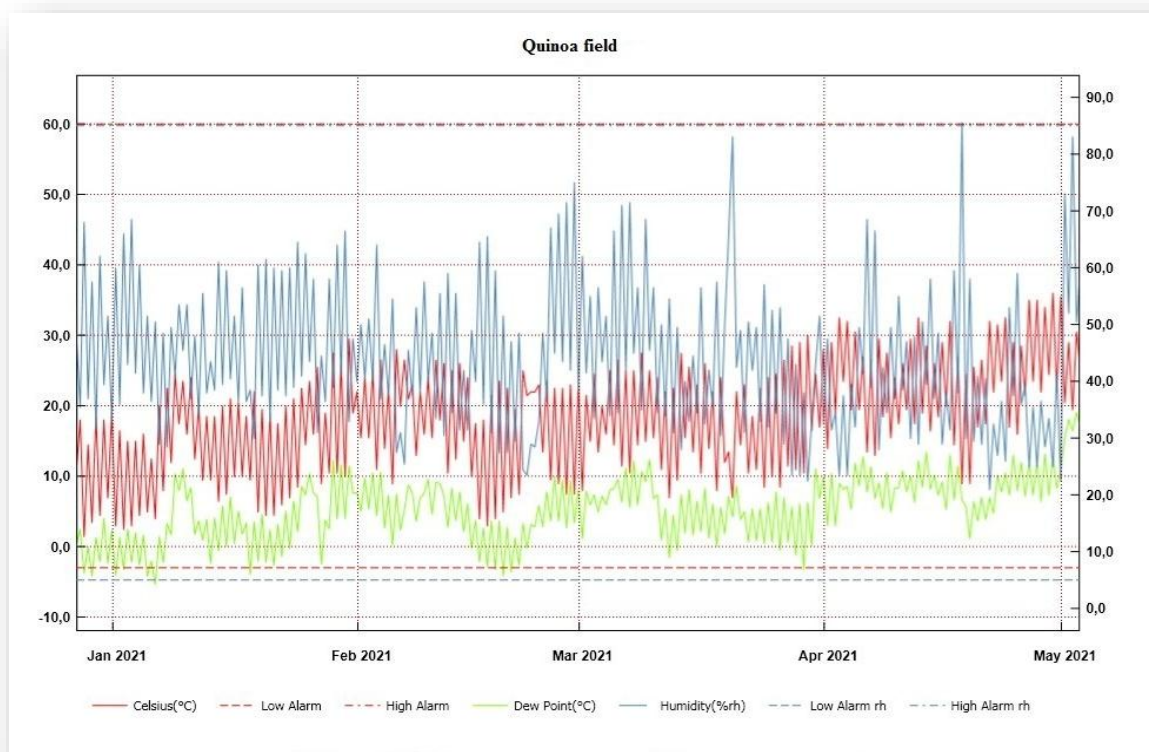


Figure 3. Données climatiques quotidiennes de la parcelle expérimentale pendant la deuxième saison d'expérimentation (essai 2).

D'après les données météorologiques collectées sur la parcelle pendant la deuxième campagne d'expérimentation (figure 3), il est noté que la période de l'essai était caractérisée par des conditions froides et sèches, avec des températures minimales et maximales moyennes de 12,55°C et de 24,25°C, des points de rosée de 4,25°C et de 8,52°C ainsi qu'une humidité relative variant de 24,25 % à 57,34 %.

II.3. Matériel végétal

Le choix des variétés se fait principalement en fonction de la précocité du cycle végétatif, de la productivité et surtout de la faculté de germination. Cinq variétés de quinoa les plus fréquemment testés par les essais d'adaptation (quinoa noir, Q102, Q104, Q105 et Giza 02) provenant de l'ITDAS de Biskra ont été évaluées par un test de germination. Les trois variétés présentant les meilleurs taux de germination ont été sélectionnées pour être utilisées pour les essais.

Le test de germination est effectué par la sélection et la désinfection, puis la mise en boîtes de pétri contenant du papier filtre à raison de 25 graines de quinoa pour chaque variété, avec trois répétitions (figure 4). Les semences à tester sont placées de manier homogène sur les papiers et imbibées d'eau du robinet tous les deux jours pour maintenir un niveau d'humidité stable à l'intérieure des boîtes qui sont placées dans l'étuve à une température de 25°C (Strenske et al ; 2017). Après une semaine, le nombre de grains germés est compté. Les résultats du test de germination et les caractéristiques des variétés de quinoa utilisées sont présentées dans le tableau 03.

Tableau 3. Caractéristiques des variétés de quinoa testées.

Code	Génotype	Origine	Source	Couleur des graines	Faculté germinative
//	GIZA II	Egypte	ITDAS	Beige	98.64 %
Q102	Amarilla Sacaca	Pérou	ITDAS	Jaune	98.66%
Q105	Salcedo INIA	Pérou	ITDAS	Crème	94.64%
//	Q noir	Pérou	ITDAS	Noir	88%

Les trois variétés les plus performantes d'après les résultats du test de germination sont GIZA II, Q102 et Q105 pour le premier essai, bien que la variété Q102 a été remplacée par le quinoa noir dans le second essai, en raison de son long cycle de vie.



Figure 4. Test de germination des variétés du quinoa (Original, 2019/2020)

II.4. Mise en place de la culture

II.4.1. Préparation du sol

Les labours ont été réalisés respectivement le 04 novembre 2019 et le 28 octobre 2020, à une profondeur moyenne de 50 cm, avec une charrue bisocs. L'opération de labour était suivie de deux passages croisés de cover-crope pour briser les grosses mottes et préparer le lit de semence, le 05 novembre 2019 et le 09 novembre 2020 respectivement pour les deux saisons agricoles (figure 5). Cette pratique culturale a permis aussi d'incorporer au sol la fumure de fond constituée de fumier d'ovins à raison de 5 tonnes/ha pour le premier essai, et d'enfouir l'engrais de fond, NPK 20/20/20, avec une dose de 200kg/ha (soit 30 unités d'azote) pour le deuxième essai ainsi que tous les débris végétaux de la culture précédente.



Figure 5. Préparation du sol (Original, 2019/2020).

II.4.2. Conception du dispositif expérimental

II.4.2.1. Premier essai (saison agricole 2019/2020)

L'essai a été réalisé sur une parcelle de 1025 m² divisée en deux parties, une consacrée au semis mécanique et l'autre au semis manuel. Trois variétés de quinoa ont été mises en expérimentation, GIZA II, Q 105 et Q 102. Le semis manuel en ligne(L), à la volée(V), en

poquet (P) et le semis mécanique (D) ont été répartis selon un dispositif expérimental en factoriel en blocs, avec trois répétitions.

L'essai comporte donc en total 36 parcelles, (trois variété * quatre modes de semis* trois répétitions). Des séparations ont été prévues entre les blocs et les parcelles élémentaires pour faciliter les mouvements et mieux illustrer l'approche comparative entre les méthodes de semis.

➤ **Semis manuel**

Chacune des parcelles élémentaires de taille ($3\text{m} \times 13\text{m} = 39\text{ m}^2$) est divisée en trois micro parcelles de ($3\text{m} \times 4\text{ m}$) afin de faciliter l'opération de semis manuel des graines de quinoa. Des couloirs de passage de 0.5 m et de 1m sont prévus entre les micro parcelles et les parcelles élémentaires respectivement. Le dispositif est initialement organisé en trois blocs comportant chacun trois parcelles élémentaires, chacune d'entre elles semée par une variété. Ces parcelles élémentaires sont à leur tour divisées chacune en trois micro parcelles, consacrées aux trois modes de semis manuel, à la volée, en poquets et en ligne (figure 6).

➤ **Semis mécanique**

Pour la partie du terrain consacrée au semis mécanique, elle est divisée en trois blocs, chaque bloc est composé de trois parcelles élémentaires. L'essai comporte, donc neuf parcelles élémentaires (trois variétés * trois répétitions) d'une dimension de 12 m de longueur et 3 m de largeur. Les parcelles sont réparties en lignes pour faciliter l'opération de semis mécanique par passage direct du semoir en ligne. Des couloirs de passage de 1 m sont prévus entre les parcelles élémentaires, et de 3 m entre la partie de semis manuel et la partie de semis mécanique (figure 6).

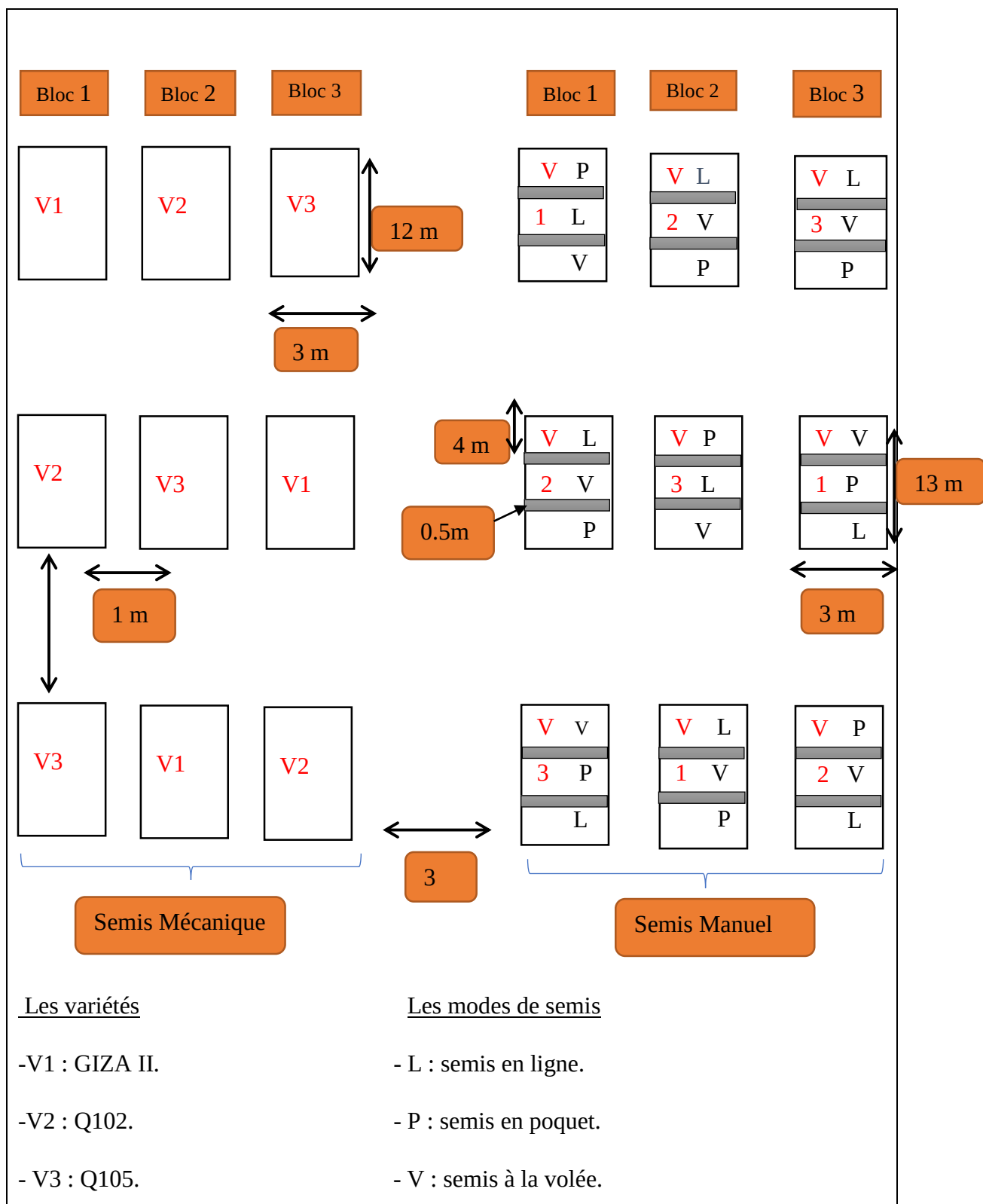


Figure 6. Schéma du dispositif expérimental du premier essai (saison 2019/2020).

II.4.2.2. Deuxième essai (saison agricole 2020/2021)

Lors de la deuxième année d'essai, nous avons remplacé la variété de quinoa 102 par la variété quinoa noir qui se distingue par sa précocité. Nous avons également rajouté la variable doses de semis mécanique. L'essai de semis mécanique comporte donc trois doses D1, D2 et D3. Il est important de signaler que ces modifications sont apportées pour maximiser les résultats du semis mécanique sur le rendement en cherchant la meilleure rentabilité, confirmer l'effet des modes de semis, et comparer avec précision les résultats obtenus.

Le dispositif expérimental est conçu en factoriel en blocs, avec trois répétitions. Chaque bloc se compose de trois parcelles élémentaires. Les dimensions des micro parcelles, des parcelles et des blocs, ainsi que les séparations entre elles, sont identiques à celle du premier essai. Concernant la partie de semis mécanique, chaque parcelle élémentaire est divisée en trois micro parcelles, une pour chaque dose de semis (figure 7).

L'essai comporte, donc (trois variétés * trois modes de semis * trois doses de semis mécanique * trois répétitions), soit 54 parcelles élémentaires de mêmes dimensions et de mêmes séparations que lors de la première saison (figure 7).

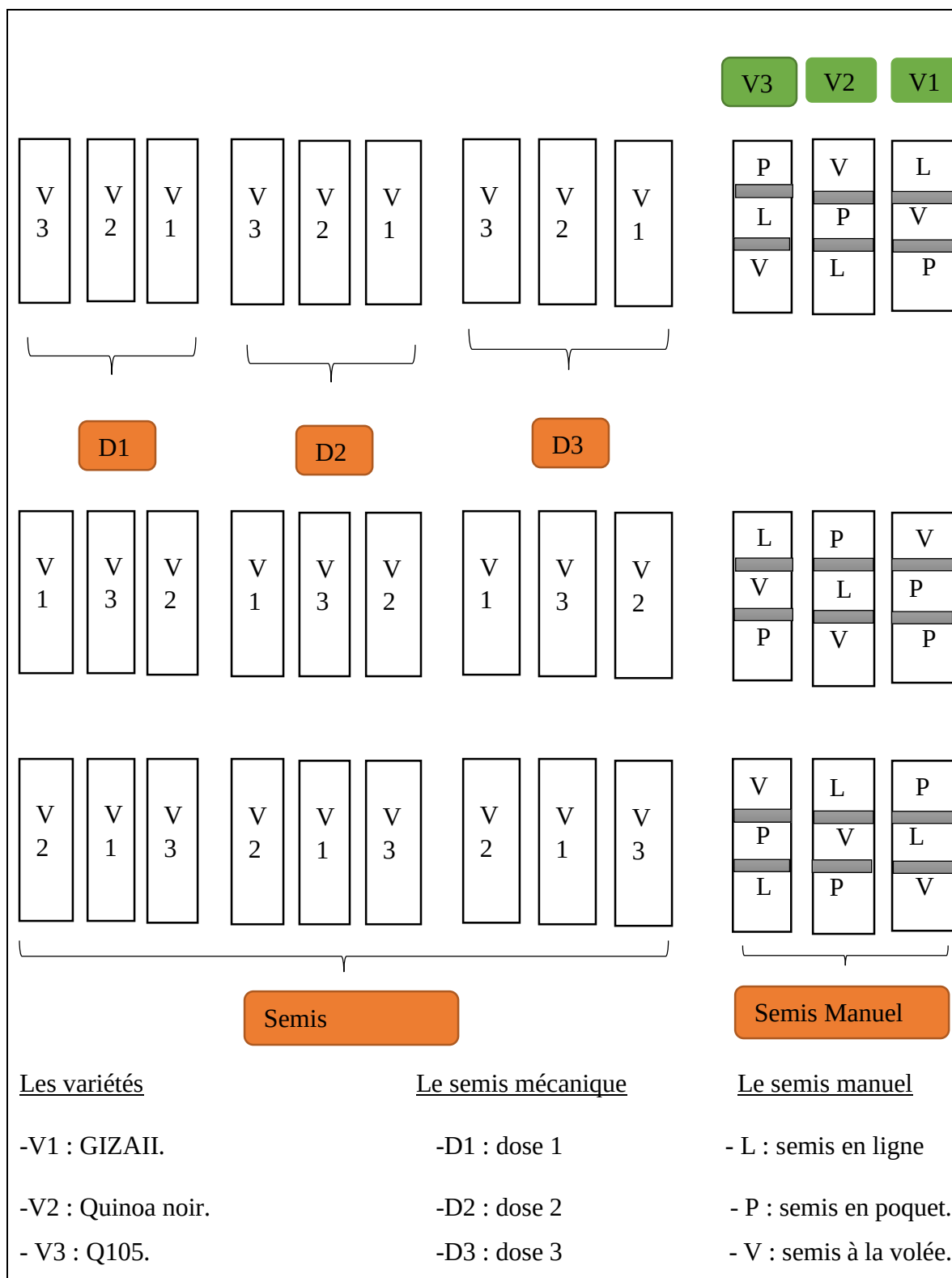


Figure 7. Schéma du dispositif expérimental du deuxième essai (saison 2020/2021).

II.4.3. Réalisation des semis

Pour chacun des deux essais, les semis sont réalisés par deux méthodes différentes, manuelle et mécanique par semoir en ligne conventionnel. Les semis manuels sont effectués le 13-14 novembre 2019 et le 12-14 novembre 2020, respectivement. Alors que les semis mécaniques sont réalisés en un jour à la même date du 13 novembre des deux campagnes 2019 et 2020.

II.4.3.1. Semis manuels

➤ Semis en ligne

Dans ce mode, les micro-parcelles sont divisées en 9 lignes d'écartement de 33cm, les semences sont mises en sol à une profondeur de de 1 à 2 cm (Afzal et al.,2022) avec une dose de 12 kg/ha (Pando et Aguilar 2016 ; Murphy et Matanguihan, 2015) (figure 7).



Figure 8. Semis manuel en ligne (Original, 2019/2020).

➤ Semis à la volée

Dans ce mode de semis, les semences sont distribuées à l'aveugle par de mouvements en arc dans les micro-parcelles en respectant une dose de 15 kg/ha (García et al., 2015 ; Aguilar et Jacobsen 2003). Le semis est directement suivi par un recouvrement d'une

couche fine de sol à l'aide d'un râteau enfouissant les semences à une profondeur de 2 à 3 cm (figure 9).



Figure 9. Semis manuel à la volée (Original, 2019/2020).

➤ **Semis en poquet**

Ce mode de semis manuel consiste à creuser des trous de semis, dans lesquels plusieurs graines sont semées par poquets à une profondeur de 2 à 5 cm, puis couvertes légèrement par la terre. D'après Bhargava et Srivastava (2013), la dose de semis apportée est d'environ 6 kg/ha et les poquets sont espacés de 50 cm, soit 48 poquets par micro-parcelle de 12 m².



Figure 10. Semis manuel en poquets (Original, 2019/2020).

II.4.3.2. Semis mécaniques

II.4.3.2. 1. Semoir en ligne utilisé

Le semis est réalisé à l'aide d'un semoir en ligne conventionnel, utilisé fréquemment pour les céréales, d'une largeur de travail de 3 m et muni de 19 distributeurs espacés de 15.8 cm (figure 11). Des sillons sont creusés par les socs du semoir où les graines sont déposées automatiquement et des griffes situées à arrière viennent remettre la terre pour enfouir les graines dans les sillons.

Avant de commencer l'opération de semis, une vérification à poste fixe du débit du semoir est réalisée afin de pouvoir ajuster les réglages et adapter le semoir à la petite taille des semences de quinoa. Cette vérification permet de respecter les doses de semis et de se prévenir la perte de graines lors du semis à cause de leurs petites tailles comparant aux autres céréales.



Figure 11. Semoir en ligne à distribution mécanique utilisé pour le semis du quinoa (Original, 2019/2020).

II.4. 3.2.2. Dose de semis

Un peuplement objectif d'environ 320000 pieds/ha est optimal sous des conditions favorables pour la culture de quinoa (Benhabib, 2005 ; Singh et al., 2021). En supposant que chaque graine va donner un plant (faculté de germination de 100%), la dose de semis sera calculée par la formule suivante :

Dose de semis (kg/ha) = Peuplement objectif (plant/ha) x PMG (g)

Cependant, la dose obtenue doit être corrigée en fonction de la faculté germinative (inférieure à 100%) des semences utilisées, en rajoutant la quantité de semences relative aux pertes à la germination pour compenser ces derniers.

La dose corrigée est donc :

Dose de semis (100% de germination) + Dose des pertes à la germination

La dose de semis de la variété GIZA II est calculée comme suit :

Le peuplement objectif étant de 320 000 plants/ha, chaque plant est issu d'une graine.

PMG $\longrightarrow$ 4.92 g

320000 plants/ha $\longrightarrow$ poids des graines semées

Poids des graines semées = $(320000 * 4.92) / 1000$

Dose de semis = 1574.4 g/ha = 1.57 kg/ha

En admettant ;

Faculté germinative GIZA II = 98.64%, donc il faut compenser les pertes à la germination de 1.36%.

Dose de semis $\longrightarrow$ FG 100%

Dose des pertes $\longrightarrow$ FG 1.36%

Alors dose des pertes = $(1.36 * 1.57) / 100 = 0.021$ kg/ha

Dose de semis corrigée = dose de semis (100%) + dose des pertes à la germination

Dose de semis corrigée = 1.59 kg/ ha

Les doses de semis mécanique sont calculées par la même méthode pour les autres variétés et sont présentées dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4. Doses de semis mécanique pour le premier essai (saison 2019/2020).

Variété	Peuplement objectif	PMG (g)	FG (%)	Dose (kg/ha)	Pertes (%)	Dose corrigée (Kg/ha)
Q105		4.03	94.66	1.28	5.34	1.35
Q102	320000 plants/ha	3.23	98.66	1.03	1.34	1.04
Giza II		4.92	98.64	1.57	1.36	1.59
Q noir		4.52	88	1.44	12	1.63

Au cours de la deuxième année d'expérimentation, nous avons ajouté deux doses de semis (le double et triple de la dose de semis mécanique) pour varier l'essai de semis mécanique et pour étudier plus précisément l'effet de la dose de semis mécanique sur la productivité de la culture de quinoa.

Les doses de semis mécanique testées pendant la deuxième campagne (2020/2021) sont présentées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5. Doses de semis mécanique pour le deuxième essai (saison 2020/2021).

Variété	Dose 1 (kg/ha)	Dose 2 (kg/ha)	Dose 3 (kg/ha)
Q 105	1.35	2.7	4.05
Giza II	1.59	3.18	4.77
Q noir	1.63	3.26	4.89

II.5. Conduite de la culture

Les opérations culturales telles que l'irrigation, la fertilisation, le désherbage et la protection de la culture du quinoa sont effectuées au cours des deux saisons (2019/2020 et 2020/2021) comme suit :

➤ Fertilisation

La fertilisation dans chaque essai a consisté en un apport d'éléments minéraux dont la quantité a été déterminée en fonction des besoins de la culture :

Le fumier de fond (fumier d'ovin) a été apportée à raison de 5 T/ ha soit 6 qx pour la totalité de la parcelle expérimentale. La fertilisation azotée sous forme d'Urée 46% a été effectuée après le stade de ramification, à raison de 6 kg au total de la parcelle (50 kg/ha).

Pour le second essai, la fertilisation était fractionnée en trois apports :

L'engrais de fond NPK (15/15/15) a été appliqué lors des semis avec une dose de 20 kg pour l'ensemble de la parcelle. L'urée 46% avec une dose de 6.5 kg a été effectuée après le stade de ramification. L'apport de phosphate d'ammonium, à raison de 11 kg, a été effectuée juste avant le stade de grain laitex.

➤ Irrigation

L'eau d'irrigation a été fournie par le forage de la station, puis acheminée dans le réseau d'irrigation goutte à goutte. La fréquence d'irrigation était de deux à quatre fois par semaine, avec une durée de deux à quatre heures. La fréquence d'irrigation était variable selon le climat et les stades végétatifs de la culture.



Figure 12. Installation du système d'irrigation goutte à goutte (Original,2019/2020).

➤ **Désherbage**

Le contrôle des mauvaises herbes et le désherbage en général sont effectués manuellement tout au long du cycle végétatif de la culture dès le semis jusqu'à la récolte.

➤ **Protection phytosanitaire**

Le suivi de la culture durant les deux campagnes a révélé un bon état sanitaire des plantes. Cependant, des attaques d'oiseaux ont été observées sur toutes les parcelles expérimentales, en raison de la proximité de la parcelle aux arbres (palmiers dattiers et oliviers) et aux lignes électriques. Les premières attaques ont principalement été enregistrées autour du stade de floraison. La présence de populations de pucerons a également été notée dans quelques parcelles au cours du suivi de la culture. Néanmoins, aucune intervention chimique n'a été pratiquée. En effet, le contrôle des insectes et des oiseaux est effectué par des méthodes biologiques, grâce à la présence de coccinelles, et par des méthodes traditionnelles telles que l'installation de filets anti-moineaux et de sacs en plastique pour faire du bruit.

II.6. Récolte

Malheureusement, le premier essai a coïncidé avec la propagation de la pandémie COVID-19. De ce fait, en raison des mesures de prévention sanitaire et de la quarantaine soudaine nous n'avons pas pu récolter la culture installée et par conséquent la quantification du rendement et les mesures de ses composantes étaient impossibles.

Pour le deuxième essai, la récolte a commencé au début du mois d'avril et s'est étalée sur un mois suite à l'hétérogénéité de la maturité des différentes variétés. L'opération est réalisée manuellement lorsque les plantes ont atteint leur maturité physiologique après 5 à 6 mois selon la variété. Les premières récoltes ont eu lieu le 4 avril 2021.



Figure 13. Récolte manuelle du quinoa (Original, 2020/2021).

II.7. Paramètres mesurés

II.7.1. Durée des stades phénologiques

On considère que le quinoa a atteint un stade phénologique lorsque 50% des plants ont atteint le niveau de développement correspondant (Del Castillo et al.,2008 ; Sosa-Zuniga *et al.*,2017 ; Maamri et al.,2022). Les durées indiquées pour chaque phase sont en nombres de jours moyens.

➤ Stade levée

La date de levée est notée lorsque 50% des plants sont levés.

➤ Stade deux à six feuilles vraies

Ce stade est atteint lorsque 50% des plants sont produits, entre la première et la troisième paire de feuilles.

➤ Stade ramification

Cette phase est caractérisée par la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud chez 50% des plants.

➤ **Stade panicules**

La date de formation de la panicule est enregistrée lorsque l'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles.

➤ **Stade floraison**

L'époque de floraison est atteinte lorsque 50% des plantes ont des fleurs ouvertes sur le tiers supérieur de la plante.

➤ **Stade grain laiteux**

Le grain est qualifié de laiteux lorsqu'un liquide blanchâtre s'échappe sous l'effet de la pression exercée sur le fruit.

➤ **Stade grain pâteux**

Ce stade est atteint lorsque l'intérieur des fruits de 50% des plants devient d'une consistance pâteuse, difficile à écraser avec les ongles.

➤ **Stade maturité physiologique**

Le dessèchement de la plante, la chute des feuilles et le détachement des graines par simple pression entre les mains signifient la maturité physiologique (Bhargava et al., 2006). Elle est notée lorsque le dessèchement du grain est atteint, c'est-à-dire lorsque les fruits de 90% des plants sont devenus durs et plus résistants à la pression avec une faible teneur en eau. Les feuilles de la première moitié de la plante, à partir de la base, sont mortes.

II.7.2. Mesures morphologiques et agronomiques effectuées

A la récolte, dix plants sont sélectionnés de manière aléatoire en diagonale dans chaque parcelle en évitant les bordures, pour réaliser les mesures suivantes :

II.7.2.1. Nombre de plants /m²

Le comptage des plants est effectué au stade de la récolte, par comptage des plants produits sur une surface d'un mètre carré (1m²). Ce comptage est effectué au hasard avec trois répétitions en diagonale dans chaque parcelle élémentaire.

II.7.2.2. Hauteur de la plante

Mesure de la hauteur totale de la plante, du collet au sommet de la panicule principale, au stade de maturité physiologique.

II.7.2.3. Nombre de panicules par plant

Il est déterminé par le comptage direct du nombre de panicules produites par chaque plant.

II.7.2.4. Longueur de la panicule principale

Il s'agit de la mesure en cm de la base à l'apex de la panicule principale des dix plants sélectionnés.

II.7.2.5. Poids sec des plants

Les plantes récoltées ont été séchées à l'air libre à l'ombre pendant 7 à 15 jours. Le poids sec des dix plants, exprimé en grammes (g), est obtenu en pesant directement les plants séchés.

II.7.2.6. Poids de la panicule principale

La panicule principale est séparée et pesée avec soin, afin de calculer le poids de la panicule principale exprimé en grammes.

II.7.2.7. Rendement en grains par plant

Les grains des dix plants sélectionnés sont séchés à l'air, puis retirés des panicules, manuellement, battus et tamisés. Le rendement par plant obtenu est exprimé en grammes.

II.7.2.8. Rendement total

Après le séchage des plants récoltés dans chaque parcelle élémentaire, les grains sont retirés des panicules, battus et tamisés, puis pesés pour estimer les rendements en kg/parcelle, puis converti en qx/ha.

II.7.2.9. Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG) est déterminé par comptage et pesage sur une balance de précision de 1000 graines, il est exprimé en grammes (g).

II.7.2.10. Indice de récolte

D'après Bhargava et al. (2007), Hussain et al. (2020) et Hamza et al. (2022), l'indice de récolte est calculé à l'aide la formule suivante :

$$\text{Indice de récolte (\%)} = \frac{\text{Rendement en grains/plant}}{\text{Biomasse sèche /plant}} \times 100$$

II.7.2.11. Taux d'azote

Le pourcentage d'azote total (N %) dans les grains est déterminé selon la méthode micro Kjeldahl modifiée.

II.7.2.12. Teneur en protéines

La teneur en protéines brutes dans les grains est estimée en multipliant la valeur de l'azote total par un facteur de conversion de 6,25 (Geren. 2015 ; Wali et al., 2022 ; Oustani et al., 2023).

II.8. Collecte de données et analyses statistiques

Les données quantitatives et qualitatives recueillies par le biais de l'enquête auprès des cultivateurs de quinoa sont saisies, traitées, puis analysées statistiquement par le logiciel IBM SPSS version 25. Une estimation du pourcentage et de la fréquence des caractères est préalablement effectuée. Le tableur Microsoft Excel 2016 est également utilisé pour élaborer les graphiques.

Pour les résultats de l'essai expérimental, le traitement statistique des données est effectué par le logiciel statistique IBM SPSS version 25 selon la procédure suivante :

Les hypothèses de toutes les données sont vérifiées par des tests d'homogénéité de la variance de Leven et de normalité de Shapiro-Wilk appliqués aux variables dépendantes liées aux groupes de la variable factorielle (variété et méthode de semis).

Si l'hypothèse est confirmée, les tests paramétriques (analyse de variance à un et deux facteurs (ANOVA)) sont appliqués.

Si les résultats de l'ANOVA sont significatifs ($P < 0,05$), le test de Tukey (Honestly Significant Difference - HSD) est utilisé pour effectuer la comparaison des moyennes à l'aide d'une analyse post hoc.

Dans le cas contraire, le test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants est utilisé.



Figure 14. Ensemble des mesures réalisées sur la récolte du quinoa

(Original,2020/2021).

*Résultats et
discussions*

Etape I :

Investigation de

terrain par enquête

Résultats et discussions

II. Première étape : Investigation de terrain par enquête

I.1. Identification socioprofessionnelle des participants

Vingt et un enquêtés sont interrogés dans le cadre de cette investigation. Des caractéristiques telles que le statut des participants, leur expérience dans la culture du quinoa, la taille de leurs champs et leurs connaissances concernant l'Institut Technique pour le Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS) et son système de vulgarisation sont évaluées. L'âge moyen des répondants était d'environ 45ans, la majorité d'entre eux ayant obtenu un grade universitaire et une expérience agricole de deux (2) à trente-quatre (34) ans en agriculture.

Les caractéristiques des répondants sont résumées dans le Tableau 6.

Tableau 6. Caractéristiques socioprofessionnelles des enquêtés.

Caractéristiques des répondants		Fréquence	Pourcentage (%)
Statut	Agriculteur	13	61.9
	Ingénieur agronome	8	38.1
Expérience dans la pratique de la culture du quinoa (années)	1	4	19
	2	5	23.8
	3	4	19
	4	3	14.3
	Plus de 4	5	23.8
Superficie (ha)	Petite (<0.5 ha)	12	57.1
	Moyenne (0.5 à 1 ha)	7	33.3
	Grande (>1 ha)	2	9.5
Connaissances de l'ITDAS et son système	Non	0	0
	Oui	21	100

D'après les résultats du tableau 6, la majorité (61,9%) des participants sont des agriculteurs. Il est également enregistré que la plupart des participants (61.8%) ont récemment opté pour la culture du quinoa depuis 1 à 3 ans. Cependant, 23,8% ont entre 5

et 7 ans d'expérience. En effet, les données recueillies indiquent que la plupart des essais (57,1 %) sont réalisés sur des petites surfaces allant de 0,02 à 0,4 hectare.

Bazile et al. (2016b) et Ahmadzai (2020) déclarent que le quinoa en Algérie est encore en phase d'expérimentation depuis son introduction en 2014, car il est considéré comme une nouvelle culture. Ce qui s'explique par le manque d'expérience des enquêtés et les superficies réduites de leurs champs.

Les résultats indiquent également que tous les participants à cette étude ont été contactés par l'ITDAS et ont bénéficié de son système de vulgarisation comme source de connaissances pour cette nouvelle culture. Cela confirme le rôle primordial de cet institut dans la réussite des expérimentations du quinoa dans les deux wilaya (Biskra et Oued Souf), qui ont bénéficié de l'expansion de la culture grâce à l'expertise scientifique et technique fournie par la FAO pour évaluer le comportement de cette culture lors de sa première introduction dans le pays (Bazile et al., 2016b ; Maamri et al., 2022). Le rôle de l'ITDAS en tant que soutien technique et de vulgarisation est un facteur essentiel dans l'adoption du quinoa en Algérie. Cela confirme que les initiatives locales et le soutien technique sont des facteurs essentiels dans la diffusion de nouvelles cultures.

I.2. Production et gestion de la culture

I.2. 1. Type du sol

D'après les réponses notées, les sols des sites d'étude se distinguent par une texture allant du sableux au limoneux (figure 15). La plupart des sols des deux sites sont caractérisés par une texture de type argilo-sableuse à limono-sableuse (28,6%). Les sols argilo-limoneux sont moins fréquents (4,8 %).

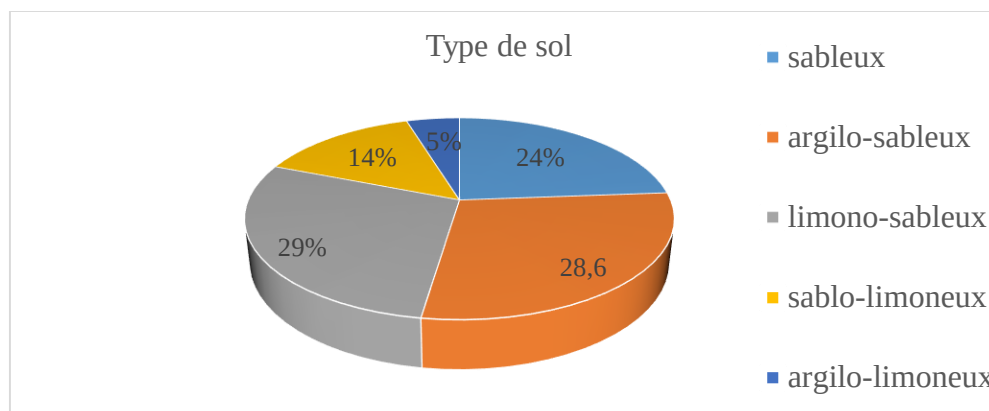


Figure 15. Répartition des types des sols des sites d'investigation.

Les résultats présentés sur la figure 15 montrent que la culture du quinoa a le potentiel d'être cultivée dans diverses classes de texture de sol dans la région aride du sud-est de l'Algérie, allant du sableux, sablo-argileux, limono- sableux au limoneux et limono-argileux (Ahmadzai, 2020 ; Maamri et al., 2022). Ces textures favorisent l'adaptabilité du quinoa, comme corroboré par des études similaires en Asie et en Amérique du Sud. Des études menées par Del Castillo et al. (2008) ont montré que les plantes de quinoa peuvent très bien s'adapter à des sols sablonneux ou argileux.

Nos résultats sont en accord avec ceux d'Afzal et al. (2022), qui ont présenté les résultats d'essais préliminaires menés au Pakistan démontrant l'adéquation du quinoa aux sols limoneux sableux. De même, Garcia et al. (2015) et Singh et al. (2021), signalent que le quinoa peut pousser dans des sols dont la classe texturale est sableuse à l'argileuse. Cependant, il pousse également bien dans des sols limono-sableux, sableux ou limono-argileux (Haros et Schoenlechner, 2017).

I.2.2. Préparation du sol

Les résultats résumés dans les figures 16 et 17, illustrent les différentes étapes appliquées par les agriculteurs pour préparer le lit de semence du quinoa. La figure 16 indique que 81% des participants commencent les travaux par un labour, dont 57% pratiquent un labour superficiel et 43% un labour profond avec une charrue à disques ou à socs. Puis l'incorporation de fumure de fond par un passage de cover-crop et un hersage sont réalisés comme processus de base de préparation de lit de semence favorable au quinoa.

Au contraire, 19% des enquêtés incorporent directement la fumure de fond par passage de cover-crop afin d'obtenir un lit de semence fin et de bonne qualité.

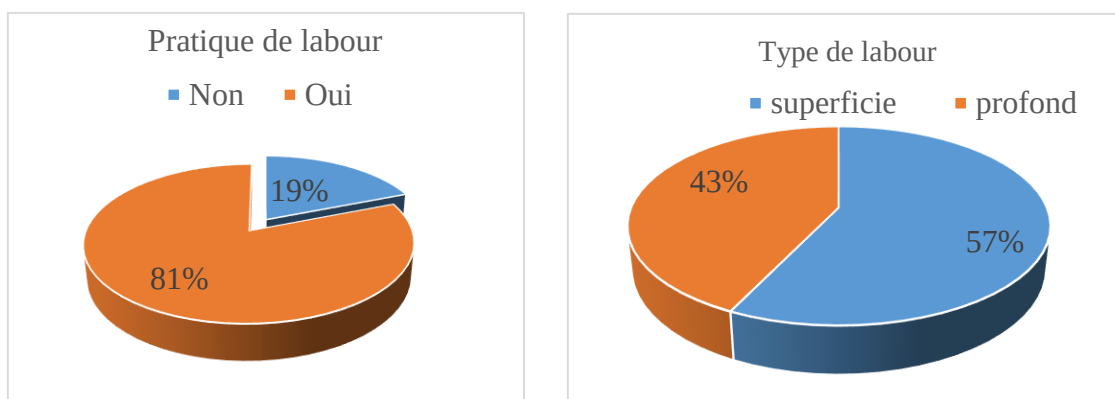


Figure 16. Préparation du sol par les enquêtés.

Concernant la fertilisation, les données enregistrées (figure 17) indiquent que le fumier d'ovin est le plus fréquemment utilisé par les agriculteurs (38,1%), suivi par l'engrais composé NPK (15.15.15) utilisé par 33,3% d'entre eux comme source de nutriment. Seulement 9,5% des répondants incorporent du fumier bovin à leurs sols.

Les quantités de fumier utilisées pour la culture du quinoa varient entre 3 à 5 t/ha pour le fumier organique et de 100 à 250 kg/ha pour l'engrais minéral.

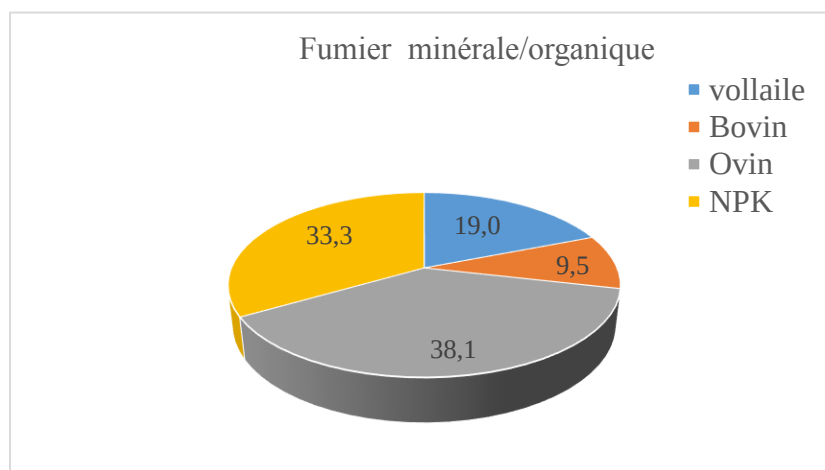


Figure 17. Types de fumure de fond appliquées par les enquêtés.

Selon les réponses des agriculteurs, la préparation du sol pour la culture de quinoa se limite généralement au labour, qui peut être profond ou superficiel, à la préparation du

terrain par hersage et à l'incorporation de fumier. Dans la plupart des cas, le lit de semence est préparé à l'aide d'une charrue à soc ou à disque. Cette étape mécanique consiste principalement à conditionner le sol afin de créer un milieu favorable pour les semis. (Del Castillo et al., 2008 ; Bhargava et Srivastava, 2013 ; Hussain et al., 2020).

Dans cette optique, une étude menée par Aguilar et Jacobsen (2003) sur la culture du quinoa dans l'altiplano péruvien a rapporté que le sol optimal pour le semis cette de plante est obtenu par labour. Cependant, une préparation appropriée du sol est essentielle pour obtenir un bon contact entre les semences et le sol, favoriser une bonne germination (Bazile et al., 2016b ; Pando et Aguilar 2016) et pour maintenir l'humidité du sol jusqu'au semis et à l'établissement de la culture (Aguilar et al., 2003).

Globalement, diverses préparations de champ sont employées pour garantir des conditions adéquates de culture du quinoa (labour, brise laboure, hersage et nivellement) en fonction des années de jachère d'un champ, de l'écosystème local (Garcia et al., 2015), du type de sol et de l'humidité disponible dans le sol (Singh et al., 2021).

Nos résultats suggèrent que la quantité, le type de fumier (organique ou minéral) son type et son mode d'application varient en fonction du type de sol, de la culture précédente et de la surface des champs cultivés. Dans le même contexte, Hussain et al. (2020) ont noté que l'engrais organique est appliqué et incorporé dans le sol pour améliorer sa fertilité. En Amérique du Sud, Garcia et al. (2015) ont déclaré que le taux de fumier appliqué par les agriculteurs est d'environ 4 à 10 t/ha. Dans une autre étude, Taaime et al. (2023) ont annoncé que la matière organique améliore la capacité de rétention d'eau du sol, sa structure, son aération et le développement de la flore microbienne pour une humification rapide.

I.2.3. Source et caractéristiques des variétés cultivées

Dans le cadre de notre étude, des caractéristiques telles que la source d'approvisionnement en semences, les variétés sélectionnées par les agriculteurs et leurs caractéristiques sont présentées respectivement dans la figure 18 et le tableau 7. Les résultats des répondants révèlent que l'ITDAS a été la source d'approvisionnement en semences de la majorité des champs (76,2 %). En effet, 33,3% des agriculteurs ont évalué dans leurs essais un à deux génotypes, à savoir Q102, Q105 et quinoa noir ; d'origine péruvienne. En ce qui concerne

le reste des variétés, les participants ont effectués des expérimentations sur une collection de variétés présentant une grande variabilité de coloration des graines, notamment Giza1, Giza 2, Q21, Q26, Q104, Sajama et Santa Maria.

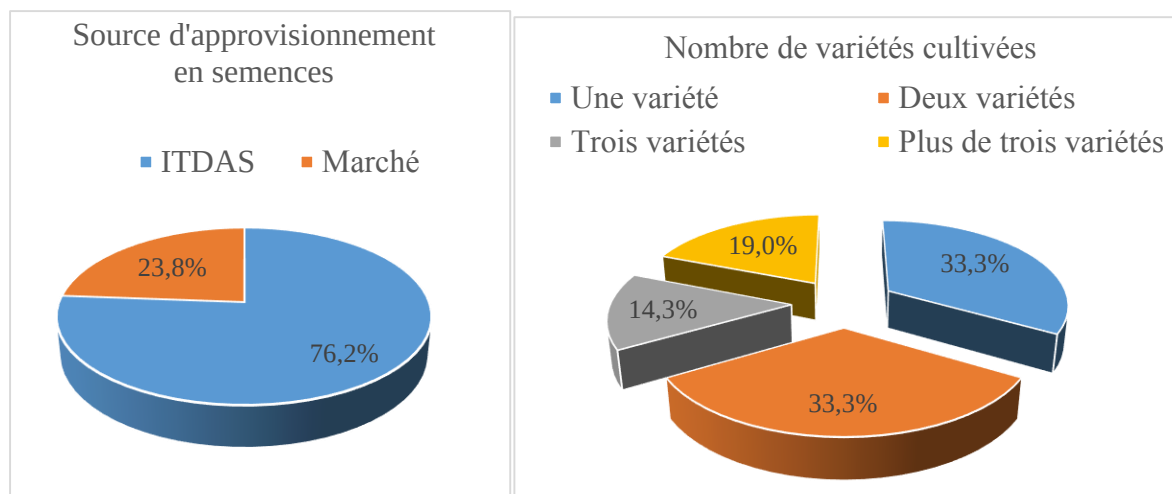


Figure 18. Source d'approvisionnement et nombre des variétés testées par les enquêtés.

Tableau 7. Quelques caractéristiques des variétés évaluées selon Maamri et al., 2022 ; Oustani et al., 2023 ; Bazile et al., 2016b ; Shams, 2018).

Code	Variété	Origine	Couleur des graines
Q101	Amarilla Marangani	Pérou	Orange
Q102	Amarilla Sacaca	Pérou	Jaune
Q104	Kancolla	Pérou	Crème
Q105	Salcedo INIA	Pérou	Crème
Q21	/	Chili	Jaune
Q26	/	Chili	Lumière
/	Giza1	Égypte	Beige
/	Giza2	Égypte	Beige
/	Santa maria	Bolivie	Blanc
/	Quinoa noir	Perou	Noir

Les participants ont déclaré que, déverses variétés de quinoa sont proposées par l'ITDAS notamment des variétés comme Q102 et Q105 qui sont adaptées aux sols locaux et ont été testées dans les conditions agroécologiques des deux sites d'étude. Cette expansion rapide du quinoa en Algérie est le résultat du projet TCP (Programmes de Coopération Technique) de la FAO (Bazile et al., 2016b, Ahmadzai, 2020). Les résultats de notre étude sont en accord avec ceux trouvés par Taaima et al. (2023) et Jaikishun et al. (2019) qui ont constaté que la grande diversité génétique du quinoa rend sa culture possible dans différentes conditions environnementales. En effet, une plus grande proportion des enquêtés a sélectionné l'Amarilla Sacaca connue sous le code Q102 d'origine péruvienne à graines jaunes (tableau 7), comme la variété la mieux évaluée dans leurs essais de terrain. Elle semble être adaptée à des sols limono-argileux à argilo-sableux et sableux des zones d'étude.

Durant la conversation avec les enquêtés, sur les critères de choix de la variété idéale, il en ressort qu'il existe un ensemble de facteurs déterminant ce choix, y compris la précocité, la tolérance aux stress biotiques et abiotiques, la productivité et le potentiel d'adaptation aux différents types de sol et de climat. Ceux-ci confirment que les défis agroécologiques jouent un rôle majeur dans le choix des variétés.

Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Oustani et al. (2023), Maamri et al. (2022) et Mehda et al. (2023) qui ont cité Q102 comme l'une des meilleures variétés, grâce à sa résistance plus forte, ses rendements élevés et de qualité, ainsi que son adaptabilité à divers environnements extrêmes, notamment dans le sud de l'Algérie.

I.3. Semis du quinoa

I.3.1. Date de semis

Comme indiqué dans la figure 19, les semis ont lieu la plupart du temps entre les mois de septembre (52,4%) et octobre (28,6%). Cependant, peu d'agriculteurs (4,8%) ont retardé l'opération de semis jusqu'au décembre.

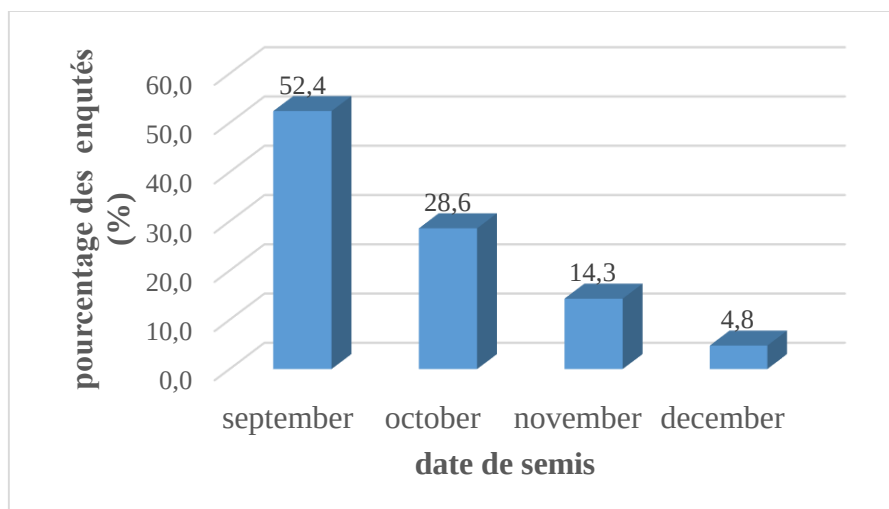


Figure 19. Périodes de semis du quinoa par les enquêtés.

Les résultats montrent que les agriculteurs réalisent des essais sur terrain à des périodes de semis précoces, normales et tardives, afin d'évaluer les performances du quinoa dans diverses conditions environnementales. Cette variation des dates de semis prend en compte la zone agroécologique et physiographique, ainsi que le cycle de croissance des différentes espèces et variétés (Aguilar et Jacobsen, 2003).

Les graines de quinoa sont semées à différents moments, en fonction de l'endroit où elles sont semées, des caractéristiques de la variété et du taux d'humidité du sol. Ce sont également des facteurs importants pour déterminer la méthode de semis à utiliser, manuelle ou mécanique (Alan, 2011). Il ressort des résultats de l'analyse des données que plus des trois quarts des participants ont considéré que le moment de semis le plus approprié pour le quinoa dans les régions arides est le début de la saison de croissance, entre septembre et octobre. Ces résultats sont validés par d'autres études menées dans les mêmes conditions agro-climatiques, où la culture a été testée à différents moments de semis et ont constaté que la saison précoce (octobre) est la meilleure pour obtenir un rendement acceptable (Maamri et al., 2022 ; Mehda et al., 2023). Dans le même contexte, les recherches de Del Castillo et al. (2008) et Fagandini (2019) confirment que le quinoa est une culture d'automne, fréquemment semée durant le mois de septembre et octobre, mais pouvant être retardée jusqu'au début du mois de décembre. D'autre part, Garcia et al. (2015) ont rapporté que la culture du quinoa est principalement cultivée pendant la saison

estivale (de mai à septembre) dans les Andes. Bhargava et Srivastava (2013) ont noté qu'en d'autres parties du monde, en particulier dans la région méditerranéenne, avril était le meilleur moment pour semer le quinoa. Néanmoins, le choix de la date idéale pour les semis dépend de divers facteurs tels que la température, les précipitations, l'humidité du sol et le rayonnement (Choukr-Allah et al., 2016). Il est très important de planifier la date de semis pour éviter des températures de l'air supérieures à 32°C pendant la phase de floraison (Bazile et al., 2016b).

I.3.2. Paramètres de semis

Le tableau 8 montre que la majorité des participants (71.4%) ont semé le quinoa de façon manuelle quelle que soit la méthode de semis utilisée (en ligne, à la volée ou en poquets). Par contre, seulement 14,3% ont semé les champs de quinoa à l'aide d'un semoir à céréales (semis mécanique) ou d'un semoir manuel (semi-mécanique). Les densités couramment appliquées se situent entre 4 et 8 kg/ha. Contrairement à cela, une minorité des enquêtes ont appliqué une densité de semis supérieure à 8 kg/ha (14,3%). La profondeur de semis est de 2 à 3 cm pour 57,1% des agriculteurs. L'écartement entre lignes est d'environ 30 à 70 cm et l'interligne est de 15 à 40 cm. Cependant, les écartements de 50 cm et de 20 cm entre lignes et l'interligne sont jugés les plus adaptés par la majorité des participants (52,4 %).

Tableau 8. Paramètres généraux des semis effectués par les enquêtés.

Paramètres de semis		Fréquence	Pourcentage (%)
Méthode	Manuel	15	71.4
	Mécanique	3	14.3
	Semi-mécanique	3	14.3
Dose (kg/ha)	2 à 4	5	23.8
	4 à 6	6	26.8
	6 à 8	7	33.3
	Plus de 8 kg	3	14.3
Profondeur (cm)	1 à 2	9	42.9
	2 à 3	12	57.1

Entre-ligne (cm)	30	2	9.5
	40	4	19
	50	11	52.4
	70	4	19
Interligne (cm)	15	4	19
	20	11	52.4
	30	5	23.8
	40	1	4.8

Les résultats ont clairement montré que le semis traditionnel du quinoa pouvait se faire de différentes manières, la culture pouvant être semée manuellement en ligne, en poquet ou à la volée. Cependant, le semis semi-mécanique et mécanique en ligne à l'aide d'un semoir manuel ou d'un semoir à céréales a également été pratiqué notamment pour les grandes surfaces (Taaime et al., 2023 ; Aguilar et Jacobsen, 2003). La culture du quinoa repose exclusivement sur le semis manuel, Garcia et al. (2015) ont signalé que, dans les hauts plateaux du sud près des salines de Bolivie, le quinoa était principalement cultivé à la main, selon des techniques de semis manuel. Cela est probablement dû à la petite taille des graines ou au manque des équipements adaptés. Expérimentalement, la méthode en ligne était la plus utilisée dans les parcelles expérimentales des agriculteurs, que ce soit pour le semis mécanique ou même pour le semis manuel (García-Parra et al., 2020). En effet, le semis mécanique a principalement été pratiqué pour les grandes superficies afin de minimiser le temps et les besoins en main-d'œuvre pour cette procédure (Taaime et al., 2023).

D'un autre côté, l'étude a montré que différents taux de semis sont appliqués. Le choix de la densité de semis dépend de divers facteurs comme les conditions climatiques, la fertilité du sol, la date de semis et la variété (Bhargava et Srivastava, 2013). Il est aussi lié à la méthode de semis pratiquée (Afzal et al., 2022). Les agriculteurs appliquent habituellement les doses de semis situées entre 4 et 8 kg/ha (tableau 7). Autrement dit, la densité peut être ajustée en fonction de la taille des graines, de la technique de semis et de l'agroécosystème (Aguilar et Jacobsen 2003). L'application des densités plus faibles (4-6

kg/ha) peut suffir pour les sols riches ou les conditions irriguées, tandis que des densités plus élevées (6-8 kg/ha) conviennent aux sols pauvres ou stressés.

La profondeur de mise en terre des semences de quinoa de l'ordre de 2 à 3 cm, semble idéale pour maximiser la germination, en particulier dans des sols limono-sableux où l'humidité peut être facilement maintenue. Pando et Aguilar (2016) ont noté que, pour favoriser la levée, la profondeur de semis appropriée consiste à placer les semences de manière à ce qu'elles puissent absorber l'eau nécessaire à la germination sans se dessécher par la suite, la profondeur ne doit pas dépasser 2cm. Benlhabib (2005), Bhargava et Srivastava (2013), Afzal et al. (2022) ont montré que le quinoa répond bien à une profondeur de semis entre 1 et 3 cm, selon le type de sol, sous des conditions de sol bien préparé et suffisamment humide. Murphy et Matanguihan (2015) et García et al. (2015) ont également signalé que la profondeur de semis varie selon la méthode de semis. Elle est légèrement profonde dans les méthodes traditionnelles, notamment en poquet, alors qu'elle est moins profonde dans les méthodes de semis mécaniques en ligne. En effet, un ajustement de la profondeur de semis est nécessaire pour assurer un bon contact entre la graine et le sol, favoriser l'absorption d'eau nécessaire à la germination, protéger les graines de la dessiccation dans les sols arides (sableux) et réduire les risques d'exposition des graines aux prédateurs et aux conditions climatiques extrêmes (Singh et al., 2021).

L'écartement entre lignes et interlignes est un facteur crucial pour optimiser l'espace, la gestion des adventices, et le rendement du quinoa. L'analyse des données indique que l'espacement de 50 cm entre les lignes et de 20 cm d'interligne sont des valeurs dominantes, adoptées par la majorité des participants. Ces résultats confirment, ceux obtenus par Alan (2011) et Bhargava et Srivastava (2013), qui ont considérés l'écartement de 50 cm en particulier, dans le semis en ligne un espacement optimal. D'autre part, des études récentes ont montré que plusieurs espacements ont été adaptés allant de 40 à 120 cm entre les lignes et de 11 à 25 entre les plantes, cette variation est fonction des variétés et des densités choisies (Afzal et al., 2022 ; Murphy et Matanguihan 2015). Un espacement plus serré par exemple (50cm x 20cm) peut favoriser une couverture rapide du sol pour minimiser l'évaporation et la compétition des mauvaises herbes, et par conséquent un rendement de qualité (Bhargava et al., 2007). A l'inverse, une densité plus large (70cm x

40cm) pourrait être plus adaptée dans des sols pauvres ou stressés, pour réduire la compétition entre les plants spécialement avec certaines variétés, qui nécessite des espacements spécifiques en raison de leurs caractéristiques morphologiques.

I.4. Suivi de la culture

L'analyse des données résumées dans le tableau 9 révèle que l'irrigation par goutte-à-goutte est la méthode prédominante (61,9%), suivie de l'aspersion (23,8%) et de la submersion (14,3%). La majorité des agriculteurs irriguent deux fois par semaine (57,1%), avec des durées moyennes variant entre 1 à 4 h. Plus de 85% font recours à la fertilisation minérale, dont 57,1% utilisent l'urée (46%). 76,2% des agriculteurs pratiquent le désherbage, principalement de manière manuelle, et rarement chimique (4,8% des participants). Les oiseaux représentent un défi majeur chez 57.1% des agriculteurs. Cependant, seulement 4.8% des agriculteurs ont enregistré des infections par des facteurs biotiques tel que les maladies. Du point de vue de la protection phytosanitaire, 81% des participants adoptent le principe de la lutte intégrée.

Tableau 9. Techniques culturales appliquées par les enquêtés à la culture du quinoa.

Opération culturale			Fréquence	Pourcentage (%)
Irrigation	Système d'irrigation	Aspersion	5	23.8
		Goutte à goutte	13	61.9
		Submersion	3	14.3
	Fréquence (semaine)	1 fois	4	19
		2 fois	12	57.1
		3fois	5	23.8
	Durée	1h	7	33.3
		2h	4	19
		3h	4	19
		4h	4	19
		Plus de 4 h	2	9.5

Fertilisation	Application	Non	3	14.3
		Oui	18	85.7
	Type d'engrais	NPK	6	28.6
		Urée (46%)	12	57.1
Désherbage	Pratique	Non	5	23.8
		Oui	16	76.2
	Type	Manuel	16	76.2
		Chimique	1	4.8
Problèmes phytosanitaires	Type	Maladies	1	4.8
		Oiseaux	12	57.1
		Ravageurs et oiseaux	8	38.1
	Lutte intégrée	Non	4	19
		Oui	17	81

Le quinoa est une culture tolérante à la sécheresse qui a de faibles besoins en eau, mais le rendement est significativement affecté par l'irrigation (Bhargava et al., 2006 ; Hinojosa et al., 2018). Il est traditionnellement cultivé dans des conditions de précipitations, même dans des zones semi-arides et très arides (Singh et al., 2021 ; Haros et Schoenlechner, 2017). Malgré cela, des processus tels que la germination et le développement physiologique sont directement liés à la disponibilité de l'eau (García-Parra et al., 2020). D'après les études de Fagandini (2019) sur « la distribution des parents sauvages du quinoa cultivé dans la région de Puno au Pérou », l'irrigation joue un rôle mineur, n'est pratiquée que dans certains villages et en très petites quantités. Cependant, la culture est très bien adaptée à une pluviométrie avec une irrigation se situant entre 250 et 400 mm (Benhabib, 2005). L'irrigation goutte à goutte dans le semis en ligne est la méthode la plus adaptée (61,9 % des participants) aux conditions arides. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Maamri et al. (2022) et Mehda et al. (2023), qui ont noté que l'irrigation goutte à goutte est particulièrement adaptée aux environnements arides, car elle permet une utilisation efficiente de l'eau et fournit une quantité d'eau contrôlée directement aux

racines des plantes, minimisant ainsi les pertes par évaporation ou ruissellement. Elle optimise l'usage de l'eau tout en maintenant une humidité suffisante pour la culture, ce qui pourrait permettre d'économiser 10% de l'eau requise par les plantes (Jacobsen et al., 2012). L'irrigation par submersion est également pratiquée dans le système oasien (Maamri et al., 2022), où le quinoa est testé comme une culture de troisième étage, même si dans une moindre mesure. L'irrigation par aspersion et submersion est toutefois moins efficace en termes de gestion de l'eau, particulièrement dans les zones où cette ressource est limitée (Bhargava et al., 2006). Ces résultats sont cohérents avec ceux de Yazar et al. (2017) qui ont signalé que la méthode par aspersion nécessite un contrôle précis des applications d'irrigation.

Les variations dans la durée et la fréquence d'irrigation reflètent les différences de débit des systèmes utilisés, la taille des parcelles et la capacité des sols à retenir l'eau. La fréquence de deux fois par semaine semble être un compromis efficace (chez 57.1% des agriculteurs) assurant un apport d'eau régulier sans excès. Par contre, une irrigation excessive de la culture en particulier au début et au développement de panicule provoque des maladies telles que le nanisme et la fonte des semis (Bhargava et al., 2006). Elle peut aussi prolonger la maturité de la culture et augmenter la taille des plantes, ce qui les expose à la verse (Benhabib 2005 ; Afzal et al., 2022). En effet, la quantité appliquée varie selon le climat (hiver, printemps, été), le sol (sableux, limoneux, etc.), la variété (précoce ou tardive), et le système d'irrigation utilisé ((Pando et Aguilar 2016).

En ce qui concerne la fertilisation au cours du cycle, on note que le quinoa répond positivement à un apport azoté adéquat. D'autre part, la fertilisation de cette culture dans les sites d'étude se limite globalement à l'urée (46%), ou à des engrais composés (NPK). Du fait de sa mobilité rapide dans le sol, les quantités sont donc fractionnées en deux à trois apports, selon les besoins de la culture et la fertilité du sol, de façon à garantir une efficacité d'utilisation élevée. Des essais récents ont montré que des rendements optimaux sont obtenus avec une application de 120 à 225 kg/ha d'azote (Singh et al., 2021 ; Afzal et al., 2022 ; Taaime et al., 2023). L'application d'azote améliore le rendement en grains ainsi que la teneur en protéines des graines de quinoa (Bhargava et al., 2006 ; Bhargava et Srivastava, 2013). Cependant, un apport excessif d'azote peut stimuler une croissance

végétative excessive, ce qui allonge le temps nécessaire à la formation et à la maturation des graines, entraînant une baisse du rendement (Bhargava et al., 2006). Concernant les autres minéraux, le quinoa a des besoins faibles en calcium et potassium et peut très bien s'adapter à une fertilisation phospho-azotée (Aguilar et Jacobsen 2003 ; Del Castillo et al., 2008), combinée à l'irrigation goutte à goutte (García et al. 2015).

Le désherbage et la gestion phytosanitaire sont des pratiques essentielles pour garantir une bonne croissance, réduire la compétition des adventices et protéger le quinoa contre les maladies et les ravageurs (Pando et Aguilar 2016). Les enquêtés ont estimé que la gestion des mauvaises herbes dans la culture est une opération compliquée, effectuée presque manuellement (76,2%), particulièrement pour les petites exploitations. Les agriculteurs intervenant pour contrôler les adventices le plus souvent durant les stades précoces de la culture, lorsque le quinoa est encore jeune et sensible à la concurrence. Les plants de quinoa poussent lentement pendant les deux premières semaines suivant la levée (Singh et al., 2021 ; Benlhabib, 2005). Pour cette raison, le désherbage doit être effectué de manière rigoureuse afin d'éviter au maximum la compétition pour les nutriments et l'eau entre les adventices et la culture (Aguilar et Jacobsen 2003 ; Fagandini 2019).

La fréquence de cette opération varie d'une fois par semaine à une fois pendant la saison de croissance (Taaime et al., 2023). L'une des solutions efficaces pour minimiser les pertes de rendement causées par la concurrence des adventices est le semis précoce. Lors de cette pratique, le quinoa bénéficie d'une phase initiale d'établissement sans compétition avec les mauvaises herbes (Pando et Aguilar 2016). En effet, Taaime et al. (2023) ont signalé que l'absence de traitements chimiques rend l'opération de désherbage coûteuse et représente une grande partie des coûts de production du quinoa.

Des facteurs biotiques tels que les maladies, les ravageurs et les insectes menacent la culture du quinoa, réduisant considérablement son rendement et sa qualité (Del Castillo et al., 2008). Dans l'ensemble des parcelles des essais dans les deux régions, les agriculteurs ont apprécié le quinoa, une culture qui résiste bien, est peu affectée par les facteurs abiotiques. Néanmoins, les oiseaux (principalement les moineaux) constituent un problème majeur signalé par 57,1% des agriculteurs. Ces résultats sont similaires à ceux constatés par García et al. (2015), qui ont déclaré que les oiseaux causaient des dégâts

sérieux, provoquant une baisse de rendement allant jusqu'à 60%. Selon les auteurs, ces dégâts seraient liés à la proximité du champ de culture aux arbres ou lignes électriques, à l'âge de la culture de quinoa, à la variété et au moment ou à la saison de l'année (Pando et Aguilar 2016).

De plus, Certains insectes, tels que *la noctuelle désolatrice*, *les psylles* et *les mouches mineuses* s'attaquent aux feuilles et aux graines de la culture (ITDAS,2020), mais aucun dommage important n'est signalé. En termes pathologiques, le mildiou causé par le champignon *Peronospora farinosa* est la maladie la plus notable. Il provoque des dommages sur les feuilles, diminuant ainsi la photosynthèse et, par conséquent, la production. (Pando et Aguilar, 2016 ; Del Castillo et al., 2008).

En termes de mesures préventives, la majorité des agriculteurs optent pour la lutte intégrée comme moyen de contrôle phytosanitaire, Les filets anti-moineaux et les pièges sont des méthodes adéquates pour maîtriser la gestion phytosanitaire sur le plant proprement biologique. Ces résultats sont confirmés par Del Castillo et al.,2008, qui ont noté que les pièges nocturnes lumineux ou les phéromones sont des techniques de lutte biologique efficaces. Les dommages causés par les oiseaux peuvent être réduits par l'utilisation de variétés très amères ou à haute teneur en saponine, car elles sont dotées d'une défense chimique qui les rend résistantes aux parasites et aux oiseaux (Bhargava et al., 2006 ; Benlhabib, 2005 ; Taaime et al., 2023).

I.5. Récolte et poste récolte

Les résultats mentionnés dans le tableau 10 illustrent que l'opération de récolte et poste récolte est entièrement manuelle (100%) et qu'elle commence généralement entre les mois de mars et mai, avec un maximum en avril (38,1%). Les rendements obtenus sont très variés et présentent une distribution significative. En effet, 33,3% des agriculteurs ont obtenu un rendement situé entre 5 et 10 qx/ha. En outre, 23,8% ont réussi à produire un rendement compris entre 25 et 35 quintaux par hectare. Concernant la destination du produit final, les résultats du tableau 10 indiquent que 52,4% du rendement est destiné à la commercialisation, 33,3 % sont utilisés pour des essais scientifiques et 14,3% sont destinés à l'usage personnel.

Tableau 10. Caractéristiques des opérations de récolte et de post récolte des enquêtés.

Opération			Fréquence	Pourcentage %
Récolte	Type	Manuel	21	100
		Mécanique	0	0
	Date	Janvier	2	9.5
		Février	4	19
		Mars	5	23.8
		Avril	8	38.1
		Mai	1	4.8
		Juin	1	4.8
Rendement	5 à 10 qx/ha		7	33.3
	11 à 15 qx/ha		4	19
	16 à 20 qx/ha		4	19
	21 à 25 qx/ha		1	4.8
	25 à 35 qx/ha		5	23.8
Poste récolte	Manuel		21	100
	Mécanique		0	0
Destination du produit final	Commercialisation		11	52.4
	Utilisation personnelle		3	14.3
	Evènement et essais scientifique		7	33.3

De ces résultats, on note également que la récolte commence généralement vers le mois d'avril. Tandis que des récoltes précoces (en janvier) et tardives (en juin) ont été enregistrées chez certains agriculteurs. Fagandini (2019) a enregistré des résultats similaires au Pérou. Il a constaté que la période de récolte s'étend d'avril à juin. D'autres études indiquent également que la récolte de quinoa peut s'étendre de février à mai, mais qu'avril est le principal mois de récolte (García et al., 2015). Bien que la période optimale de récolte ne soit pas fixe, elle dépend largement des facteurs tels que la variété, le cycle de croissance, les conditions climatiques, le type de sol, l'humidité, la température dominante, etc. (Singh et al., 2021 ; Haros et Schoenlechner, 2017).

Pour tous les interviewés, la récolte est réalisée manuellement, les plantes sont coupées ou arrachées, puis séchées afin de faciliter les opérations de battage et de tamisage. Selon les déclarations des agriculteurs participant à cette étude, le processus de récolte et la post-récolte constituent les opérations les plus difficiles et requièrent le plus de main-d'œuvre.

Taaime et al., 2023, ont confirmé cette appréciation en indiquant que la méthode manuelle de récolte est consommatrice de main-d'œuvre et que des pertes de récolte élevées sont attendues. Dans un contexte identique, Toral (2014) a signalé que la récolte est d'abord stockée sur le terrain lui-même jusqu'à ce que les plantes sèchent complètement. La phase suivante comprend plusieurs opérations avant l'obtention du produit final, le battage, le tamisage et le vannage, et enfin la mise en sac. Il ajoute que le « pic » de travail est aujourd'hui celui de la récolte, qui n'est pas encore mécanisée. En effet, Afzal et al. (2022) ont noté que la mécanisation des récoltes représente un grand défi pour les agriculteurs de quinoa dans les pays en développement.

Les rendements sont très variables, mais généralement de niveau acceptable. La production réelle de grains dans les deux sites d'étude varie entre 5 et 35 qx/ha (tableau 10). En moyenne, les rendements enregistrés sont de 13,63 qx/ha et 22,30qx/ha respectivement pour les parcelles de Biskra et d'Oued Souf. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus dans le cadre des essais primaires menés au niveau de la station de recherche de Hammadna à Relizane, qui varient généralement entre 1,63 et 8,47 t/ha selon les variétés testées (Gacemi, 2016). Par contre, ces résultats de rendement sont supérieurs à ceux cités par Dao et al. (2019) au Burkina Faso, avec une valeur moyenne de l'ordre de 1,611 t/ha.

Cette variation de rendement dépend de plusieurs facteurs, notamment la qualité des semences, la préparation du sol et la planification de la date de semis optimale pour éviter les fortes températures pendant la phase de floraison (Bazile et al., 2016b). En outre, Maamri et al. (2022) ont signalé que les génotypes Santa Maria, Q102 et Giza 1 peuvent être considérés comme des variétés à haut rendement. Ceci reflète une plus grande adaptabilité de ces variétés de quinoa aux conditions agro-climatiques du sud de l'Algérie.

Concernant la destination du produit final, l'analyse des résultats du tableau 10, montre une variation dans la répartition du produit final entre la commercialisation à l'échelle locale, l'orientation des semences vers le domaine de la recherche scientifique pour mener des essais, des journées d'études et de vulgarisation, ainsi que des ateliers de recherche, etc. Par ailleurs, l'utilisation personnelle reste limitée à une minorité d'agriculteurs (14,3%).

La consommation de quinoa en Algérie reste relativement limitée, du fait de l'absence d'habitude de consommation dans ce pays. Toutefois, le quinoa offre une alternative nutritive et diversifiée dans la cuisine algérienne, où les céréales occupent une place importante. Sa composition équilibrée en protéines, en acides aminés, en minéraux, en fibres et en composés mineurs (tels que les antioxydants et les vitamines (Angeli et al., 2020 ; Del Castillo et al., 2008)), fait de lui un complément idéal pour les plats souvent riches en glucides. Il est également sans gluten (Ruiz et al., 2014), ce qui peut convenir aux personnes intolérantes au gluten, contrairement au blé et au couscous traditionnels. Récemment, le quinoa attire l'attention des personnes atteintes de la maladie cœliaque ou de troubles liés au gluten. Il intéresse également les sportifs à la recherche de sources de protéines.

*Etape II : Essais
expérimentaux*

II. Deuxième étape : essais expérimentaux

II.1. Stades phénologiques

La datation des principaux stades a permis de situer les différentes phases de développement de la culture et de vérifier les conditions climatiques dans lesquelles chacune de ces phases s'est déroulée.

Les caractéristiques phénologiques du quinoa varient considérablement selon les variétés cultivées (figures 20 et 21) et les conditions agro-climatiques dans lesquelles il est cultivé. D'une manière générale, la date de semis jusqu'à 50% de la levée (Apparition de deux feuilles vraies) varie en moyenne entre 20 et 32 j (Giza II : 20 j ; Q105 et Q noir : 32 j) pendant la première campagne (2019/2020) et entre 21 et 34 j (Giza II : 21 j ; Q105 : 34 j et Q noir : 31j) pour la deuxième campagne (2020/2021). De même, les variétés ont ramifié autour de 53 j, 63 j et 76 j pour les variétés Giza II, Q105 et Q noir pour le premier essai, et autour de 60 j, 74 j et 64 j pour les variétés Giza II, Q105 et Q noir pour le deuxième essai, respectivement. Le suivi du cycle de croissance des variétés testées indique que les plants de Giza II ont fleuri à environ 106 jours et 82 jours pour le premier essai et le deuxième essai, suivis par le Q 105 à 116 jours et 115 jours pour la première et la deuxième campagne. Cependant, les plants de Q 102 ont fleuri à 138 j pour le premier essai, et le Q noir à 90 j pour le deuxième.

En vue des mesures préventives liées à la crise sanitaire provoquée par la pandémie de Covid-19 lors de la première campagne de l'expérimentation (2019/2020), le suivi de notre culture a été arrêté au stade grain laiteux pour le Giza II et Q105 avec 118j et 137 j, respectivement. En revanche, la variété Q 102 a été arrêtée à la floraison.

Pour la deuxième année d'expérimentation, la variété Giza II est celle qui avait le cycle de maturation le plus précoce avec 144 j, suivie par le Q noir avec 151 j. Par contre, le Q 105 présente le cycle le plus long avec une moyenne de 177 j.

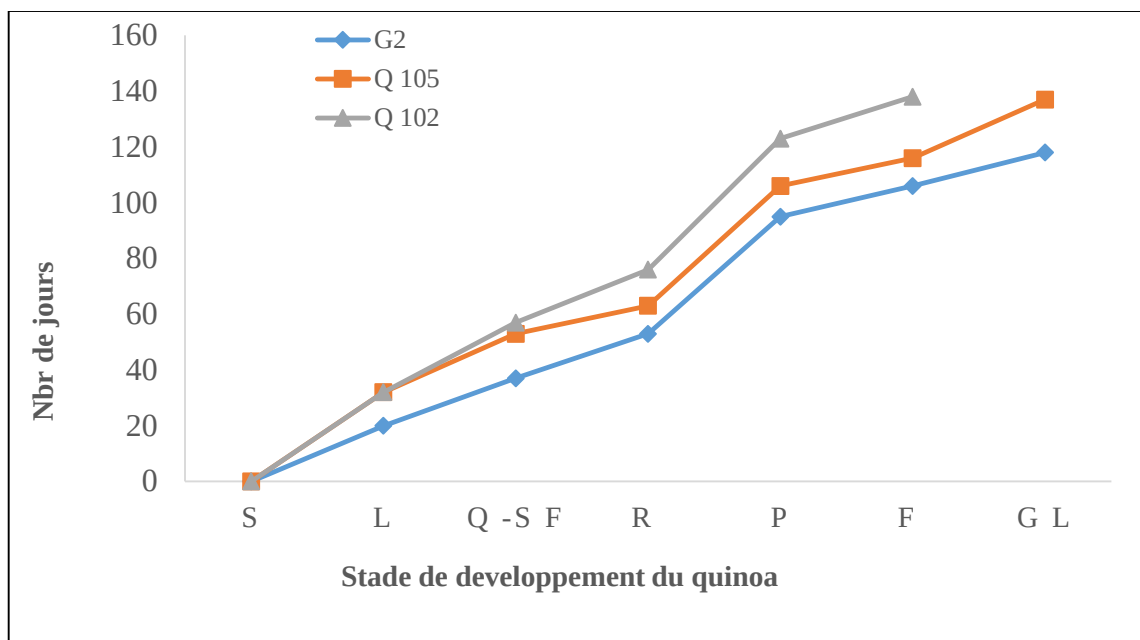


Figure 20. Durée en jours des stades de développement des variétés testées au premier essai (2019/2020).

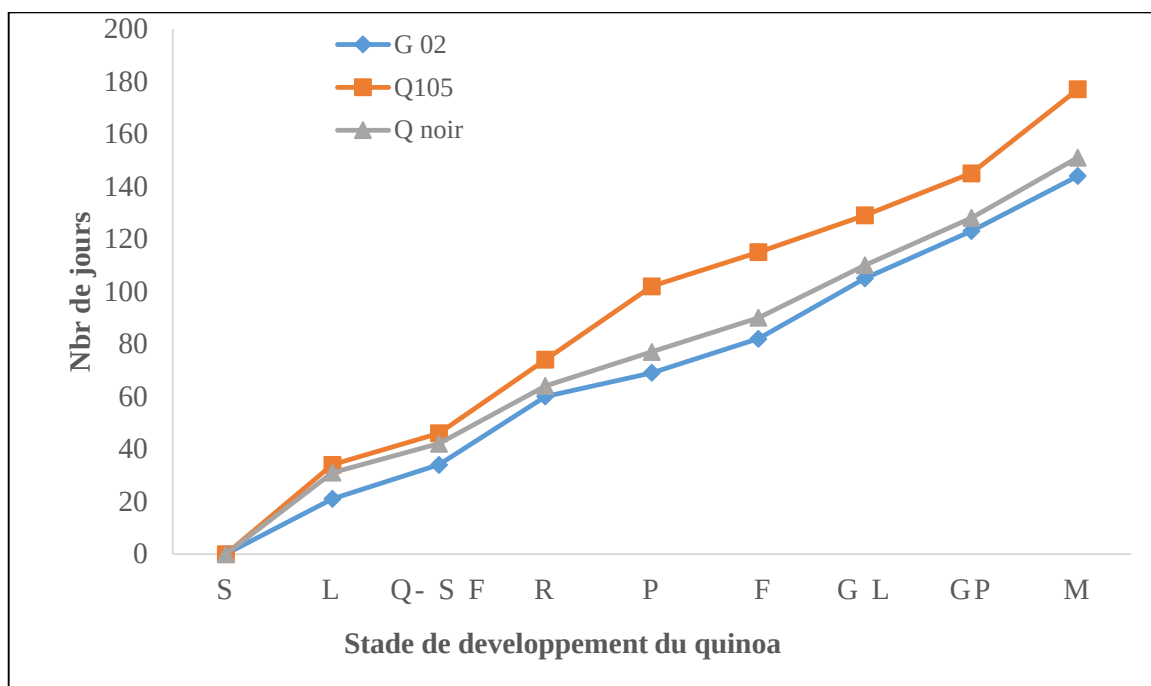


Figure 21. Durée en jours des stades de développement des variétés testées au deuxième essai (2020/2021).

Les résultats du suivi des quatre variétés testées durant les deux campagnes expriment une variabilité du cycle végétatif du quinoa, généralement compris entre 144 jours pour la variété la plus précoce (Giza II), 151 pour la variété intermédiaire (Q noir) et 177 jours pour la variété la plus tardive (Q105). Ces résultats sont différents de ceux observés par Dao et al. (2019), Shitikova et al. (2022) et Shams (2018), qui ont noté un cycle de maturité variant respectivement de 75, 134 à 140, 115 à 120 et 148,50, 150 et 134 à 140 jours pour les variétés les plus précoces, à 150, 151 et 134 à 140 jours pour les variétés intermédiaires et à 177 jours pour les variétés tardives.

En effet, la période entre le stade de deux feuilles véritables (levée complète) et la formation de la panicule est de 75 à 91 j pour la première saison et de 48 à 68 j pour la deuxième saison. La période allant de la formation de la panicule au remplissage des grains (grain liteaux) est de 23 à 31 j pour le premier essai et de 27 à 36 j pour le deuxième. De plus, au cours de la deuxième saison, la période allant de la floraison à la maturité physiologique est de 61 à 62 j. Ce qui indique d'une part qu'il existe une variation génétique considérable entre les variétés pour les durées des différentes phases. D'autre part, cette variation peut être due à l'hétérogénéité des conditions climatiques entre les deux campagnes, notamment les températures, qui ont enregistré une élévation pendant deuxième année par rapport à la première année (tableau 2 et figure 3, chapitre 1), ce qui a entraîné un cycle de vie des variétés plus court en deuxième année, comparant à la première année.

En outre, Afzal et al. (2022) ont signalé que les génotypes de quinoa montrent un comportement différent aux stades phénologiques et qu'ils complètent leur cycle de vie en un temps variable en fonction de la latitude, de l'altitude et des conditions environnementales, en particulier de la photopériode et de la température régionales. Dans ce sens, l'étude de Mehda et al. (2022) sur « Effet des dates de semis sur les paramètres de croissance végétative et de rendement de deux variétés de quinoa » enregistre une durée de 94 et 101 j entre le semis et la formation de la panicule pour la variété Giza I et Q 102 semées à la fin du mois d'octobre, et de 65 à 70 j pour le semis en mi-octobre. Selon El-Harty et al. (2021), les génotypes ayant des origines différentes et nécessitant des longueurs de jour et des températures différentes, ont des périodes de

maturation différentes également. En outre, les travaux de Jacobsen (1998) cités par Del Castillo et al. (2008) menés sur cinq lignées de quinoa pendant trois saisons de culture en Europe du Nord mentionnent que les durées totales des cycles dépendent non seulement de la lignée, mais aussi de l'année de culture, du type de quinoa (les quinoas fourragers sont plus précoces que les quinoas à grains) et de la localisation (les cycles sont globalement plus précoces au Danemark).

II.2. Notations relatives au cycle pendant le premier essai

✓ Précocité

Le suivi de la culture dans les deux modes de semis montre que la variété de quinoa « Giza » est la plus précoces des trois variétés cultivées pour tous les stades (levée, deux feuilles, ramification, formation des panicule...) suivie par la variété « Q105 », puis la variété « Q102 » qui montre un cycle de développement plus long.

✓ Vigueur

La variété Q102 se caractérise par une structure dure et vigoureuse, une tige rigide, ainsi que des ramifications et des panicules nombreuses. À l'inverse, la variété « Giza II » présente une structure moins dure, avec une tige mince qui est rapidement affectée par la force du vent.

✓ Homogénéité des levées et de la croissance

Les observations continues du comportement de la culture et du développement des plantes de quinoa ont révélé des différences selon le mode de semis utilisé. Pour une même variété, la levée et la croissance des plantes ont montré une nette variation. En effet, en mode de semis mécanique, les semences sont déposées dans le sol de manière ordonnée, avec une dose de semis par ligne bien précise et à une profondeur définie, ce qui s'est traduit par une levée homogène. Au moment du semis, une bonne adhérence de la graine au sol a favorisé la germination. Par contre, en mode de semis manuel (en ligne, en poquet et à la volée), les semences sont déposées manuellement dans le sol, ce qui a engendré une levée très hétérogène.

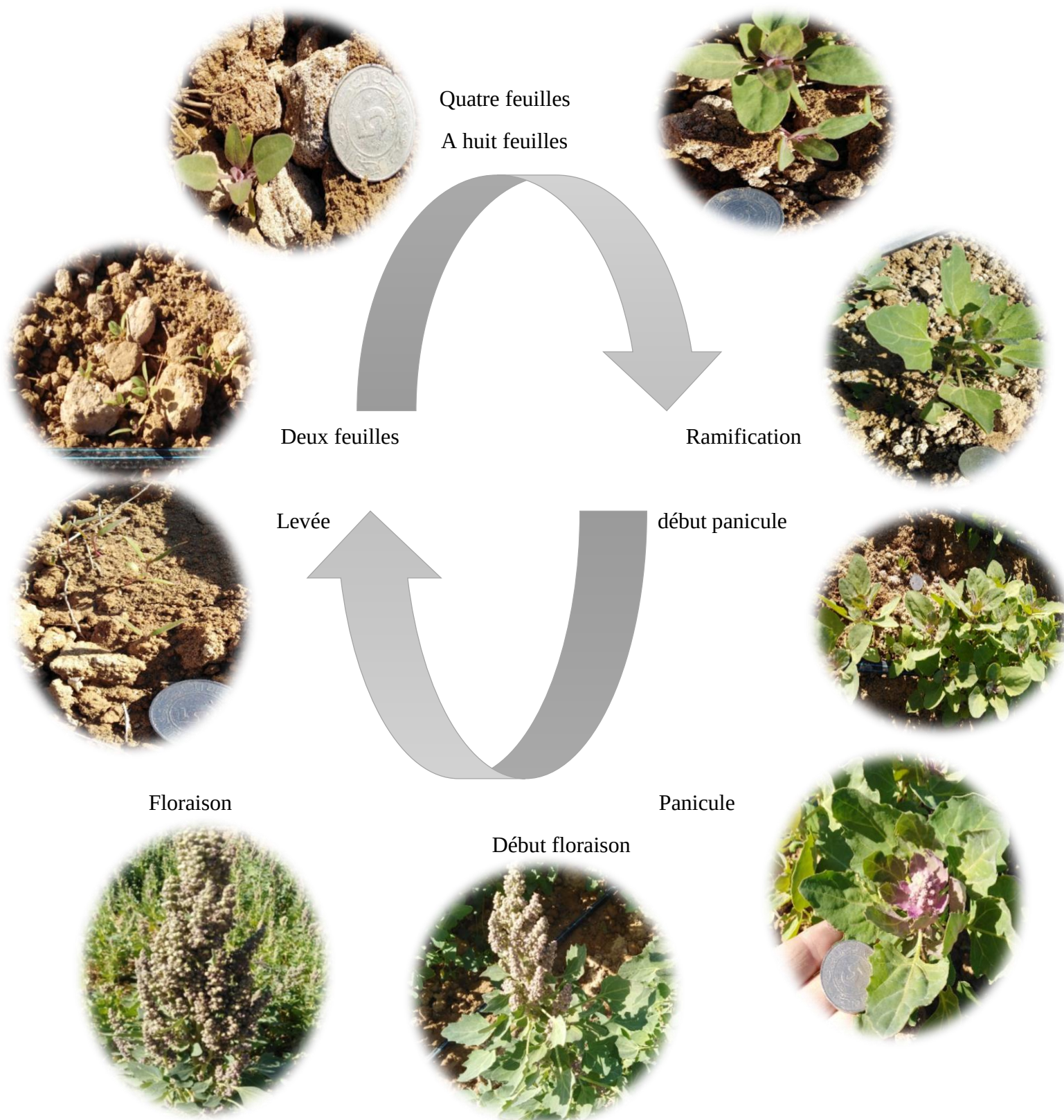


Figure 22. Stades phénologiques du quinoa pendant la première saison
(Original, 2019/2020).

II.3. Mesures morphologiques et agronomiques du deuxième essai

II.3.1. Nombre de plants /m²

Les résultats obtenus en nombre de plant/m² (tableau 11) indiquent que les variétés testées n'ont aucun effet significatif sur ce paramètre. Cependant, la variété Giza II a produit le nombre maximal de plants/m² (43.46) comparant aux autres variétés. Par ailleurs les méthodes de semis, affectent significativement le NP/m². Le semis à la volée a donné le meilleur résultat (group a) avec une moyenne de 58,88 plants/m², tandis que la dose D1 du semis mécanique a donné la population de plants la plus faible (group c) avec 23,24plants/m². Les effets d'interaction (V x MS) révèlent que la variété V1 a produit le nombre maximal de plants/m² dans le semis à la volée (78,66), par contre un minimum de plants/m² (22,38) est enregistré par la variété V3 avec la dose D1 de semis mécanique (figure 23).

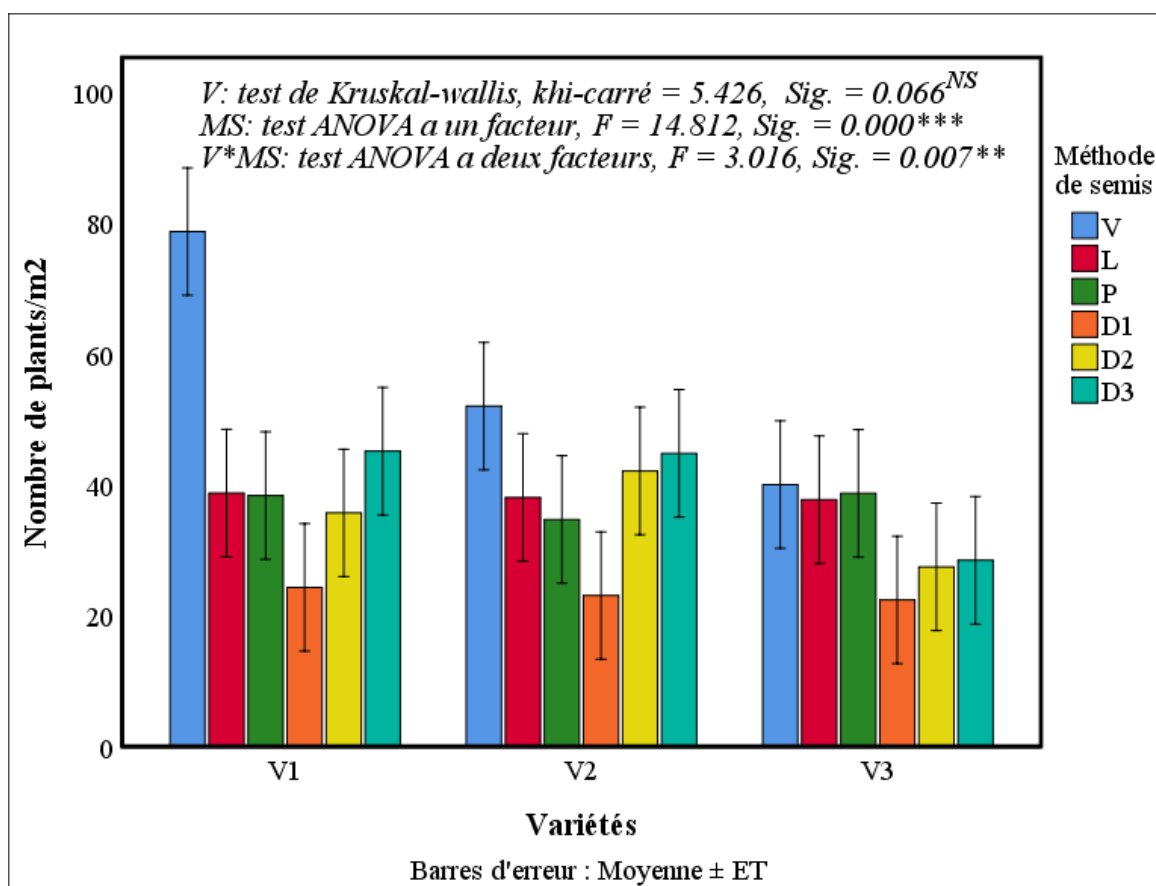


Figure 23. Variation du nombre de plants/m² en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Tableau 11. Effet des variétés de quinoa (V) et des méthodes de semis (MS) sur le nombre de plantes/m², hauteur de plants (HP), Nombre panicules /plant (NPP), Hauteur de panicule principale (HPP), Poids sec (PS), Poids panicule principale (PPP), Rendement en grains /plant (RGP), Rendement total (RT), poids de 1000 graines (PMG), Indice récolte (IR), teneur en protéine (TP)

Variété	NP/m ²	HP (cm)	NPP	HPP (cm)	PS (g)	PPP (g)	RGP (g)	RT (gx/ha)	PMG (g)	IR (%)	TP
V1	43,46	80,97 ^a	8,47 ^a	19,45	48,14 ^a	13,95 ^a	18,36 ^a	7,75 ^a	4,11 ^a	0,36 ^a	13,37 ^b
V2	39,10	70,06 ^b	6,71 ^b	17,58	34,66 ^b	10,28 ^b	12,20 ^b	5,55 ^b	3,88 ^b	0,34 ^a	13,85 ^b
V3	32,43	86,41 ^a	5,76 ^b	21,62	50,38 ^a	15,51 ^a	10,62 ^c	2,48 ^c	2,90 ^c	0,21 ^b	14,67 ^a
Méthode de Semis											
V	56,88 ^a	79,48	6,05 ^{bc}	17,83	35,06 ^{bc}	11,90 ^b	11,27 ^c	8,98 ^a	3,41	0,30	14,26
L	38,15 ^b	75,46	5,54 ^{bc}	20,65	30,22 ^{bc}	10,85 ^b	9,15 ^c	8,51 ^a	3,48	0,29	13,66
P	37,22 ^{bc}	73,54	4,84 ^c	17,94	29,56 ^c	10,67 ^b	7,90 ^{bc}	4,20 ^b	3,36	0,28	13,88
D1	23,24 ^c	82,73	7,32 ^{ab}	18,98	50,16 ^{ab}	14,20 ^{ab}	15,35 ^{ab}	2,70 ^b	3,78	0,31	14,23
D2	35,06 ^{bc}	84,02	8,68 ^a	21,59	63,58 ^a	17,09 ^a	19,72 ^a	3,37 ^b	3,82	0,30	14,10
D3	39,44 ^b	79,65	9,45 ^a	20,32	57,78 ^a	14,78 ^{ab}	18,96 ^a	3,82 ^b	3,91	0,32	13,75
Interaction (V x MS)											
V x V1	78,66	77,50	5,60	14,29	34,51	11,84	13,38	13,30	4,10	0,32	14,55
V x V2	52,00	77,43	8,26	18,35	32,33	11,00	12,28	10,38	3,60	0,37	13,76
V x V3	40,00	83,53	4,30	20,87	38,33	12,85	8,15	3,25	2,55	0,27	14,46
L x V1	38,71	74,26	6,26	25,12	21,74	10,04	11,06	13,27	4,20	0,35	13,53
L x V2	38,04	61,30	4,13	16,68	18,25	7,28	6,15	8,03	3,76	0,33	13,73
L x V3	37,70	90,83	4,30	20,15	50,66	15,23	10,25	4,22	2,50	0,19	13,73
P x V1	38,33	73,50	5,86	15,79	27,16	9,74	8,91	4,61	4,00	0,32	12,60
P x V2	34,66	63,63	4,13	16,90	22,52	8,16	6,77	4,50	3,54	0,33	14,14
P x V3	38,66	83,50	4,53	21,12	39,00	14,11	8,02	3,49	2,56	0,20	14,90
D1 x V1	24,29	88,53	9,06	20,29	57,26	17,66	22,06	4,32	4,10	0,38	13,47
D1 x V2	23,06	76,00	7,20	15,83	39,56	9,45	15,06	2,72	4,06	0,37	14,17
D1 x V3	22,38	83,66	5,70	20,83	53,66	15,49	8,94	1,06	3,20	0,18	15,05
D2 x V1	35,68	87,26	11,0	22,00	80,66	20,35	28,34	5,07	4,10	0,35	13,50
D2 x V2	42,08	72,43	8,76	18,52	51,60	13,18	19,53	3,67	4,20	0,37	13,73
D2 x V3	27,43	92,36	6,30	24,25	58,50	17,75	11,29	1,37	3,16	0,19	14,78
D3 x V1	45,11	84,80	13,0	19,24	67,50	14,06	26,42	5,96	4,16	0,40	12,57
D3 x V2	44,77	69,60	7,76	19,18	43,70	12,63	13,40	4,01	4,13	0,30	13,59
D3 x V3	28,44	84,56	7,53	22,53	62,16	17,66	17,06	1,49	3,44	0,27	15,10
Significatio n(<i>P</i> < 0.05)	NS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MS	*	NS	*	NS	*	*	*	*	NS	NS	NS
V x MS	*	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	*	NS	*

Dans la colonne, les lettres différentes sont significatives à *P* < 0,05. En effet l'astérisque « * » et « NS » représentent respectivement significatif et non significatif à *P* < 0,05 et non significatif à *P* < 0,05.

Les analyses statistiques des données révèlent une augmentation notable de la densité de population par m^2 avec l'augmentation de la dose de semis, notamment dans les doses élevées, que ce soit dans la méthode manuelle (volée) ou mécanique (D3). La variété « Giza II » a produit une population/ m^2 plus élevée notamment dans le semis manuel à la volée, comparant à celle du Q105 et du Q noir. Ceci peut s'expliquer par l'influence de la taille et de la qualité des semences. En considérant que le V1 a la plus grande taille de graines (PMG le plus élevé) avec le meilleur taux de germination par rapport à V2 et V3. Dans ce sens, Aguilar et Jacobsen (2003) ainsi que Bhargava et Srivastava (2013) ont déclaré que, la haute densité des plants est obtenue avec des variétés à graines de grande taille, tandis que la densité élevée est connue pour produire des plants faibles, plus petit avec un moindre rendement par plante.

La comparaison des doses appliquées dans les différentes méthodes de semis a montré que la différence de NP entre la méthode à la volée et la dose D3 du semis mécanique n'était que 17,44 plant/ m^2 (tableau 12). Alors que la dose de semis appliquée dans ce dernier est le tiers de celle du semis à la volée (4.77 kg/ha contre 15 kg/ha). Ceci explique le rôle de la mécanisation dans la régulation du processus de semis, qui assure ensuite l'homogénéité et l'uniformité de la levée, ayant un impact direct sur la densité végétale et le rendement final. Dans un contexte semblable, García et al. (2015) affirment l'importance de semis dans l'amélioration de densité des plantes qui dépend de la levée des plantules de quinoa, et concédèrent cette étape comme une pratique clé pour le succès ou l'échec de la culture. Des recherches récentes menées par Mehda et al. (2022), sur deux variétés de quinoa (Giza I et le Q 102), sous des conditions agro-climatique similaires dans la région aride de Ouargla, au sud-est de l'Algérie, ont rapporté que la meilleur densité plants/ m^2 enregistrée était celle de la variétés Giza I (environ 38 plants/ m^2).

Tableau 12. Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en terme du nombre des plants/m².

Effet des méthodes de semis sur			
Nb/m ²	Difference		
MS (I) - Ms (J)	moyenne (I-J)	Signification	Décision
V - L	18.736*	0.004	**
V - P	19.667*	0.002	**
V - D1	33.642*	0.000	***
V - D2	21.821*	0.000	***
V - D3	17.447*	0.008	**
D3 - V	-17.447*	0.008	**
D3 - L	1.289	1.000	NS
D3 - P	2.220	0.997	NS
D3 - D1	16.196*	0.017	*
D3 - D2	4.374	0.940	NS

II.3.2. Hauteur des plants

L'analyse des données montre que les variétés testées ont un effet très hautement significatif ($p < 0.05$) sur la hauteur des plants. La moyenne HP la plus élevée est obtenue par la V3 et la V1 (group a) suivi de V2 (group b) avec respectivement 86,41cm, 80,97cm et 70,06 cm. Les méthodes de semis n'entraînent pas de différence significative en termes de HP. Néanmoins, les meilleurs résultats sont observés avec les doses de semis mécanique D2 (84,02 cm), D1 (82,73 cm) et D3 (79,65 cm) respectivement. L'effet d'interaction (V x MS) est non significatif (figure 24), tandis que la variété Q105 avec la dose D2 de semis mécanique (V3 x D2) produit des plantes avec une hauteur supérieure (92.36 cm), suivie par le Q105 semé manuellement en ligne (V3 x L) (90.83 cm), par rapport aux autres variétés avec les traitements appliqués, notamment pour le Q noir qui a donné des plantes avec une hauteur plus faible lors du semis manuel en ligne et en poquet (V2 x L ; V2 x P).

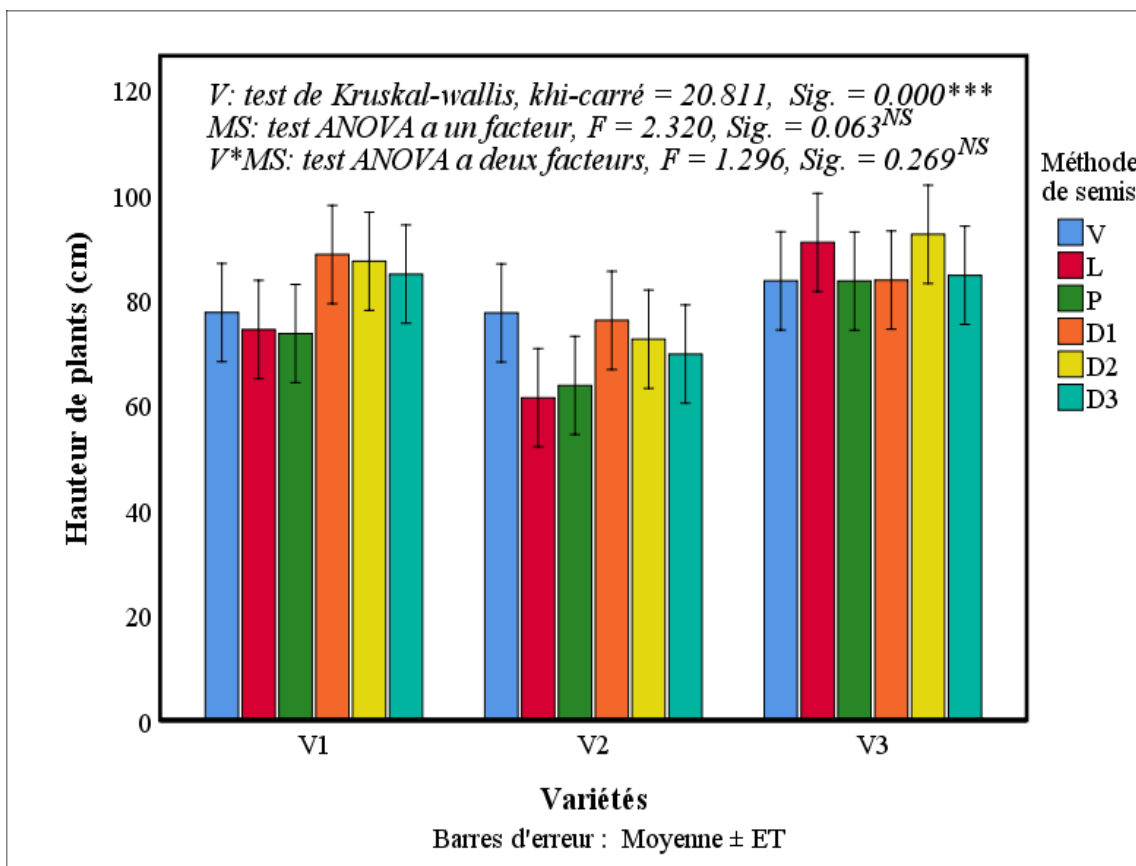


Figure 24. Variation de la hauteur des plants en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Les résultats ont montré que les variétés de quinoa réagissaient différemment selon la méthode de semis utilisée. La variété V3 a produit des plantes d'une hauteur maximale, comparant à celle des V1 et V2 (tableau 11). Du point de vue de la variabilité génétique, cette variation de hauteur entre les variétés peut être traduite par la diversité de leurs caractères génétiques, plus précisément « diversité de la taille et de la forme des plantes » (Hamza et al., 2022 ; Del Castillo et al., 2008). Des résultats semblables ont été rapportés par Dao et al. (2019) dans son étude sur l'évaluation du quinoa au Burkina Faso, dans laquelle il signale que la variété a un effet significatif sur la hauteur des plantes de quinoa. Autrement dit, une grande variabilité génétique a été marquée entre les variétés testées en termes des caractères quantitatifs comme la hauteur des plantes, le nombre de ramifications par plant, le rendement par plant et par variété, etc.

Il ressort des résultats de l'analyse de variance que les effets des méthodes de semis ont été non significatifs. De même, les effets de l'interaction (V x MS) sont également non significatifs. Cependant, le semis mécanique à faible densité, en particulier les doses D2 et D1, a donné des plantes plus hautes que les méthodes manuelles (V, L, P), en particulier avec la variété V3 (Q 105). En règle générale, le semis à forte densité conduit à des plantes plus faibles et plus petites (Aguilar et Jacobsen, 2003). En effet, l'augmentation de la densité de peuplement dans les méthodes manuelles peut être attribuée à une réduction de la qualité de la lumière, des quantités d'eau et de nutriments absorbés. De ce fait, la hauteur et les rendements des plantes diminuent (Benlhabib, 2005 ; Wang et al., 2020). Les conditions environnementales, notamment la température et les précipitations, ont été identifiées dans d'autres travaux de recherche comme des facteurs essentiels influençant la hauteur des plantes (Ciftci et al., 2020 ; Ali et al., 2020 ; Temel et Yolcu, 2020 ; Maamri et al., 2022).

II.3.3. Nombre de panicule par plant

Le nombre de panicules par plant est significativement affecté par les variétés, les méthodes de semis et leurs interactions (V x MS) (tableau 11 et figure 25). Le test de Kruskal-Wallis indique que le NPP maximal a été obtenu par le traitement V1, avec une valeur moyenne de 8.47 P/P, suivi par le traitement V2, avec 6.71 P/P, et le traitement V3, avec une valeur moyenne de 5.76. Par rapport à l'effet MS, le NPP le plus important est enregistré avec la méthode de semis mécanique, particulièrement pour la D3, avec une valeur moyenne de 9.45 P/P. À l'inverse, la plus basse valeur de NPP est relative à la méthode manuelle en poquet (4.84 P/P). En fonction de l'interaction (V x MS), la variété Giza II avec le semis mécanique (D3) donne le plus grand NPP (13 P/P), suivie par la même variété avec la D2 (11 P/P). Par contre, la plus faible moyenne NPP est obtenue par les méthodes manuelles en ligne et en poquet avec la variété Q noir (4.13 P/P).

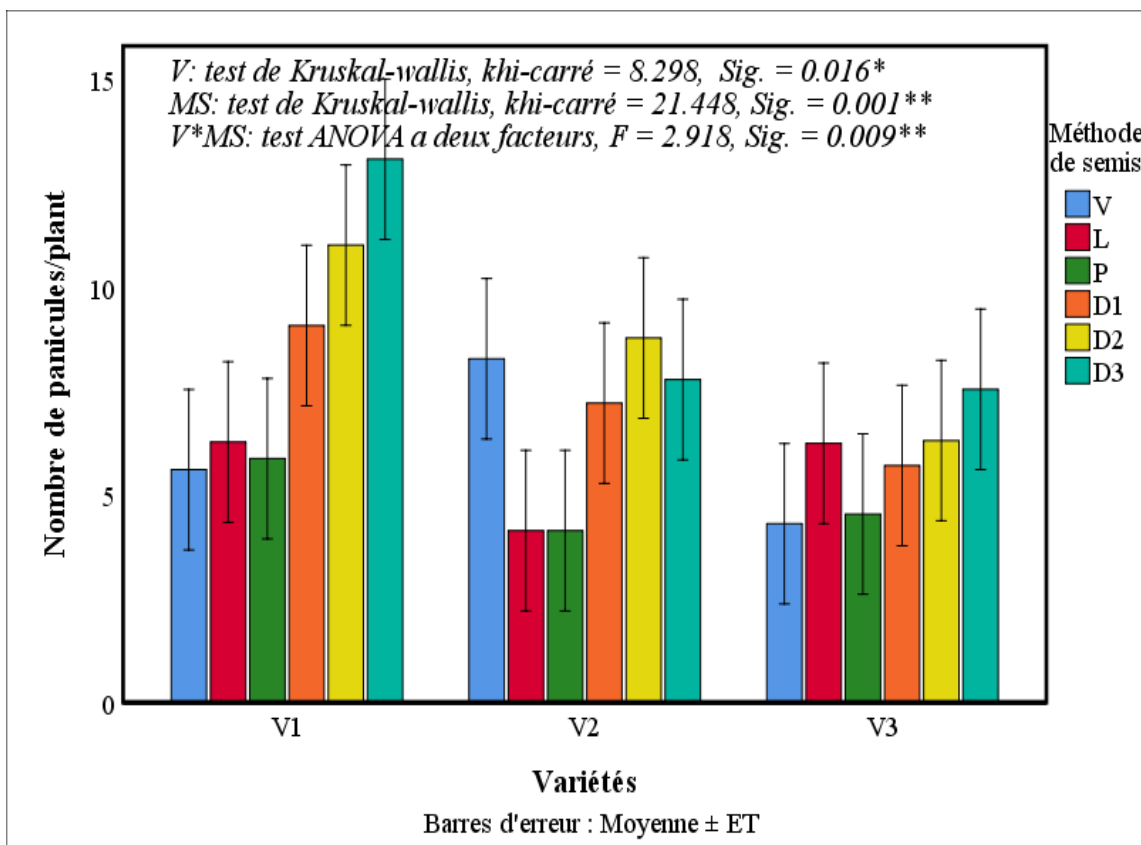


Figure 25. Variation du nombre de panicules/plant en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Les résultats du test kruskal walis montrent que les variétés sont différentes pour le caractère NPP. Nos résultats suggèrent que les plantes de la variété Giza II (V1) possèdent une bonne architecture morphologique, lui permettant de produire un nombre de panicule plus élevé que les variétés V2 et V3. Cela peut s'expliquer par l'hétérogénéité inter variétale entre les variétés testés (Ciftci et al., 2020 ; Dao et al., 2019). De plus, des expérimentations réalisées par Gacemi (2016) sur 11 variétés de quinoa à Relizan confirment que la variété V1 est l'une des variétés qui présentent une grande faculté d'adaptation à des conditions de sol et de climat extrêmes en Algérie, qu'elle a donné la meilleure valeur de NPP après la variété Giza I. Nos résultats sont inférieurs à ceux indiqués par Oustani et al. (2023), où le NPP varie entre 14.94 et 8.22 dans des conditions agro-climatique similaires (semis en novembre, région aride et condition climatique presque identique) ce qui peut probablement s'expliquer par des différences dans d'autres pratiques culturales notamment la fertilisation azotée.

Tableau 13. Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du nombre de panicule par plant.

Effet des méthodes de semis sur le NPP MS (I) - Ms (J)	Difference moyenne (I-J)	Signification	Décision
D2 – V	2.633*	0.002	**
D2 – L	3.144*	0.000	***
D2 – P	3.844*	0.000	***
D2 - D1	1.367	0.087	NS
D2 - D3	-0.767	0.330	NS
D3 – V	3.400*	0.000	***
D3 – L	3.911*	0.000	***
D3 – P	4.611*	0.000	***
D3 - D1	2.133*	0.009	**
D3 - D2	0.767	0.330	NS

Des différences hautement significatives des moyennes sont constatées selon les méthodes de semis (tableau 13). En effet, le NPP augmente significativement avec l'augmentation de la dose de semis mécanique, avec un maximum pour la dose D3 (9.45). Cela est certainement dû à la distribution régulière des graines, qui améliore la croissance des tiges et des feuilles. Les graines sont positionnées à une profondeur et à des espacements optimaux, ce qui permet aux plantes de développer des racines homogènes et robustes. Cela favorise également la ramification, garantissant ainsi la formation de plusieurs panicules sur chaque plant (Ali et al., 2020 ; Hamza et al., 2022). En contrepartie, la forte densité de semis avec les méthodes manuelles peut limiter le nombre de panicules par plante en raison de la concurrence accrue. Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par Dao et al. (2020) ; Wali et al. (2022) qui ont signalé une augmentation du nombre de branches et de panicules sous de faibles densités. Une densité végétale plus faible entraîne une ramification accrue et, par conséquent, une formation de nombreuses panicules. Du point de vue de l'effet interaction (V x MS), la variété Giza II (V1) a donné

des résultats supérieurs en termes de NPP, lors du semis mécanique, en particulier avec la D3 (13 panicules/plant) et la D2 (11 panicules/plant). Ce qui confirme la bonne performance de cette variété avec les densités de semis mécanique bien ajustées et sous les condition climatique et édaphique du site d'étude.

II.3.4. Hauteur de la panicule principale

A l'égard des résultats obtenus (tableau 11), il est noté que des différences très hautement significatives des moyennes sont constatées entre les variétés testées, avec des panicules plus hautes enregistrés pour la V3 (21.62 cm), alors que la V2 donne des panicules à faible hauteur (17.58). Concernant le facteur méthode de semis et l'interaction (V x MS), aucun effet significatif n'est observé. Néanmoins, le semis mécanique donne des résultats moyennement élevés, surtout pour la dose D2 (21.59 cm), en comparaison avec les autres méthodes appliquées. D'autre part, la V1 semée manuellement en ligne présente la hauteur de panicules la plus élevée (25,12 cm), contrairement à V1 semée à la volée qui produit des panicules à hauteur réduite (14.29 cm).

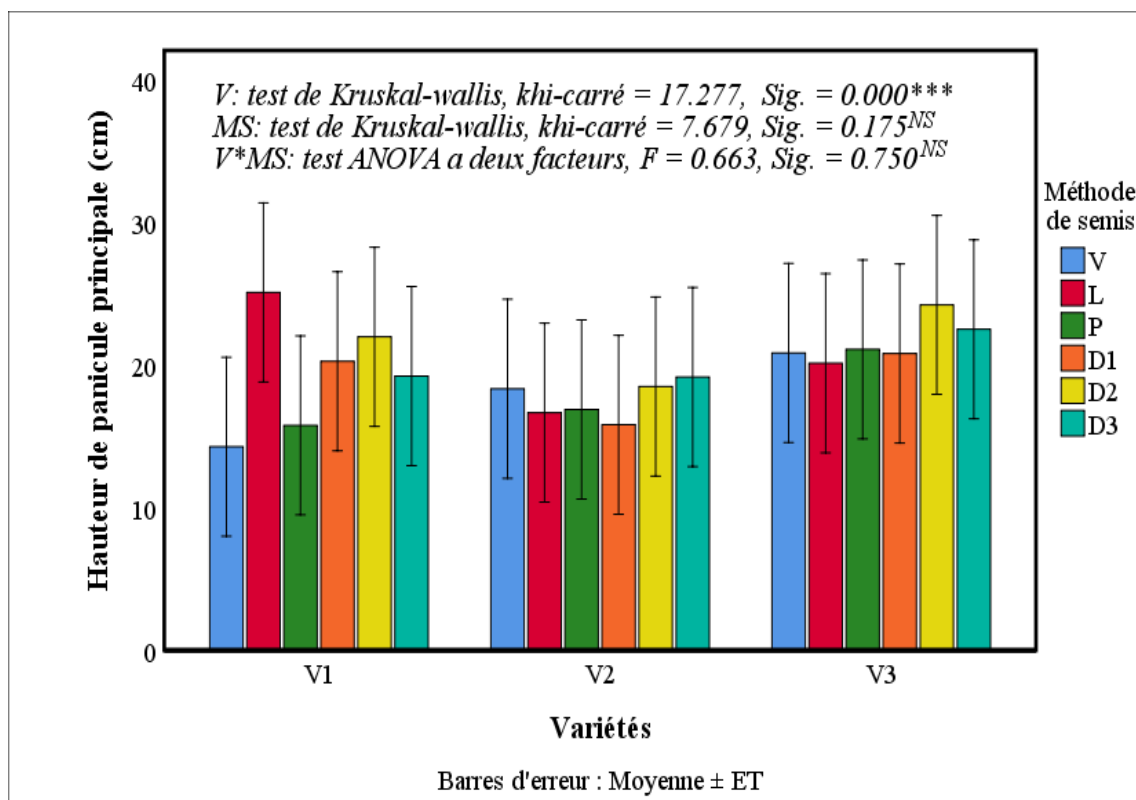


Figure 26. Variation de la hauteur de panicule principale en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Des différences significatives de la longueur de la panicule principale sont uniquement observées pour le facteur « variété ». Cette variation des résultats est probablement justifiée par le potentiel d'adaptation de la variété aux conditions du milieu d'une part (Oustani et al., 2023) et la rapidité de sa levée en comparaison avec la V1 et V2 d'autre part, ce qui permet de produire généralement des panicules longues et bien développées en profitant des températures modérées et d'une photopériode optimale au début du cycle (Sajjad et al. 2014). En outre, Hussain et al. (2020) ont observé des résultats similaires dans leur étude sur les variétés de quinoa testées sous environnement marginal salin, avec une hauteur de panicule moyenne variant entre 17 et 20,78 cm. Ils concluent que les différences de longueur des panicules étaient liées à la différence génotypique plutôt qu'à l'impact de la salinité. Du point de vue de la sélection, le génotype présentant une longueur de panicule principale plus élevée est un attribut important, car les chercheurs ont signalé une relation positive et significative entre cette longueur et le rendement en grains (Bhargava et al. 2007 ; Hamza et al., 2022).

Au vu des résultats obtenus, les méthodes de semis n'ont aucun effet sur la HPP, que ce soit pour la méthode mécanique ou manuelle, ainsi que pour l'interaction (V x MS). En effet, la différenciation de la HPP dans les recherches récentes est peut-être liée à plusieurs facteurs tels qu'une répartition inégale de l'engrais, de l'eau d'irrigation, la structure du sol et la présence d'un système racinaire court, qui pourrait limiter l'absorption des nutriments et de l'eau, et perturber leur utilisation dans le développement des organes reproducteurs (Ali et al., 2020).

II.3.5. Poids sec des plants

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les variétés de quinoa et les méthodes de semis appliquées en fonction du poids sec des plantes. En revanche, la V3 affiche la plus grande valeur de ce paramètre avec une moyenne PS de 50.38 g, suivie par la V1 (48.14 g) et la V2 (34.66) respectivement. Le test de Kruskal-Wallis montre globalement que les valeurs moyennes de PS obtenues en semis mécanique sont significativement supérieures à celles obtenues en semis manuel, avec des valeurs plus importantes enregistrées pour D2 et D3 (63.58g et 57.78 g) respectivement. Au contraire, le semis manuel en poquets enregistre la valeur moyenne PS la plus faible avec seulement

29.56g. Concernant l'interaction entre les deux facteurs, elle s'est avérée non significative, mais l'association des variétés Giza II avec les méthodes de semis mécanique D2 et D3 (V1xD2) et (V1xD3) a donné des résultats notables.

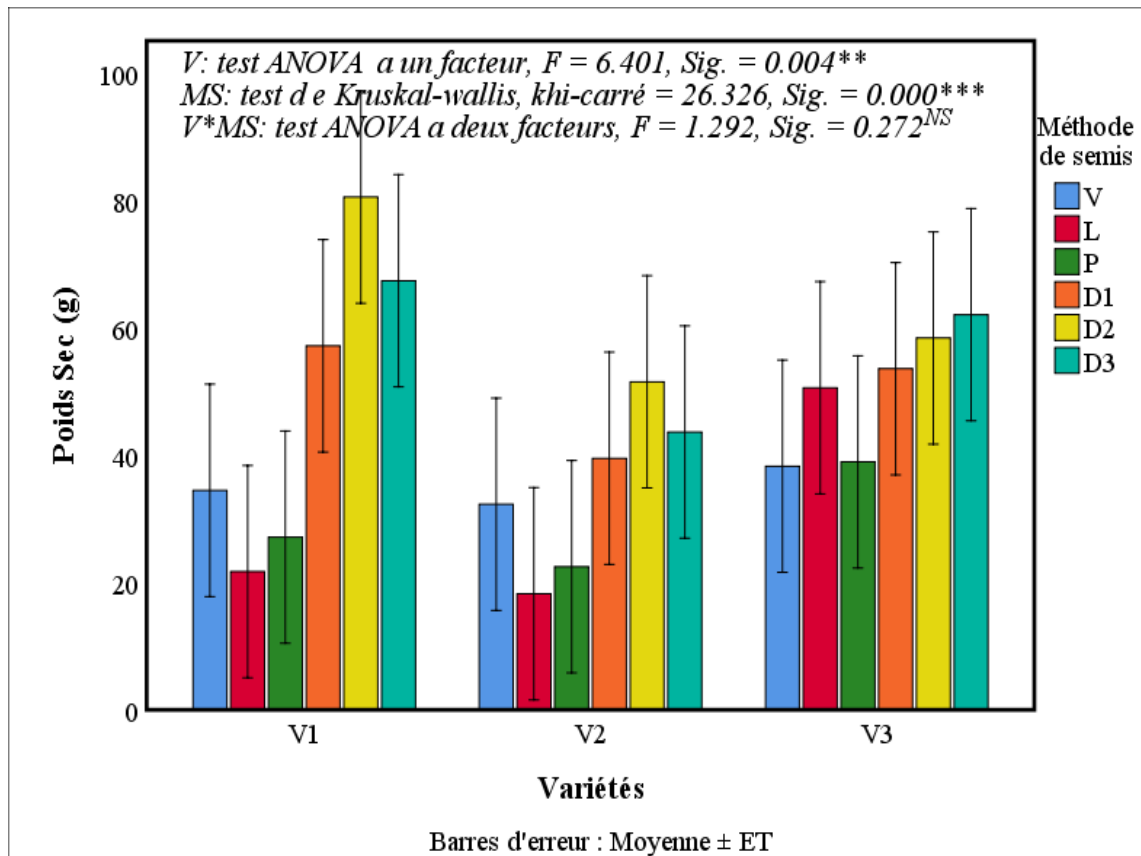


Figure 27. Variation du poids sec des plantes en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

D'après les résultats du tableau 11 et de la figure 27, des différences significatives de PS sont observées pour le facteur variété et mode semis. La variation du PS sous l'effet des variétés dépend de plusieurs facteurs, notamment la différence génétique entre les variétés (Oustani et al., 2023), ainsi que la variation du potentiel d'adaptation à des conditions de sol et de climat, ce qui peut influencer leur capacité à accumuler de la biomasse végétale, impactant directement la production de biomasse sèche (Hussain et al., 2020).

La différence de moyennes de PS entre les deux modes est relativement plus remarquable. En effet, les doses de semis mécanique (D2 et D3) ont produit des plants avec un poids sec important, comparant aux méthodes de semis manuel (V, L, P) qui ont donné des valeurs faibles. Cela peut s'expliquer par la capacité à répartir les graines de manière uniforme et précise, ce qui influence positivement certains facteurs liés à la biomasse sèche (alimentation, aération, photosynthèse, etc.), favorisant une germination optimale et une meilleure vigueur des plantes. Des résultats similaires ont été obtenus par Ali et al. (2020) qui ont constaté que les techniques de semis ont un effet positif sur l'accumulation de la biomasse de quinoa. Cependant, des études récentes ont démontré que la matière sèche plus importante devrait résulter d'une bonne gestion de l'irrigation, du taux d'azote et de la densité des plantes (Wang et al., 2020).

Aucune différence significative n'est observée concernant l'interaction (Vx MS). Toutefois, la V1 combinée aux méthodes mécaniques a affiché les meilleurs résultats en termes de PS. Cela s'explique par la capacité de V1 à produire une biomasse végétale plus élevée que V2 et V3.

II.3.6. Poids de panicule principale

L'analyse de la variance du poids de la panicule principale (figure 28) indique un effet variétal très hautement significatif. Les valeurs moyennes variétales varient de 15.51g à 13.95g pour V3 et V1 respectivement (group a) et 10.28g pour V2 (group a). Une différence significative de PPP est enregistrée entre les méthodes de semis testées, avec le PPP le plus élevé produit par les doses de semis mécanique, en particulier la D2 (17.09g), alors que le semis manuel en poquet produit un faible PPP avec une valeur moyenne de 10.67g. À l'inverse, les interactions entre les deux facteurs sont insignifiantes.

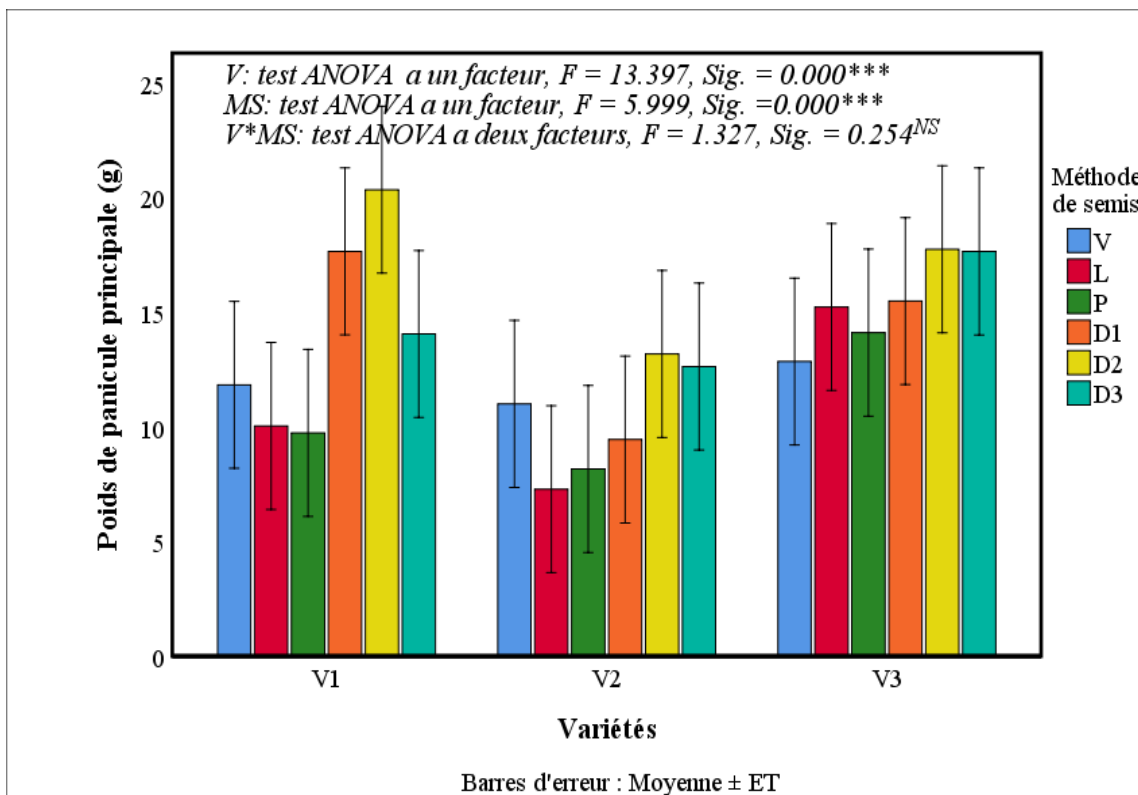


Figure 28. Variation du poids de panicule principale en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

L'analyse des résultats, indique des différences hautement significatives ($p < 0.05$) selon les variétés avec une prédominance de V3. On souligne que cette variation est due à la variation des paramètres de croissance (HP, HPP, PS). Sur cette base, Ali et al. (2020) annoncent que l'augmentation des paramètres de rendement pourrait être attribuée à un nombre plus élevé de grains et de poids des grains dans la panicule principale. D'un autre côté, la diversité des résultats de PPP entre le matériel végétal s'interprète par sa grande variabilité morphologique concernant les panicules et les graines, qui sont considérées comme des caractéristiques beaucoup plus variables (Dao et al., (2019 ; Del Castillo et al., 2008).

Les résultats du tableau 11 montrent un effet significatif entre les différentes méthodes testées ($P < 0,05$) en termes de PPP, la méthode mécanique en générale produit un PPP plus élevé par rapport aux autres méthodes de semis manuel. Nos résultats concordent avec ceux rapportés par Ali et al. (2020), qui suggèrent que le PPP est significativement affecté par les techniques de semis basées sur une distribution homogène des graines. De

plus, la densité moyenne (D2) de semis dans la technique mécanique a été identifiée comme la meilleure technique de semis, permettant d'obtenir le maximum de PPP. Ces résultats sont conformes à ceux de Ciftci et al. (2020), qui ont remarqué que la diminution de la densité de peuplement améliore significativement le poids des panicules. Cependant, nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par Sajjad et al. (2014) et Mehda et al. (2022), qui ont trouvé des valeurs de PPP plus élevées.

II.3.7. Rendement en grains par plant

Pour le rendement en grains par plant, une différence très hautement significative est observée entre les trois variétés testées, avec une valeur maximale (18.36 g/plant) produite par la V1. La variété V3 présente au contraire le plus faible RGP avec 10.62 g/plant. L'application de semis mécaniques augmente de manière significative le rendement en grains par plant par rapport aux méthodes manuelles ($p < 0,05$). Le rendement en graines le plus élevé (19.72g) est obtenu avec la D2 du semis mécanique, tandis que le rendement en graines le plus faible (7.90 g) est enregistré dans les parcelles semées manuellement en poquets. Du point de vue de l'effet interaction ($V \times MS$), le RGP le plus important (28,34g) est produit par la V1 combiné avec la D2 du semis mécanique. À l'inverse, la V2 semée à la main en ligne (L), présente la plus faible production de grains par plant (6.15g).

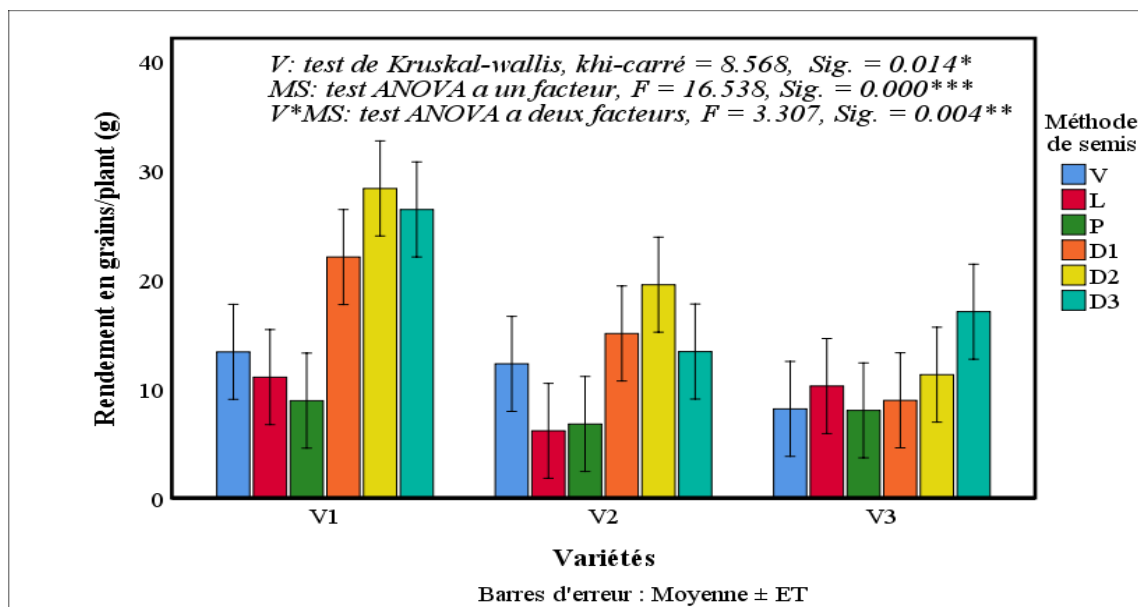


Figure 29. Variation du rendement en grains par plant en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Les résultats indiqués dans le tableau 11 affichent des différences significatives entre les trois variétés (V1, V2, V3) en termes de RGP. En effet, la V1 a démontré une supériorité (group a) en termes de rendement en grains par plant (18.36 g) par rapport au V2 (group b) et V3 (group c). Cette performance variétale pourrait s'expliquer par des variations de leur patrimoine génétique, ou refléter la plus grande adaptabilité de cette variété aux conditions agro-climatiques du site d'étude (Hamza et al., 2022). Autrement dit, l'augmentation de la production de grains par plant de ce génotype pourrait être étroitement liée à un plus grand nombre de panicules par plante (Hamza et al., 2022 ; Ali et al., 2020).

L'analyse des données démontre également une influence hautement significative ($P < 0.05$) des méthodes de semis sur la production en grains des plants (RGP). En effet, la mécanisation du semis de quinoa améliore la production en grain chez les plants de quinoa par la D2 et D3 avec des meilleurs rendements (19,72 g et 18,96 g respectivement). En revanche, les méthodes traditionnelles (V, L, P) présentent des RGP plus faibles, variant de 7,90 g à 11,27 g

Tableau 14. Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du rendement en grains/plant.

Effet des méthodes de semis sur le RGP			
MS (I) - Ms (J)	Difference moyenne (I-J)	Signification	Décision
D2 - V	8.4478*	0.000	***
D2 - L	10.566*	0.000	***
D2 - P	11.820*	0.000	***
D2 - D1	4.365	0.153	NS
D2 - D3	0.760	0.998	NS
D3 - V	7.687*	0.001	**
D3 - L	9.806*	0.000	***
D3 - P	11.060*	0.000	***
D3 - D1	3.605	0.331	NS
D3 - D2	-0.760	0.998	NS

Le test post hoc (tableau 14) signale que le rendement de la dose D2 du semis mécanique est environ 1.74 ; 2.15 et 2.49 fois plus important que celui des méthodes manuelles V, L

et P, respectivement. La différence réside essentiellement dans l'uniformité de répartition des graines et de l'espacement régulier, réduisant la compétition entre les plants et favorisent une absorption efficace des ressources, ce qui améliore le rendement en grains par plante (Wang et al., 2020). De même, des études menées par Dao et al. (2020) ont constaté que la productivité la plus élevée par plante (8,43 g) était obtenue sous faible densité dans le semis en crête (forme de sillon), qui repose sur la même idée de distribution des semences que le semis mécanique en lignes (faible densité et semis en lignes). D'autres études confirment la baisse progressive du rendement en grains par plant lors d'une augmentation de la densité de semis, du fait de la concurrence pour la lumière et les nutriments entre les plantes. L'interaction entre les variétés et les méthodes de semis est significative ($p < 0,05$) (figure 29), indiquant que la réponse des variétés varie selon la méthode de semis utilisée. Nos résultats suggèrent une meilleure adaptation de la variété V1 aux différentes doses de semis mécanique, particulièrement avec la dose D2, ce qui suggère une compatibilité entre cette variété et les conditions créées par ce mode de semis.

II.3.8. Rendement total de la culture

Les valeurs de rendement total (RT en qx/ha) sont significativement influencées par les différentes variétés et les modes de semis. Par contre, l'effet de l'interaction (V x MS) n'est pas significatif. La variété V1 présente le rendement le plus élevé avec 7,75 qx/ha, suivie par V2 (5,55 qx/ha) et V3 (2,48 qx/ha). L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des méthodes de semis sur le rendement total. Les méthodes manuelles à la volée et en ligne ont donné des rendements plus importants (8,98 qx/ha et 8,51 qx/ha respectivement, group a) par rapport à la méthode de semis mécanique, notamment la D1 qui a donné le rendement le plus faible (2,70 qx/ha).

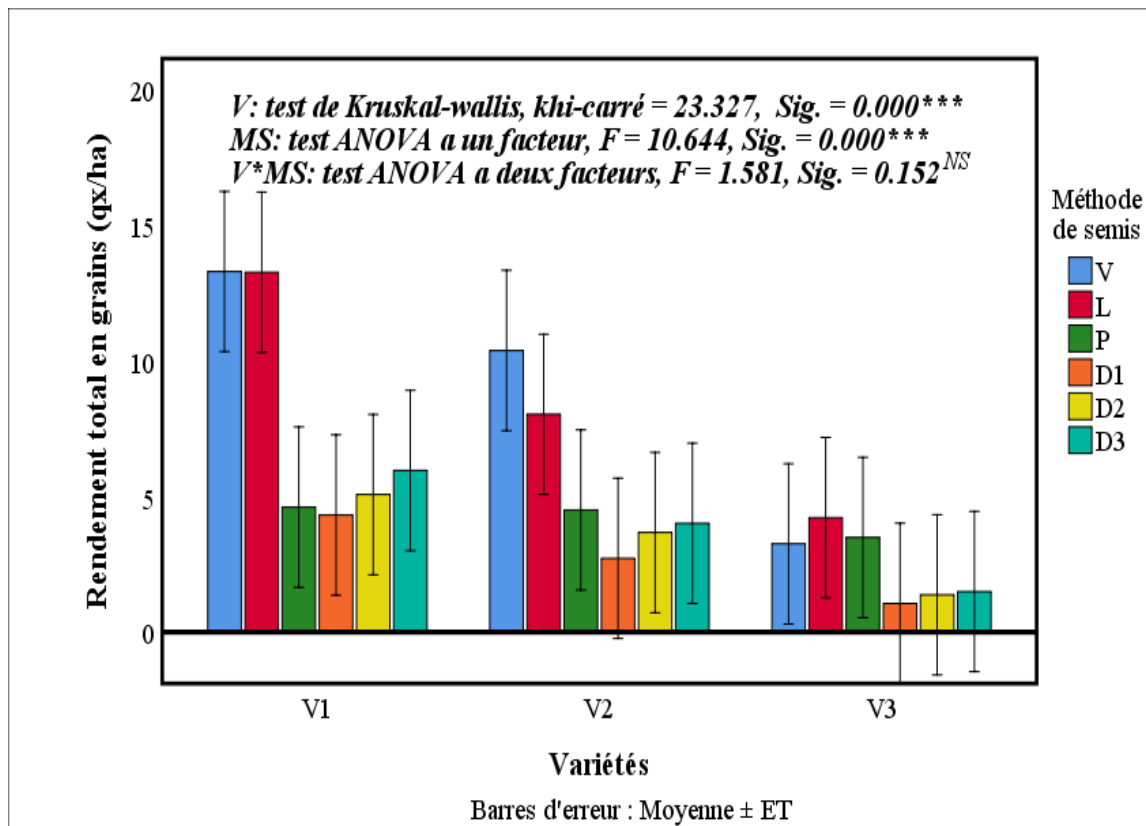


Figure 30. Variation du rendement total en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Nos résultats soulignent la supériorité de la variété V1, qui pourrait être toujours due à sa capacité supérieure à utiliser les nutriments et l'eau, ainsi qu'à sa tolérance aux conditions de culture. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Bazile et al. (2016 a), qui ont prouvé que certaines variétés de quinoa présentent des caractéristiques génétiques leur permettant de s'adapter plus facilement à des environnements spécifiques. Des résultats similaires ont été obtenus par Zurita-Silva et al. (2014), qui ont démontré que la variabilité génétique influence significativement le potentiel de rendement du quinoa. Des expérimentations réalisées par Bazile et al. (2016b) dans deux sites en Algérie, dans lesquels 13 génotypes ont été testés, affirment l'effet significatif de la variété sur le rendement et rappellent une production moyenne variant entre 1,65 t/ha et 0,26 t/ha.

Nos résultats ont fait ressortir que, les méthodes de semis manuel (V et L) à forte densité de semis ont permis d'obtenir les meilleurs rendements par rapport à celui du semis

mécanique avec faible dose de semis. Ceci peut s'expliquer par l'effet améliorateur de la densité de semis dû à la quantité élevée de semences. Dans ce contexte, des recherches récentes réalisées par Eisa et al. (2018) et Wali et al. (2022), rapportent une augmentation significative du rendement en graines par surface, en particulier sous haute densité.

La comparaison multiple par le test post hoc (tableau 15) révèle des écarts non significatifs entre les méthodes manuelles « V et L », statistiquement équivalentes (même group « a »). Les rendements obtenus par les semis mécaniques à densités variables (D1, D2, D3) sont significativement inférieurs à ceux des méthodes V et L, mais ne présentent pas de différence significative entre eux (groupe b).

Tableau 15. Comparaison multiple entre les méthodes de semis par le test Post hoc en fonction du rendement total.

Effet des méthodes de semis sur le RT MS (I) - Ms (J)	Difference moyenne (I-J)	Signification	Décision
V - L	0.471	0.999	NS
V - P	4.778*	0.004	**
V - D1	6.280*	0.000	***
V - D2	5.606*	0.000	***
V - D3	5.156*	0.001	**
L - V	- 0.471	0.999	NS
L - P	4.307*	0.011	*
L - D1	5.808*	0.000	***
L - D2	5.135*	0.002	**
L - D3	4.685*	0.005	**

Les données indiquent clairement que l'augmentation de la densité de semis augmente significativement le rendement jusqu'à un certain seuil (cas de D1 ; D2 et D3), mais une densité trop élevée peut avoir un effet délétère sur le rendement global de la culture, comme dans le cas des méthodes manuelles (cas de V et L), où il n'existe aucune différence significative entre les deux doses appliquées (15kg/ ha et 12 kg/ha) ; tout en

souligne l'importance cruciale de trouver l'équilibre optimal entre la densité de peuplement et le potentiel de rendement, mettant en évidence la nécessité d'une approche raisonnée dans la gestion de la densité de semis pour maximiser la productivité globale de la culture de quinoa. Ces résultats sont en accord avec les observations de Jacobsen et al. (2006) qui soulignent l'importance de la méthode de semis dans l'optimisation du rendement du quinoa. En outre, L'augmentation de RG/ha sous la méthode manuelle à la volée est directement liée à un NP/m² plus élevé à la récolte, conduisant à une augmentation significative du rendement en graines de quinoa (Hammad et al., 2021 ; Hamza et al., 2021).

L'interaction entre les variétés et les méthodes de semis s'est révélée non significative pour le rendement total. Cependant, certaines combinaisons ont montré des performances supérieures dont « V x V1 : 13,30 qx/ha », « V x V2 : 10,38 qx/ha » et « L x V1 : 13,27 qx/ha ». Ceci est probablement justifié par la capacité productive de la variété Giza II et sa plasticité aux conditions agro-climatiques de la région d'étude. Ces résultats rejoignent les conclusions de Choukr-Allah et al. (2016) qui ont mis en évidence l'importance de l'adaptation spécifique des variétés aux conditions de culture et aux pratiques agronomiques.

Malgré ces résultats prometteurs, les rendements observés restent faibles et inférieurs à ceux rapportés dans certaines régions traditionnelles de culture. Comme l'ont souligné Peterson et Murphy (2015) et Del Castillo et al., 2008, l'adaptation des pratiques culturales aux conditions locales reste un défi majeur pour l'optimisation du rendement du quinoa.

II.3.9. Poids de 1000 graines

D'après le tableau 11, une variation très hautement significative du PMG entre les variétés a été notée. Les résultats du test de Kruskal-Wallis ont indiqué des valeurs moyennes de PMG respectives de 4.11 g, 3.88 g et 2.90 g pour les variétés V1, V2 et V3. L'effet du facteur mode de semis sur le PMG est non significatif. Cependant, les résultats numériques montrent que le semis mécanique avec des doses variables (D1, D2 et D3) exprime des moyennes PMG intéressantes de l'ordre de 3,78 g, 3,82 g et 3,91 g respectivement, par rapport à celles obtenues par les méthodes manuelles. L'analyse des données montre une interaction très hautement significative entre les variétés et les méthodes de semis pour le

PMG, avec les meilleures combinaisons présentées par interaction D2 x V2 et L x V1, avec une valeur moyenne de 4.20g. inversement, les valeurs de PMG les plus faibles sont produites par la V3 semée manuellement (V3 x V :2.55g ; V3 x L : 2.50g et V3 x P :2.56g).

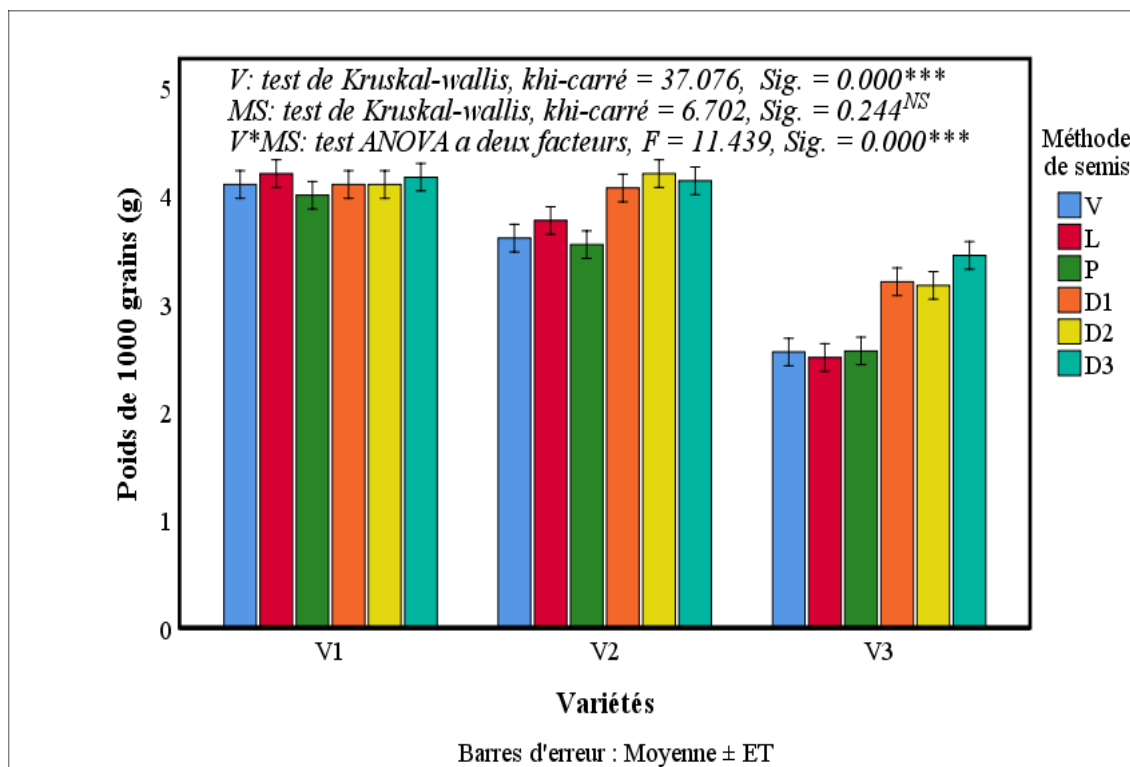


Figure 31. Variation de poids de 1000 graines en fonction des méthodes de semis et des variétés testées.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis affichent une variation significative entre les variétés examinées, en fonction du paramètre PMG, avec une supériorité marquée de V1. Ces résultats peuvent être justifiés par la grande diversité génétique entre les populations de quinoa (Ruiz et al., 2014). De ces résultats, on observe que V1 montre la meilleure performance en termes de PMG, ce qui suggère une plus grande efficacité dans le remplissage des grains. Cela souligne leur grand pouvoir d'adaptation, considérant que le PMG est fortement influencé par les conditions environnementales durant la phase de remplissage des grains (Dao et al., 2019). Ces résultats concordent avec ceux annoncés par Hamza et al. (2022). Les valeurs de PMG obtenues dans cette étude (4.11- 2.90 g) sont

supérieures à celles enregistrées par Oustani et al. (2023) dans les conditions arides d'Ouragla (PMG = 1.61-2,68 g).

Il a Ainsi été constaté que les différences de PMG dues à l'application des méthodes de semis étaient statistiquement non significatives. Cependant, les résultats indiquent que les plants de quinoa semés mécaniquement avec le semoir ont une taille de grain plus élevée que ceux obtenus avec les méthodes manuelles. Nos résultats sont proches de ceux enregistrés par Shoman (2018), qui a trouvé des valeurs de PMG compris entre 4,00 et 3,96 g, et a remarqué que la valeur la plus élevée du PMG est probablement due au rôle crucial de l'azote, qui contribue à l'augmentation des métabolites impliqués dans la construction des composantes du rendement. D'autre part, une tendance similaire a été obtenue par Biswas et al. (2021), qui ont observé que le poids de 1000 graines n'était pas affecté par les méthodes de semis appliquées. Autrement dit, les différentes méthodes de semis n'ont pas suffisamment impacté les conditions de remplissage pour modifier significativement le PMG. Par ailleurs, des études récentes n'ont pas signalé de différence significative entre les différentes pratiques agricoles (méthode et période de semis, application d'azote) en ce qui concerne le PMG. En revanche, elles estiment que ce paramètre est une caractéristique génotypique dépendant de la génétique des variétés de quinoa (Altuner et al., 2019 ; Ebrahimikia et al., 2021). Néanmoins, Ali et al. (2020) et Dao et al. (2020) ont étudié l'effet de différentes techniques de plantation sur le quinoa et ont constaté que le PMG était affecté par les techniques de semis, entraînant des effets significatifs.

L'analyse statistique (figure 31) montre que les variétés réagissent différemment aux méthodes de semis. En outre, l'interaction significative entre les deux facteurs pour le PMG peut être expliquée par la capacité d'adaptation spécifique de chaque variété aux différentes conditions créées par les méthodes de semis mettant en évidence non seulement la plasticité génotypique de l'espèce, mais aussi la nécessité d'évaluer les performances génotypiques dans chaque condition de culture. (Hussain et al., 2020).

II.3.10. Indice de récolte

L'analyse de la variance (tableau 11) de l'indice de récolte affiche un impact très hautement significatif entre les variétés ($P < 0.05$) sur ce paramètre. La variété V1 présente

un meilleur IR (36% ; groupe a), suivie de V2 (34% ; groupe a) et de V3 (21% groupe b). Aucun effet significatif n'est en revanche enregistré lors de l'application des différents modes de semis, les valeurs moyennes étant relativement proches et variant entre 28% et 32%. De même, l'effet de l'interaction (V x MS) est faible et non significatif.

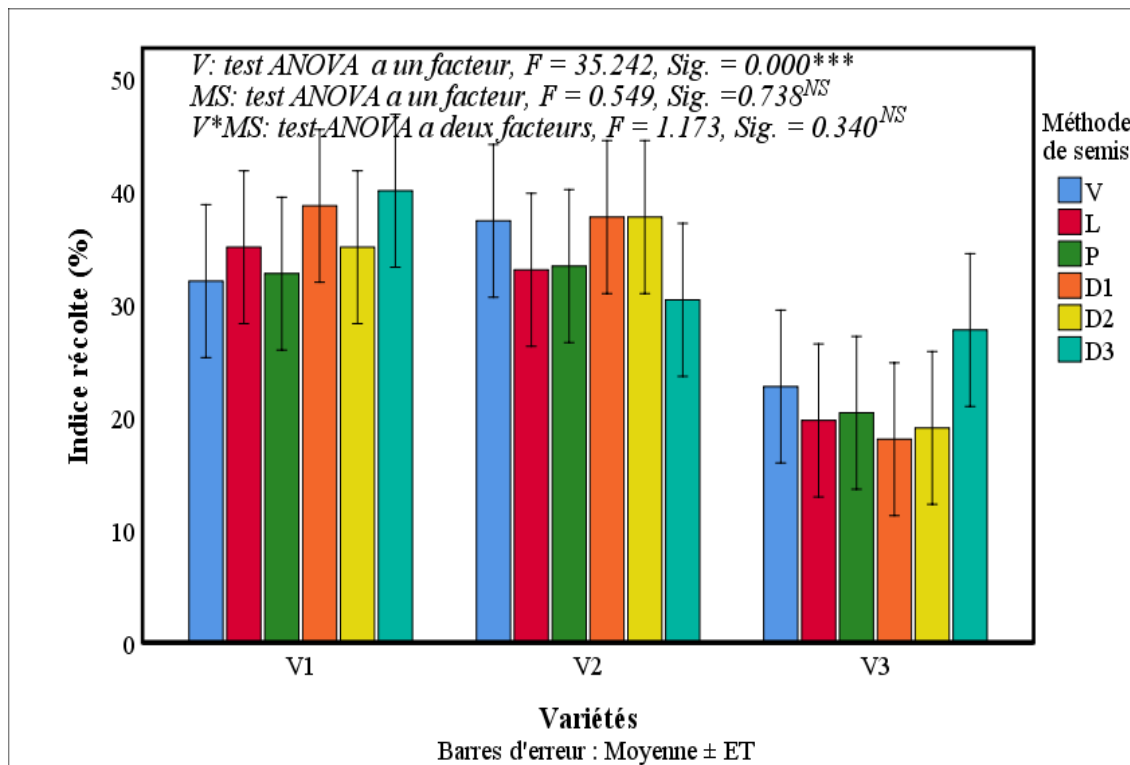


Figure 32. Variation de l'indice de récolte en fonction des méthodes de semis et des variétés testée

En tenant compte de la variété testée, l'indice de récolte varie significativement d'une variété à une autre, cette variation semble proportionnelle à la variation des composantes de rendement, notamment la biomasse sèche et la production en grain par plant. Elle est due essentiellement aux capacités différentes des variétés à convertir la biomasse en rendement en grains par plant, ce qui permet d'augmenter l'IR (Hamza et al., 2022 ; García-Parra et al., 2020). Ces résultats sont identiques à ceux observés par Hussain et al. (2020), qui ont déclaré que l'indice de récolte a fortement varié entre les génotypes et s'est situé entre 31,8% et 19,05%.

L'analyse statistique montre un effet non significatif (NS) des méthodes de semis sur l'IR. Nos résultats sont différents de ceux signalés par Ali et al. (2020), qui ont noté que les méthodes de plantation affectent significativement l'IR. Les valeurs de l'IR dans notre étude sont inférieures à celles de Maamri et al. (2022), qui varient entre 31% et 64%. La variation relative de l'IR peut également être liée aux faibles températures au moment de la floraison, qui ont un effet direct sur la répartition et l'accumulation de la matière sèche (Maamri et al., 2022 ; Oustani et al., 2023). Ce paramètre est en effet étroitement lié au rendement en grains de la plante et à sa biomasse sèche. Par conséquent, ce rapport entre les parties végétatives et reproductives pourrait être affecté par un certain nombre de pratiques agronomiques telles que la date de semis, la densité de plantation, la fertilisation et l'irrigation (Bhargava et al., 2007 ; Geren, 2015).

Les effets d'interaction non significatives entre les facteurs étudiés (figure 32) indiquent que les variétés maintiennent leur comportement relatif quelle que soit la méthode de semis, cela confirme que l'IR est fortement déterminé génétiquement, expliquant les différences significatives entre variétés, tandis que les pratiques culturales comme les méthodes de semis ont un impact plus limité sur ce paramètre. (Bhargava et al., 2007 ; Geerts et al., 2008).

II.3.11. Teneur en protéines des grains de quinoa

L'analyse de variance (tableau 11) montre un effet significatif ($P < 0.05$) des variétés sur la teneur en protéines. La variété V3 affiche la teneur la plus élevée avec 14,67% (groupe a), V2 présente une valeur intermédiaire de 13,85% (groupe b) suivie par V1 qui montre la teneur la plus faible de 13,37% (groupe b). D'autre part, l'analyse statistique indique que l'effet des méthodes de semis sur la teneur en protéines n'est pas significatif. Cependant, les résultats numériques montrent que le semis manuel à la volée favorise un meilleur TP (14,26 %) comparant aux autres méthodes, comme le semis en ligne (13,66%) et en poquet (13,88%). L'interaction V x MS présente un effet significatif ($P < 0,05$), indiquant que la réponse des variétés en termes de teneur en protéines varie selon la méthode de semis, avec les meilleures combinaisons présentées par, (D3 x V3 : 15,10 % et D1 x V3 : 15,05 %). Contrairement à cela, les combinaisons les moins performantes sont, (D3 x V1 : 12,57 % et P x V1 : 12,60 %).

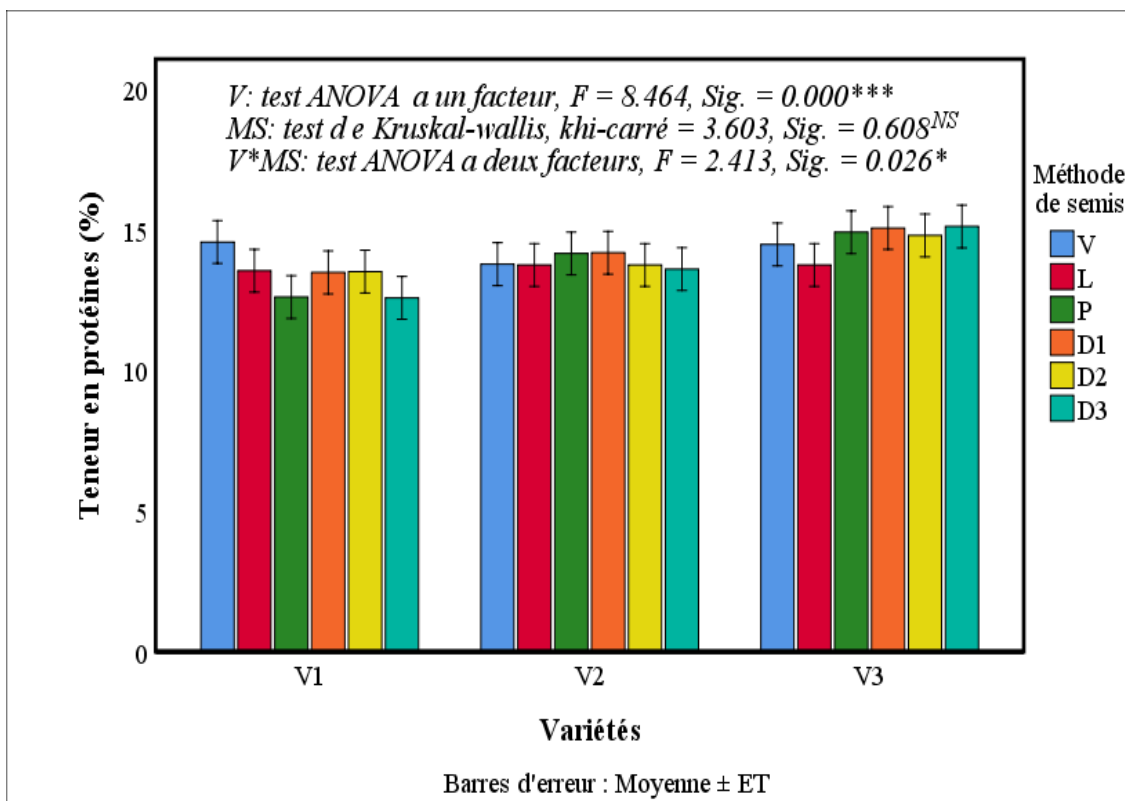


Figure 33. Variation de la teneur en protéines des grains de quinoa en fonction des méthodes de semis et des variétés testée

Les résultats révèlent une variation notable entre les variétés, cette variation génotypique significative de la teneur en protéines confirme les résultats de Präger et al. (2018) et Del Castillo et al. (2008), qui ont démontré que le contenu protéique est fortement influencé par le génotype. De même, Afzal et al. (2022) ont rapporté que les caractéristiques phénologiques et céréalières, ainsi que la qualité nutritionnelle des génotypes (variétés) de quinoa sont également diversifiés. Ils ajoutent que les teneurs en protéines varient de 11 à 16% dans les génotypes sélectionnés et adaptés au Pakistan. Angeli et al. (2020) ont également déclaré que la teneur en protéines des graines de quinoa variait entre 11 et 19%.

Selon les résultats du test kriskal wallis, aucun effet significatif des méthodes de semis pratiquées sur le TP n'a été enregistré. Cette absence d'effet significatif des méthodes de semis corrobore les travaux de Wang et al. (2020) qui ont constaté que les densités dans différentes techniques de semis seules n'influencent pas la teneur en protéines lorsque les autres conditions de culture sont optimales. A l'inverse, des recherches récentes indiquent

que les protéines des graines de quinoa sont fortement influencées par l'apport d'azote et qu'elles pourraient être encore améliorées avec des taux d'azote plus élevés (Shams, 2018 ; Ebrahimikia et al., 2021). Cela est principalement dû au rôle structural de l'azote dans la construction des acides aminés (Geren, 2015). D'un autre côté, l'analyse des données affiche une performance supérieure de la variété Q 105 lors du semis mécanique ($V3 \times D3$: 15.10% ; $V3 \times D1$: 15.05%) (figure33). La signification d'effet d'interaction ($V \times MS$) indique que le choix combiné de la variété et de la méthode de semis est crucial pour optimiser la teneur en protéines. Ces résultats sont alignés avec ceux de Masoni et al. (2007), qui ont noté l'importance de l'adaptation variétale aux méthodes de semis pour la qualité protéique du blé.

II.4. Interaction entre les paramètres de rendement

L'analyse de corrélation permet de comprendre le comportement et les relations entre les caractéristiques morphologiques et le rendement et ses composantes. Les coefficients de corrélation de Pearson entre les différents caractères sont présentés dans le tableau 16. Une corrélation positive significative est observée entre NP/m^2 et RT. Les résultats de cette analyse indiquent ainsi de fortes corrélations positives entre la HP et tous les caractères morphologiques (NPP, PS, PPP, RGP et IR) et de qualité (PMG et TP) à l'exception du RT. De même, il existe une corrélation positive entre le NPP, le PS et le PPP avec le RGP. La HPP est fortement corrélée au PPP (0.436**) et négativement corrélée avec l'IR. Les résultats de la corrélation de Pearson affichent une forte positive association entre le PS et le PPP ainsi qu'entre PS et le RGP (0.872** et 0.752** respectivement), le PPP étant positivement lié au RGP et à l'IR, et négativement corrélé avec le RT, le PMG et le TP. D'autre part, le RGP et le RT sont positivement corrélés avec le PMG et l'IR. Au contraire, l'IR est négativement lié au le TP.

Tableau16. Analyse de corrélation de Pearson des paramètres du rendement et de ses composantes selon les facteurs étudiés.

	NP/m ²	HP	NPP	HPP	PS	PPP	RGP	RT	PMG	IR	TP
NP/m ²	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP	-0.166	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPP	0.017	0.417**	1	-	-	-	-	-	-	-	-
HPP	-0.195	0.397**	0.204	1	-	-	-	-	-	-	-
PS	-0.250	0.643**	0.690**	0.221	1	-	-	-	-	-	-
PPP	-0.251	0.704**	0.482**	0.436**	0.872**	1	-	-	-	-	-
RGP	-0.009	0.339*	0.857**	0.123	0.752**	0.594**	1	-	-	-	-
RT	0.631**	-0.183	0.054	-0.108	-0.355**	-0.337*	0.010	1	-	-	-
PMG	0.155	-0.331*	0.438**	-0.165	-0.008	-0.154	0.471**	0.338*	1	-	-
IR	0.224	-0.448**	0.302*	-0.383**	0.206	0.329*	0.421**	0.370**	0.732**	1	-
TP	-0.083	0.278*	-0.238	0.202	0.078	-0.203	-0.259	-0.128	-0.462	-0.509**	1

L'analyse de corrélation de Pearson effectuée dans le tableau 16 souligne une corrélation positive et significative entre NP/m² et RT. Ceci révèle qu'une augmentation de la population végétale entraîne une hausse significative du rendement en grains. Les résultats obtenus sont en concordance avec ceux d'Altuner et al. (2019) et Hammad et al. (2021). Ils ont rapporté que la diminution du nombre de plants/m² affecte négativement le rendement en grains du quinoa. Dans notre étude, la HP plus élevée dans la culture de quinoa a eu un effet direct et positif sur différentes caractéristiques morphologiques et de rendement, indiquant que les plantes plus hautes ont également développé un plus grand nombre de panicules/plant. Ceci est attribué à la meilleure structure de la plante, avec un bon poids de la plante et de la panicule (PS, PPP), et naturellement a un bon rendement

(RGP), mais avec de petites tailles de graines (PMG). D'une manière générale, ces résultats concordent avec ceux signalés dans les études de Bhargava et al. (2007) et Oustani et al. (2023), confirmé par l'analyse de corrélation dans laquelle les paramètres morphologiques ont montré une relation positive avec le RGP, qui était positif et hautement significatif pour la plupart des caractères. Parmi les autres variables, il existe une association positive et significative entre la NPP et certaines composantes du rendement (PS, PPP, RGP, PMG et IR), ce qui indique que les plantes ayant la NPP la plus élevée ont la capacité d'améliorer leur production qualitativement (PMG, IR) et quantitativement (RGP) (Bhargava et al., 2007). D'autre part, Ali et al. (2020), ont également rapporté que le NP/m², la HP, le NPP et le PPP dans la culture du quinoa sont directement liés aux autres paramètres de production et que la corrélation positive entre ces variables est une indication claire de leur rôle dans l'augmentation et l'amélioration du rendement.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude menée met en lumière les opportunités et les défis liés à l'introduction et au développement de la culture du quinoa en Algérie. La diversification agricole, favorisée par la culture du quinoa, constitue une réponse stratégique aux enjeux de sécurité alimentaire et de développement durable.

Les essais sur la culture du quinoa en Algérie, réalisés dans des zones arides comme Biskra et Oued Souf, marquent une étape significative dans la recherche d'alternatives agricoles adaptées aux conditions climatiques et pédologiques extrêmes. Ces études ont permis d'abord de tester l'adaptabilité du quinoa, d'identifier les variétés les plus performantes et de proposer des stratégies culturales optimales. Les résultats obtenus ont révélé que le quinoa, grâce à sa tolérance aux stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité et les températures élevées, peut s'adapter à une variété de sols, allant des textures sableuses aux sols argileux, caractéristiques des zones sahariennes. Les essais menés dans les régions de Biskra et Oued Souf ont également démontré que les variétés comme Q102, Q 105 et Giza II, issues des programmes de coopération technique de la FAO, présentent une grande adaptabilité aux conditions locales, tout en offrant des rendements compétitifs. Le quinoa pousse et se comporte bien dans des milieux réels, et il existe une certaine volonté de la part des agriculteurs à essayer cette culture. Ils ont également constaté que les opérations culturales sont plus simples à maîtriser. Malgré les obstacles liés au manque de mécanisation, notamment lors des opérations de semis, de récolte et de transformation de la matière première en produit prêt à consommer, les agriculteurs envisagent d'étendre et d'intensifier cette culture et des perspectives de développement de cette culture sont prometteuses.

Le présent travail, portant sur l'effet de la mécanisation du semis, comparant aux méthodes de semis manuel, sur la croissance, le développement et la production en grains des trois variétés de quinoa, permet de conclure que ces variétés ont réagi de manière significative aux méthodes de semis manuel et mécanique avec différents taux de semis. Les variétés testées ont montré des différences notables en termes de tolérance aux conditions locales, de précocité et de productivité. En effet, la variété égyptienne (Giza II) a démontré une grande aptitude d'adaptation et de production en quantité (NP/m², NPP, RGP, RT, PMG

et IR). Par contre, la variété péruvienne (Q105) a présenté de bonnes performances en termes de caractéristiques agronomiques (HP, HPP, PS et PPP) et nutritionnelle (TP).

L'utilisation de semoirs lors du semis mécanique, comparée aux méthodes traditionnelles, s'est avérée plus efficace, permettant de réduire les pertes de semences et d'optimiser les rendements. Au terme de notre recherche, nous avons constaté que l'application de la méthode mécanique avec des doses ajustées a conduit à une augmentation significative de la plupart des paramètres étudiés, notamment du HP, du NPP, du HPP, du PS, du PPP et du RGP. En outre, l'étude des interactions entre les variétés de quinoa (V) et les modes de semis (MS) a révélé des résultats significatifs, soulignant l'importance de ces deux facteurs dans l'optimisation des performances agronomiques de la culture. Les résultats ont montré que le choix du mode de semis optimal dépend fortement de la variété utilisée. En effet, le Q105 a obtenu ses meilleurs rendements avec un semis mécanique à doses modérées. Le Giza II a montré une meilleure réponse aux semis mécanisés avec des doses élevées. Cependant, les analyses montrent également que la réussite de cette culture repose sur plusieurs facteurs clés, une préparation minutieuse du sol incluant l'utilisation de fumier organique ou minéral adapté, le choix des variétés en fonction de leur précocité et de leur capacité d'adaptation, ainsi qu'une gestion optimale des techniques culturales, particulièrement le semis, où la mécanisation s'avère indispensable pour améliorer la productivité et réduire les coûts.

En conclusion, même si les essais d'introduction de cette nouvelle culture en Algérie sont encore à l'échelle expérimentale, ils bénéficient d'un soutien institutionnel, notamment à travers les initiatives de l'ITDAS et les collaborations avec la FAO. Ces initiatives ont confirmé que cette culture constituait une alternative viable et durable pour diversifier les productions agricoles, renforcer la sécurité alimentaire et valoriser les terres sahariennes. Toutefois, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour réussir l'intégration du quinoa à grande échelle. En termes de vulgarisation et d'amélioration des techniques culturales, il est impératif de combiner les innovations agronomiques pour surmonter les contraintes liées à la mécanisation, à l'accès aux semences de qualité et à la diffusion des bonnes pratiques auprès des agriculteurs. Cela permettra de positionner cette culture comme un pilier stratégique pour le développement agricole et économique des zones arides du pays.

Références

bibliographiques

Références bibliographies

1. Afzal, I., Basra, S. M. A., Rehman, H. U., Iqbal, S., & Bazile, D. (2022). Trends and limits for quinoa production and promotion in Pakistan. *Plants*. 11(12), 1603. <https://doi.org/10.3390/plants11121603>.
2. Afzal, I., Haq, M. Z. U., Ahmed, S., Hirich, A., & Bazile, D. (2023). Challenges and perspectives for integrating quinoa into the agri-food system. *Plants*, 12(19), 3361. <https://doi.org/10.3390/plants12193361>.
3. Aguilar, P. C., & Jacobsen, S. E. (2003). Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. *Food Reviews International*. 19(1-2), 31-41. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018866>.
4. Ahmadzai, H. (2020). Trends in Quinoa Adoption in Marginal Areas: An Assessment of Economic Viability and Policy Outlook. *Journal of Agribusiness and Rural Development*. 57(3), 235-247. <https://doi.org/10.17306/J.JARD.2020.01351>
5. Aidat, T., Benziouche, S. E., Cei, L., Giampietri, E., & Berti, A. (2023). Impact of Agricultural Policies on the Sustainable Greenhouse Development in Biskra Region (Algeria). *Sustainability*, 15(19), 14396. <https://doi.org/10.3390/su151914396>
6. Alan, B. (2011). Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security. In 37th FAO conference.
7. Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global food security*. 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
8. Ali, S., Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Iqbal, B., Rehman, M., Nawaz, M., & Amin, M. Z. (2020). Growth, biomass production, and yield potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting techniques under irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*. 14, 427-441. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00094-5>.
9. Altuner, F., Oral, E., & Kulaz, H. (2019). The impact of different sowing-times of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its varieties on the yield and yield components in Turkey-Mardin ecology condition. *Applied Ecology and*

- Environmental Research, 17(4), 10105-10117.
http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_1010510117.
10. Amri, k. (2023). Le patrimoine architectural saharien vernaculaire, adaptabilité au contexte local et performance thermique. Le cas de la région du souf. Thèse de doctorat. Université Saad Dahleb, Blida-01
 11. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., ... & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*. 9(2), 216.
<https://doi.org/10.3390/foods9020216>
 12. Bakroune, N. 2021. L'entomofaune des céréales dans la région de Biskra. Ecologie des populations des principaux bioagresseurs. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra.
 13. Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (2015). State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013. Rome, FAO, Santiago, Chile, CIRAD, Montpellier, France.
 14. Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Verniau, A. (2016 a). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science*. 7, 622.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>.
 15. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov O, Otambekova M, Sepahvand, N.A., Shams, A., Souici, D., Miri, K. and Padulosi, S. (2016 b). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science*. 7, 850.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>.
 16. Bencheikh, A. (2017). Intensification et mise en valeur pour une agriculture durable dans les régions arides. Thèse de doctorat. ENSA.
 17. Benlhabib, O. (2005). Les cultures alternatives : quinoa, amarante et épeautre. *Transfert de technologie en agriculture*, 133, 1–4.

18. Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019, pp.82. ffal-02137632f
19. Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). Quinoa: botany, production and uses. CABI, Wallingford, UK.
20. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products*, 23(1), 73-87.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>.
21. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 101(1), 104-116.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>.
22. Biswas, P. K., Fatema, K., & Rahman, A. (2021). Influence of Planting Method and Nitrogen Dose on Growth and Yield of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Bangladesh Agronomy Journal*. 24(1), 83-92.
<https://doi.org/10.3329/baj.v24i1.55548>
23. Boubir, H. M. N., & Farhi, A. (2009). Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien. *Environnement Urbain*, 3, c-1.
24. Bouchahm, N., Hecini, L. & Kherifi, W. (2016). Adoucissement des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien : cas de la région de Biskra. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 29(1), 37–48.
<https://doi.org/10.7202/1035715ar>
25. Bouchemal, F., Bouchahm, N., & Achour, S. (2011). Qualité des eaux des nappes aquifères de la région de BISKRA. *Rev. Sci. Fond. Appl*, 3(1), 34-44.
26. Cauda, C., Micheletti, C., Minerdo, B., Scaffidi, C., & Signoron, E. (2013). Quinoa in the kitchen. *FAO, Slow Food*.
27. Chandra, S., Dwivedi, P., Baig, M. M. V., & Shinde, L. P. (2018). Importance of quinoa and amaranth in food security. *Journal of Agriculture and Ecology*, 5, 26-37.

28. Choudhary, S., Birla, D., Pramanick, B., & Choudhary, M. (2020). Quinoa: a potential crop for nutritional security. *Just Agriculture e-Newsletter*. 1(2), 93-100.
29. Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S., & Butt, K. U. R. (2016). Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia regions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00346>.
30. Ciftci, S., Zulkadir, G., Gökçe, M. S., Karaburu, E., Bozdağ, E., & Idikut, L. (2020). The effect of row distances on quinoa yield and yield components in the late planting period. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 1(4), 37-42.
31. Dao, A., Nebié, L., Sanou, J., Guira, A., Gnanda, A., & Kando, C. (2019). Évaluation du potentiel de rendement du quinoa en milieu paysan et perception des producteurs sur sa culture et son utilisation. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 38(1).
32. Del Castillo, C., Mahy, G., & Winkel, T. (2008). La quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente “bio-équitable”. *BASE*, 12 (4), 421-435.
33. Ebrahimikia, M., Jami Moeini, M., Marvi, H., Hasheminejhad, Y., & Ghasemzadeh Ganjehie, M. (2021). Agro-physiological response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to the nitrogen application rate and split application method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(4), 3437-3450. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00618-6>.
34. Eisa, S. S., Abd El Samad, E. H., Hussin, S. A., Ali, E. A., Ebrahim, M., González, J. A., Ordano, M., Erazzú ,L.E., El-Bordeny,N.E., & Abdel-Ati, A. A. (2018). Quinoa in Egypt-plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. *Middle East Journal of Applied Sciences*. 8 (2), 115-522.
35. El-Harty, E. H., Ghazy, A., Alateeq, T. K., Al-Faifi, S. A., Khan, M. A., Afzal, M., Alghamdi, S.S., & Migdadi, H. M. (2021). Morphological and molecular characterization of quinoa genotypes. *Agriculture*, 11(4), 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040286>

36. Fagandini Ruiz, F. (2019). Distribution des parents sauvages du quinoa cultivé en lien avec les pratiques et usages des communautés andines dans la région de Puno au Pérou. Thèse de doctorat. AgroParisTech.
37. Farhi, A. (2002). Biskra : de l'oasis à la ville saharienne (Note). Méditerranée, 99(3), 77-82.
38. Gacemi, M.A. (2016). Introduction and assessment of Quinoa in Algeria: Field trial evaluation of eleven *Chenopodium quinoa* genotypes grown under Mediterranean conditions (Algeria). Algeria: National Institute of Agronomic Research. In International Quinoa Conference. from <http://www.quinoaconference.com/sites/default/files/Gacemi-Algeria.pdf>.
39. Garcia M, Condori B., & Del Castillo C. 2015: agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in south America. Quinoa: Improvement and Sustainable Production, 25-46.
40. García-Parra, M., Zurita-Silva, A., Stechauner-Rohringer, R., Roa-Acosta, D., & Jacobsen, S. E. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship with agroclimatic characteristics: A Colombian perspective. Chilean journal of agricultural research, 80(2), 290-302. <http://dx.doi:10.4067/S0718-58392020000200290>
41. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., & Taboada, C. (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European journal of agronomy, 28(3), 427-436. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.008>
42. Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. Turkish Journal of Field Crops. 20(1), 59-64. <https://doi.org/10.17557/39586>.
43. Guehiliz, N. (2023). Pratiques phytosanitaires et évaluation du risque d'exposition aux pesticides des ruminants nourris à base de céréales et sous-produits traités dans la région de Biskra. Thèse de doctorat. Université Mohamed khider de Biskra.

44. Hadeid, M., Bellal, S. A., Ghodbani, T., & Dari, O. (2018). L'agriculture au Sahara du sud-ouest algérien : entre développement agricole moderne et permanences de l'agriculture oasienne traditionnelle. *Cahiers Agricultures*, 27(1), 15005.
45. Hammad, E. A., Abo-Elwafa, A., Morsy, A. S. M., & Awadalla, A. (2021). Response of Quinoa Yield and Seed Chemical Composition to Planting Dates and Densities under the Climatic Conditions of Aswan Governorate. *Journal of Plant Production*. 12(9), 973-979. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.202611>.
46. Hamza, A., Usman, K., Malik, M. W. I., Saad, M., Ghulam, S., Khan, Z., & Ullah, A. (2022). Response of quinoa genotypes to sowing dates and sowing methods under agroclimatic condition of Dera Ismail Khan, KP Pakistan. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 68(13), 1903-1913 <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1939018>.
47. Haros, C. M., & Schoenlechner, R. (2017). *Pseudocereals: chemistry and technology*. Wiley-Blackwell, UK.
48. Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4), 106. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>.
49. Hussain, M. I., Muscolo, A., Ahmed, M., Asghar, M. A., & Al-Dakheel, A. J. (2020). Agro-morphological, yield and quality traits and interrelationship with yield stability in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under saline marginal environment. *Plants*, 9(12), 1763. <https://doi.org/10.3390/plants9121763>
50. Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Liu, F. (2012). Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 128, 34-47. doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.001
51. Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., & Song, S. (2019). Quinoa: In Perspective of Global Challenges. *Agronomy*. 9 (4),176. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>.
52. Kholadi, M. K. (2005). SIG pour le suivi de la remontée des eaux de la wilaya d'El Oued Souf. *Congrès internationale en Informatique appliquée CiiA*, 5.
53. Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., & Bazile, D. (2022). Adaptation of some quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), grown in a

- saharan climate in Algeria. Life. 12(11), 1854.
<https://doi.org/10.3390/life12111854>.
54. Mahmoud, A. H. (2017). Production of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the marginal environments of South Mediterranean region: Nile Delta, Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 57(3), 329-337. DOI :10.21608/EJSS.2017.436.1062
 55. Masoni, A., Ercoli, L., Mariotti, M., & Arduini, I. (2007). Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *European journal of agronomy*, 26(3), 179-186.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.09.006>.
 56. Mehda, S., Oustani, M., Bouazza, S., & Djaballah, I. (2023). Effect of sowing dates on the vegetative growth and yield parameters of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes. *Journal of Agriculture and Applied Biology*. 4(1), 95-106.
<http://dx.doi.org/10.11594/jaab.04.01.10>.
 57. Messekher, I. S. H. A. K., Chabour, N. A. B. I. L., & Menani, R. (2012). Remontée de La Nappe Phréatique Du Souf. Conséquences et Solutions Envisagées. *Ann. Univ. Buchar. Geogr. Ser*, 179-197.
 58. Murphy, K. S., & Matanguihan, J. (2015). *Quinoa: Improvement and sustainable production*. John Wiley and Sons, New Jersey, USA.
 59. Ouendeno, M. L. (2019). L'agriculture irriguée au Souf–El Oued (Algérie): acteurs et facteurs de développement. *Journal algérien des régions arides (JARA)*, 13(2), 114-128.
 60. Ould rebai, A. (2019). Conception et mise en œuvre d'une démarche d'ingénierie en appui aux innovations des acteurs locaux : cas du pivot d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara Algérien). Thèse de doctorat. ENSA.
 61. Oustani, M., Mehda, S., Halilat, M. T., & Chenchouni, H. (2023). Yield, growth development and grain characteristics of seven Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*, 13(1), 1991. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29039-4>.

62. Pando, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2, 17-18.
63. Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, 8(10), 197. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>.
64. Pulvento, C., & Bazile, D. (2023). Worldwide evaluations of quinoa—Biodiversity and food security under climate change pressures: Advances and perspectives. *Plants*, 12(4), 868.
65. Rahal-Bouziane, H., Chedjerat, A., & Laaboudi, A. (2020). Introduction of Quinoa in Algeria. [Technical Report]. Project TCP/RAB/3403. MADRP/FAO. <https://www.researchgate.net/publication/346041268>.
66. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S-E., & Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable development*, 34, 349-359. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>.
67. Sajjad, A., Munir, H., Ahmed Anjum, S., Tanveer, M., & Rehman, A. (2014). Growth and development of chenopodium quinoa genotypes at different sowing dates. *Journal of Agricultural Research* (03681157), 52(4).
68. Shams, A. S. (2018). Preliminary evaluation of new quinoa genotypes under sandy soil conditions in Egypt. *Agricultural Sciences*, 9(11), 1444-1456. <https://doi.org/10.4236/as.2018.911100>.
69. Shitikova, A. V., Kukharenskova, O. V., & Khaliluev, M. R. (2022). The crop production capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)—A new field crop for Russia in the non-chernozem zone of Moscow's urban environment. *Agronomy*, 12(12), 3040. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123040>.

70. Singh, U., Praharaj, C. S., Ram, D., Jat, N. K., & Kumar, M. (2021). Agronomic Manipulations for Cultivation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Biology and Biotechnology of Quinoa: Super Grain for Food Security*, 113-129.
71. Sosa-Zuniga, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 117-124. <https://doi.org/10.1111/aab.12358>.
72. Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E. B., Wellman, G., Melino, V. J., Patiranage, D. S. R., Johansen, K., Schmöckel, S. M., Bertero, D., Oakey, H., Colque-Little, C., Afzal, I., Raubach, S., Miller, N., Streich, J., Amby, D.B., Emrani, N., Warmington, M., & Quinoa Phenotyping Consortium. (2021). Quinoa phenotyping methodologies: An international consensus. *Plants*. 10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>.
73. Strenske, A., Vasconcelos, E. S. D., Egewarth, V. A., Herzog, N. F. M., & Malavasi, M. D. M. (2017). Responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds stored under different germination temperatures. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(1), 83-88. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30989>.
74. Taaime, N., Rafik, S., El Mejahed, K., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., Bouabid, R., & El Gharous, M. (2023). Worldwide development of agronomic management practices for quinoa cultivation: a systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1215441. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1215441>
75. Taaime, N., Rafik, S., El Mejahed, K., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., Bouabid, R., & El Gharous, M. (2023). Worldwide development of agronomic management practices for quinoa cultivation: a systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1215441. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1215441>.
76. Taylor, J. R., & Awika, J. (Eds.). (2017). *Gluten-free ancient grains: cereals, pseudocereals, and legumes: sustainable, Nutritious, and health-promoting foods for the 21st century*. Woodhead publishing.
77. Temel, S., & Yolcu, S. (2020). The effect of different sowing time and harvesting stages on the herbage yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Turkish Journal of Field Crops*, 25(1), 41-49. <https://doi.org/10.17557/tjfc.737503>.

78. Toral, A. V. (2014). Partir et cultiver : essor de la quinoa, mobilités et recompositions rurales en Bolivie. IRD éditions.
79. Wali, A. M., Kenawey, M. K., Ibrahim, O. M., & El Lateef, E. A. (2022). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) under new reclaimed soil conditions at north-western coast of Egypt. Bulletin of the National Research Centre, 46(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00724-0>.
80. Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C., & Qiao, L. (2020). Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. Agronomy, 10(3), 445. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030445>.
81. Yazar, A., Sezen, S. M., Bozkurt Çolak, Y., Ince Kaya, Ç., & Tekin, S. (2017). Effect of planting times and saline irrigation of quinoa using drainage water on yield and yield components under the Mediterranean environmental conditions. International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 4(8), 8-16.
82. Zaaboubi, S., Khiari, L., Abdesselam, S., Gallichand, J., Kebede, F., & Kerrache, G. (2020). Particle Size Imbalance Index from Compositional Analysis to Evaluate Cereal Sustainability for Arid Soils in Eastern Algeria. Agriculture, 10(7), 296. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070296>.
83. Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. E., & Schwember, A. R. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Molecular Breeding, 34, 13-30. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0023-5>.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : fiche d'enquête.

جامعة محمد خيضر - بسكرة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة – قسم العلوم الزراعية

Thème : Mécanisation des semis de quinoa : essai d'adaptation d'un semoir conventionnel

Date : N° de l'enquête :

1- L'âge de l'enquêté ? |_|_|ans

2- Le niveau d'études de l'enquêté ?

1. Analphabète ;
2. École coranique et/ou primaire ;
3. Niveau moyen ;
4. Niveau secondaire ;
5. Niveau universitaire.

3 Région (wilaya) :

4. Combien d'années, en tout, avez-vous travaillé en agriculture ? |_|_| **Années**

5. Nombre d'années d'expérience en céréaliculture ? |_|_| **Années.**

6. **Culture des céréales**

Culture	Blé dur	Blé Tendre	L'orge	Triticale	L'avoine	Sorgho	Maïs	Quinoa
Non /oui								
Si, oui Superficie								

Culture de quinoa

7. Combien d'année pratiquez-vous la culture de quinoa ?

1. 01 (Une) année:
2. 02 (Deux) années ;
3. 03 (Trois) années ;
4. 04 (Quatre) années ;
5. 05 (Plus de quatre années, précisez.....)

Pratique cultural

8. quel est le type de votre sol ?

1. Sableux
2. sableux argileux
3. limon sableux
4. autres : (précisez...).

9. faites- vous les analyses du sols et d'eau avant le semis ?

1. Non.
2. Oui.

10. si, oui ; quel type d'analyse faites- vous ?

1. les analyses physiques
2. les analyses chimiques
3. les analyses physico- chimiques
4. autres (précisez ...).

11. pratiquez-vous de labour

3. Non.
4. Oui.

12. **Si, oui**, quel type de labour pratiquez-vous ?

1. laboure superficiel
2. laboure profond

13. avec quel outil faites-vous le labour

1. charrue à disque
2. charrue à soc

3. autres : (précisez...).

14- Fertilisation

Avant le semis				Au Cours De cycle		
Engrais Organique		Engrais minérale		Types D'engrais	Dose/ha	Stade D'intervention
Volaille		NPK				
Bovin		Urée 46%				
Ovin		TSP %				
		Autres (précisez...).				

15. pratiquez- vous d'autres travaux du sol ?

1. Non.
2. Oui.

16. **si, oui** ; quelles sont les travaux que vous pratiquez ?

Source des variétés cultivées

17. Quelles sont les ressources d'approvisionnement en semences de cette compagne ?

1. ITDAS
2. ITGC
3. DSA
4. autres : (précisez...).

18. Quels sont les variétés de quinoa les plus fréquentes dans votre exploitation agricole ?

Quelles est (sont) la variété (s) que vous cultivez ?

19. Avez-vous l'habitude de prendre connaissance aux informations sur la variété cultivée ?

1. Non.

2. Oui.

20. si, oui ; sur quelle base décidez-vous de choisir la (es) variété (s)

1. PMG (poids de mille graines)

2. faculté germinative

3. variété : précoce, intermédiaire, tardive.

4. capacité de production.

5. résistance aux facteurs biotique et abiotiques.

21. Connaissez-vous l'ITDAS (l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne)

1. Non ;

2. Oui.

22. **Si, oui**, connaissez-vous son système de vulgarisation ?

1. Non ;

2. Oui.

semis

23. quel type de culture pratiquez-vous ?

1. culture en plain champs

2. culture sous serre

3. autres (précisez.....)

24. Quel type de semis pratiquez-vous

1. semis manuel

2. semis mécanique

25. si, vous pratiquez le semis mécanique ; Avec quel outil faites-vous le semis ?

1. semi- mécanique (semoir manuel)

2. mécanique (semoir de céréale)

3. autres (précisez.....)

26. Dans quel mois semez-vous ?

27. Les paramètre de semis

Dose de Semis /ha	Profondeur de Semis (cm)	Distance entre lignes (m)	Distance interligne (entre les plantes) cm	Densité de Plantation (Nombre de plant / m ²)

Gestion de la culture

28. Quel est le mode d'irrigation pratiquez- vous ?

- 1.aspersion
2. goutte à goutte
- 3.submersion

29. Combien d'heure irriguez- vous par jour

1. une heure
2. deux heures
- 3.trois heures
4. quatre heures
5. plus de quatre heures (précisez...).

30. Quelle est la fréquence d'irrigation par semaine ?

1. une fois par semaine
2. deux fois par semaine
3. trois fois par semaine
4. plus de trois fois par semaine (précisez...)

Protection phytosanitaire

31. Pratiquez- vous le désherbage ?

1. Non
2. Oui

32. si, oui, quel est types de désherbage pratiquez -vous ?

1. Manuel
2. Mécanique
3. Chimique

33. A quel période (stade) s'intervenir ?

34. Avez- vous des problèmes phytosanitaires dans votre exploitation agricole

1. Non
2. Oui

35. Si, oui, Quels sont les problèmes phytosanitaires de la culture de quinoa les plus fréquents dans votre exploitation agricole

1. Maladies
2. Ravageurs
3. Oiseaux
4. Autres

36. Pour protéger vos cultures, recourez-vous à la lutte intégrée dans la protection phytosanitaire (*L'utilisation des moyens cultureaux, biologiques, chimiques et physiques dans la lutte*)

1. Non ;
2. Oui

Récolte

37. Dans quel mois récoltez-vous ?

38. Quel type de récolte pratiquez-vous

1. Récolte manuelle
2. Récolte mécanique

39. si, vous pratiques la récolte mécanique ; Avec quel outil faites-vous la récolte

40. Quel est le rendement obtenez- vous par hectare ?

41. Quelle est la destination de vos rendement (semences)

1. Commercialisations
2. Utilisation personnelle
3. Autres

Annexe 02 : données météorologiques enregistrés sur la station de fêlieche au cours de l'expérimentation de compagne 2.

Months	Min. Temperature (°C) (9 h)	Max. Temperature (°C) (21h)	Humidity (%) (9ha)	Humidity(%) (21h)	Dew point (9h) C°	Dew point (21h) C°
dec	5,4	17,6	57,5	35,3	-2,42	2,04
jan	5,97	20,68	56,22	37,45	0,52	5,54
fev	12,05	23,43	52,95	34,59	2,21	6,75
March	11,98	24,22	57,79	35,56	2,67	7,68
April	18,12	29,82	47,75	30,83	6,24	10,51
May	21,83	29,75	71,83	51,25	16,33	18,6
Total (Season)	75,35	145,5	344,04	224,98		
Average (Season)	12,558333333	24,25	57,34	37,496666667	4,2583333333	8,52

Annexe 03 : essais de quinoa dans la région de Biskra et d'Oued Souf (ITDAS, 2019-2020)



Annexe 05 : quelques photos du site expérimental pour les deux essais (Original, 2019/2020 et 2020/2021).





African Journal of Biological Sciences



Effect of mechanical and Manuel sowing on quinoa yield and yield components in arid region southeast Algeria.

Mahdjouba Habbas¹. Hassina H. Boukhalfa²

¹ Laboratory Ecosystems Diversity and Dynamics of Agricultural Production Systems in arid zones, University of Biskra BP 145 RP, 07000 Biskra, Biskra, Algeria.

mahdjouba.habbas@univ-biskra.dz

² Laboratory Promotion of Innovation in Agriculture in Arid Regions, University of Biskra, Biskra BP 145 RP, 07000 Biskra, Algeria.

h.boukhalfa@univ-biskra.dz

***Correspondence** should be addressed to Mahdjouba HABBAS:

Adresse : Sidi moussa, Dahra- CHLEF

Tel : +213774902347

Email: mahdjouba.habbas@univ-biskra.dz

Abstract

Quinoa is recognized as a complete, nutritious, and healthy food with considerable genetic variability and adaptability to adverse soil and climatic conditions. Successful quinoa cultivation relies significantly on the sowing method employed. This study, conducted during the 2020/2021 cropping season at the Experimental Annex of the Technical Institute for the Development of Saharan Agriculture in Feliache, Biskra, aimed to evaluate the impact of mechanical and manual (broadcasting, rows, and group) sowing methods on the yield and yield components of quinoa. The experiment, utilizing the GIZA II variety, was designed in a randomized complete block format with three replications. Statistical analysis revealed that the broadcasting method yielded significantly greater plant numbers/m² and grain yield/ha compared to other methods. Noteworthy variations among treatments were observed concerning yield attributes, with mechanical sowing producing the highest number of plants, maximum panicles/plant, greater main panicle weight, and grain yield/plant. However, no significant effects of sowing methods on dry weight/plant, thousand grains weight, and harvest index were detected. Moreover, significant and positive correlations were identified between plant number and seed grain yield. Seed yield/plant exhibited significant positive correlations with plant height, panicles/plant, dry weight/plant, and main panicle weight. The results affirm that mechanical sowing outperformed other methods, showcasing superior outcomes.

Keywords: Arid Region, Quinoa, Mechanization, Sowing Methods, Yield Components.

Article History

Volume 6, Issue 5, Apr 2024

Received: 22 Apr 2024

Accepted: 29 Apr 2024

doi: [10.33472/AFJBS.6.5.2024.2124-2147](https://doi.org/10.33472/AFJBS.6.5.2024.2124-2147)

Introduction

Addressing food security and achieving self-sufficiency in the face of the ever-increasing world population are primary objectives for research in the current century (Ruiz et al., 2014; Yazar et al., 2017). With projections indicating a global population of nine billion within the next few decades, the urgency of these concerns is amplified, particularly given the existing challenges of starvation in underdeveloped countries and the plight of over two billion individuals experiencing undernourishment due to inadequate diets (Ruiz et al., 2014).

In 1996, the Food and Agriculture Organization (FAO) classified quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as one of humanity's most promising crops, recognizing its beneficial properties and versatile uses (Alan, 2011). Positioned as an alternative to addressing serious problems in human nutrition, quinoa emerges as a crucial contributor to improving food security. Noteworthy aspects such as its low production cost (Angeli et al., 2020), nutritional properties, and diverse uses (Haros and Schoenlechner, 2017; Stanschewski et al., 2021) make quinoa an attractive candidate for sustainable agriculture.

Despite its virtues, quinoa remains one of the most underutilized crops among new-world crops. Originating from the Andes in South America, *Chenopodium quinoa* Willd. exhibits remarkable adaptability and development in extreme weather conditions, including drought, high salinity, and frost (Del Castillo et al., 2008; Cauda et al., 2013; Murphy and Matanguihan, 2015). Its ability to thrive in diverse environments, including lowlands, deserts, and altitudes exceeding 4000 meters above sea level, makes quinoa a valuable crop, especially in drought-prone areas of Africa (Maliro et al., 2017; Bazile et al., 2016a; Alandia et al., 2020).

Introduced to Algeria in 2014 as part of an FAO project, quinoa cultivation underwent experimental trials in eight locations across four institutions, each with distinct agro-ecological characteristics (Maamri et al., 2022). These trials focused on evaluating the adaptability and agronomic performance of quinoa under natural conditions in various regions (Maamri et al., 2022; Mehda et al., 2023). Varied studies explored aspects such as variety performance, sowing dates, water and salt stress, and other parameters

influencing yields (Bazile et al., 2016b; Ahmadzai, 2020; Oustani et al., 2023; Gacemi, 2016).

In the evolution of quinoa cultivation practices, sowing has emerged as a crucial stage influencing plant density and final yields (Alan, 2011). Traditionally reliant on manual sowing methods, the surge in demand for quinoa has prompted a shift toward mechanized systems. The manual sowing of quinoa, characterized by the small size of its seeds, has proven laborious, intensive, and requiring high seeding rates (Afzal et al., 2022). Additionally, rising demand has led to price hikes, tripling quinoa seed prices over the last two decades (Alandia et al., 2020; Afzal et al., 2022; Präger et al., 2018).

The transition to more mechanized production methods, particularly in sowing, poses a significant challenge for quinoa growers in developing countries. This study aims to evaluate the impact of mechanical seeding on quinoa crop growth, yield, yield components, and productivity in an arid region, comparing it to three manual seeding methods commonly employed by farmers. This investigation addresses the evolving landscape of quinoa cultivation, providing insights into the potential benefits of mechanization for enhancing agricultural practices and ensuring food security.

Materials and methods

Pedo-climatic conditions of the experimental field

The trials were conducted during the 2020/2021 growing season at the experimental annex of the Technical Institute for the Development of Saharan Agriculture in Feliache (34°82'N, 5°77'E), situated 10 km from the capital of the municipality of Biskra in southeastern Algeria. Before the installation of the experimental device, soil samples were collected at depths of 0-20 cm and 20-40 cm for physicochemical analysis. Soil analysis was performed at the Soil Laboratory of the Scientific and Technical Research Centre for Arid Regions (STRCAR) and the Soil Laboratory of the Agronomic Sciences Department at Biskra University, revealing a loam texture. The physico-chemical characteristics of the soil are presented in Table 1.

Table 1. Physico-chemical characterization of the soil.

Characteristic	Value
----------------	-------

Clay (%)	20
Loam (%)	40.5
Sand (%)	39.5
Texture class	Loam
pH (1/5)	7.35
CE (1/5) (ms/cm)	4.33
Total N (%)	0.064
P ₂ O ₅ (ppm)	332.72
K ₂ O (ppm)	15.37

Climatic Data

Climatic data, including temperature, relative humidity, and dew point, were recorded by sensors placed 1.5 meters above the soil in the middle of the experimental area. The trial period (November 2020 - May 2021) experienced cold and dry conditions, with average minimum and maximum temperatures of 12.55°C and 24.25°C, dew points of 4.25°C and 8.52°C, and relative humidity ranging from 24.25% to 57.34%. Local climat information are given in Figure 1.

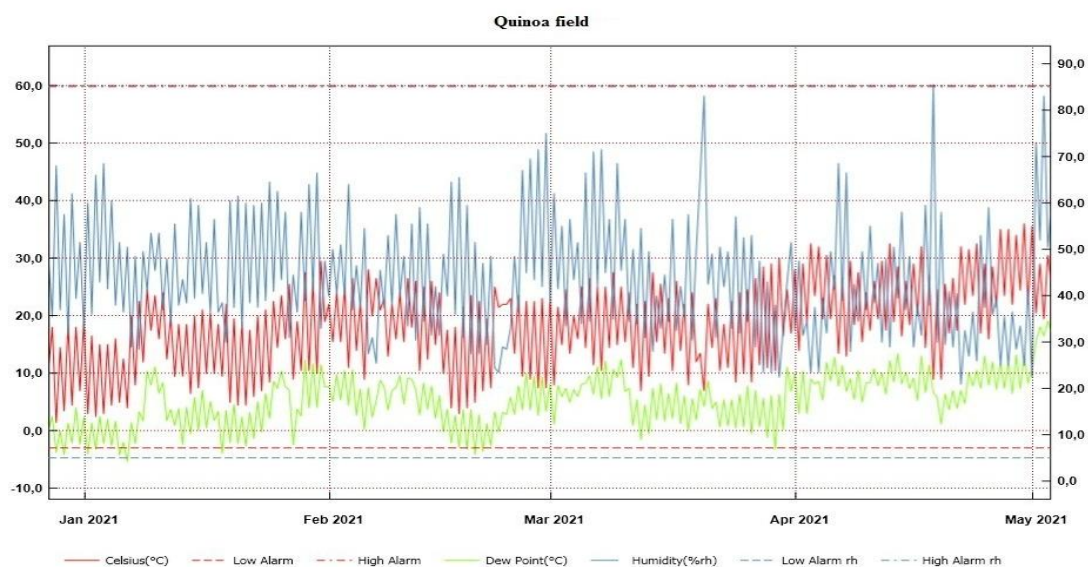


Figure 1. Daily climate data of the experimental field during trial conduction.

Vegetal Material and Germination Test

Quinoa seeds of the Giza II variety from the Technical Institute for Development of Saharan Agriculture in Biskra (ITDAS) were used for the trial. Germination tests were conducted with 25 seeds per Petri dish in four replicates. The seeds, manually selected to eliminate damaged or deformed ones, were placed on filter paper, kept moist, and subjected to a hot, humid, and dark environment at 25°C. The germination rate, determined after a week, averaged 98%.

Soil Preparation and Experimental Device

To ensure a high-quality seed bed, the soil underwent deep plowing (40 cm) using a disc plow, followed by two cross passages of cover crop for clod destruction and thorough mixing with the basal fertilizer (200 kg ha⁻¹ of NPK 20.20.20). The experimental device, arranged in random blocks with three replicates, consisted of units measuring 36 m² (3 m x 12 m) for mechanical row sowing and 6 m² (3 m x 2 m) for manual sowing. Each plot, whether mechanical or manual, had 9 rows spaced 33 cm apart.

Cultivation Plant

Sowing of experimental plots occurred on November 14th, 2020, using either mechanized or manual methods. For manual sowing, three methods—Row, Broadcast, and Group—were employed, with seed rates of 12 kg, 15 kg, and 6 kg per hectare, respectively. Mechanized sowing utilized a cereal row seeder with a working width of 3 m and 21 rows spaced 14.28 cm apart, resulting in a seed rate of 1.70 kg ha⁻¹, equivalent to a density of 32 plants m⁻². Nitrogen fertilizer (urea 46%) was added four weeks after emergence at a rate of 130 kg ha⁻¹. Weed control was manual, with no herbicides used. Drip irrigation, applied every 2 to 4 days for 3 to 4 hours, ensured proper moisture levels.

Measurements

At the harvesting stage in mid-April, 10 samples from each plot were taken for the quantification of the number of plants at harvest (NP m⁻²). The harvested plants were air-dried for 7 to 15 days, and various measurements were obtained, including dry matter (PDW), plant height (PH), number of panicles per plant (NPP), main panicle length (MPL) and weight (MPW), grain yield per plant (GYP), total grain yield (GY), thousand grain weight (TGW), and harvest index (HI %).

Statistical Analysis

Data analysis was performed using IBM SPSS version 20.0 software for Windows. Mean $\pm$ Standard deviation (mean $\pm$ SD) of three replicates was reported. Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Kruskal-Wallis test. Shapiro-Wilk's test checked the normal distribution of all parameters ($P > 0.05$). Tukey's LSD test at $P < 0.05$ was used to compare treatment means. Pearson's correlation analysis assessed the relationships between yield and component traits.

Results and discussion

Number of plants at harvest

The variation of the average NP m⁻² for each sowing method is presented in “Figure 2”, Large significant differences ($p < 0.05$) were observed between the seeding methods tested in terms of NP m⁻². The highest average NP m⁻²(78.67) was obtained in broadcasting method, while the mechanical sowing produced minimum average of NP m⁻²(24.30).

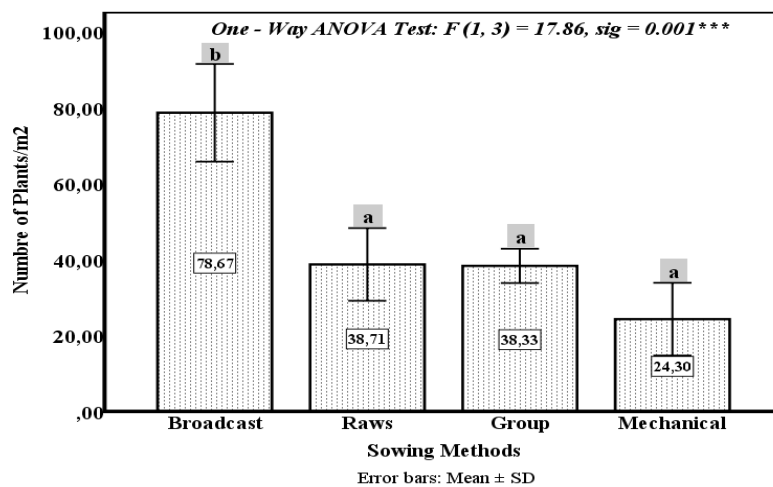


Figure 2. Variation of number of plants as a function of sowing methods.

The statistical analyses of the data reveal a notable increase in plant population density per m² with rising planting density, particularly under high density using the manual broadcasting method. Despite the mechanical mode employing a seeding dose eight times lower than that of broadcasting sowing (1.70 kg ha⁻¹ compared to 15 kg ha⁻¹), the difference in plant population was only 3.23 times less. Notably, the three sowing methods (broadcasting, row, and group) belong to the same group "a," suggesting no

seeding dose effect between these methods “Table 2”. These findings, which present a plant population higher than that reported by Mehda et al. (2022), suggest variations in NP m⁻² under similar agronomic conditions in the arid region of Ouargla, southeast Algeria.

Table 2. Multiple comparisons of means with post hoc tests.

Sowing	methods	PN/m ²	PH	NPP	MPL	MPW	GYP	GY	TGW	HI
Broadcast	Rows	39.95*	3.23 ^{NS}	-0.66 ^{NS}	-10.83 ^{NS}	1.79 ^{NS}	2.31 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.11 ^{NS}	-3.27 ^{NS}
	Group	40.33*	4.00 ^{NS}	-0.26 ^{NS}	-1.50 ^{NS}	2.09 ^{NS}	4.47 ^{NS}	8.69*	0.19 ^{NS}	-0.68 ^{NS}
	Mchanical	54.37*	-11.03*	-3.46*	-6.00 ^{NS}	-5.82 ^{NS}	-8.68 ^{NS}	8.98*	-0.10 ^{NS}	-6.59 ^{NS}
Mechanical	Broadcast	-54.37*	11.03*	3.46*	6.00 ^{NS}	5.82 ^{NS}	8.68 ^{NS}	-8.98*	0.10 ^{NS}	6.59 ^{NS}
	Rows	-14.41 ^{NS}	14.26*	2.80 ^{NS}	-4.83 ^{NS}	7.62*	11.00*	-8.95*	0.21 ^{NS}	3.31 ^{NS}
	Group	-14.03 ^{NS}	15.03*	3.20 ^{NS}	4.50 ^{NS}	7.92*	13.15*	-0.29*	0.29 ^{NS}	5.90 ^{NS}

Difference in means according to Tukey and LSD test. asterisk “*” and “NS” represent significant and non-significant, respectively, at $P < 0.05$. plants number m⁻² (PN), plant height (PH), number of panicles/plant (NPP), main panicle length (MPL), plant dray weight (PDY), main panicle weight (MPW), grain yield/plant (GYP), grain yield (GY), thousand grain weight (TGW) and harvest index (HI).

Plant height

The data presented in “Figure 3” shows significant variation between different methods, the effect of sowing techniques on the plant height was found significant the highest value was obtained by the mechanical seedling plants (88.53 cm) and the lowest by group method (73.50 cm)

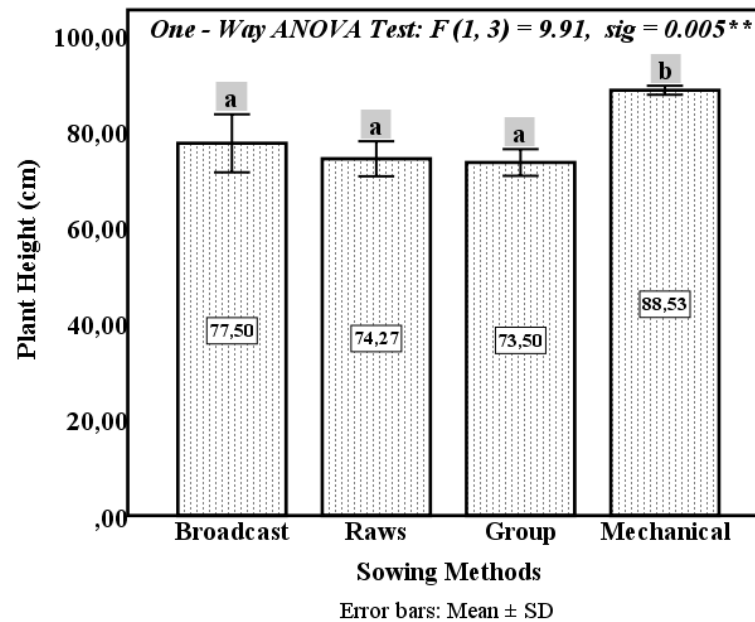


Figure 3.variation of plant height as a function of sowing methods.

Concerning sowing methods, mechanical sowing with low density resulted in taller plants compared to manual methods such as broadcasting, row, and group sowing “Table 2”. Higher density sowing generally leads to weaker and smaller plants (Aguilar and Jacobsen, 2003). The increased seed density in manual methods may be attributed to reduced light quality, nutrient absorption, and plant competition (Wang et al., 2020). Environmental conditions, including temperature and precipitation, have been noted in other studies (Ciftci et al., 2020; Ali et al., 2020; TemelandYolcu, 2020; Maamri et al., 2022), to play a crucial role in plant height.

Number of panicles per plant

The results show that large differences ($p < 0.05$) were observed between sowing methods in terms of panicles number/plant “Figure 4”. The highest NPP were observed in the mechanical seedling technique with an average number of (9,067); while the lowest NPP were produced by broadcasting technique with an average of (5.60) panicles/plant.

were produced by broadcasting technique with an average of (5.60) panicles/plant.

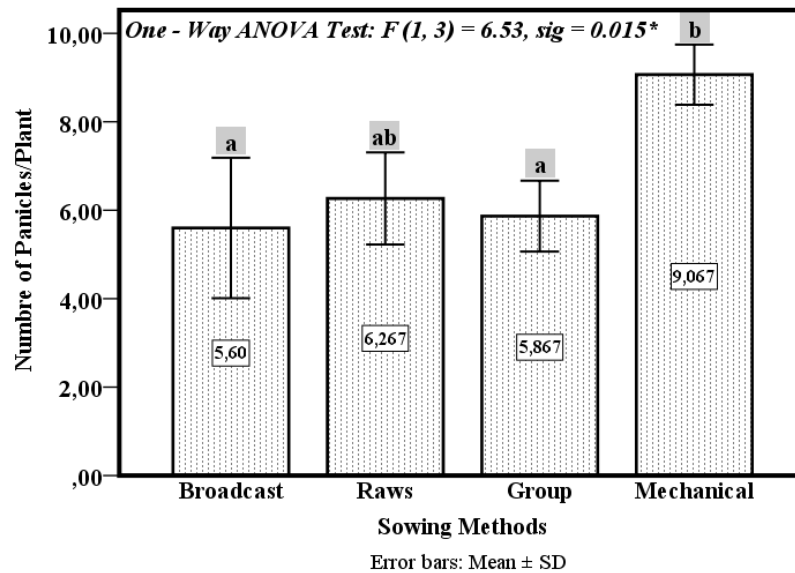


Figure 4. Variation of panicles number per plant as a function of sowing methods

Mechanical sowing in rows caused an increase in NPP (Figure 4), consistent with the findings of Hamza et al. (2021). This increase is attributed to the homogeneous distribution of seeds, supporting root system development and deeper roots compared to other methods (Ali et al., 2020; Hamza et al., 2022). Similar results were reported by Dao et al. (2020), showing an increase in the number of branches and panicles under low-density rates. Lower plant density led to increased branching and, consequently, a higher proportion of panicles (Wali et al., 2022).

Main panicle length

As can be seen in Figure 5, it was found that in which different methods sowing, was statistically insignificant in term of MPL. The maximum average of MPL was recorded in row sowing method (25.12 cm), followed by mechanical seedling (20.29 cm) While broadcasting method produced the minimum MPL (14.29 cm).

broadcasting method produced the minimum MPL (14.29 cm).

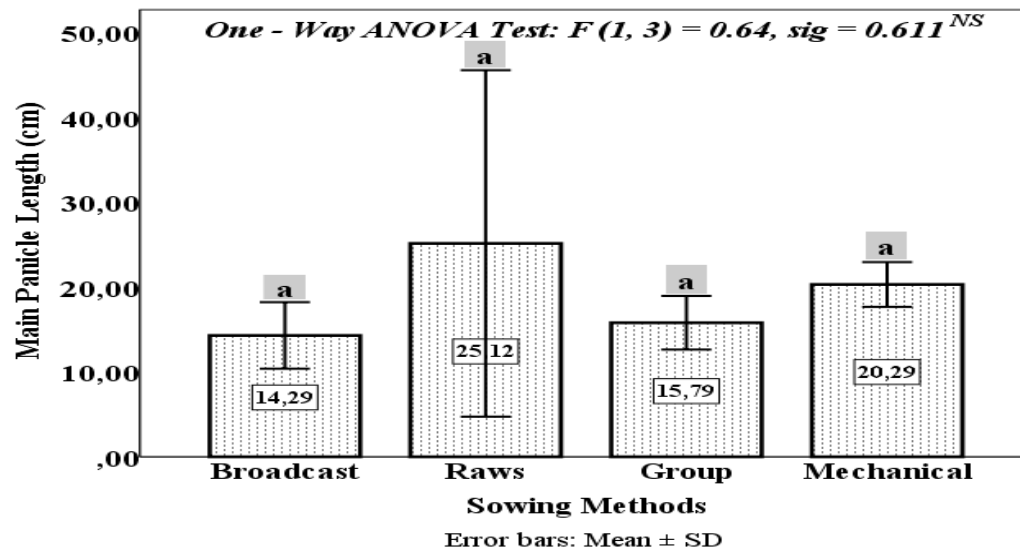


Figure 5.variation of main panicle length as a function of sowing methods.

Main panicle length results indicated no significant effect of sowing techniques “Figure 5”. However, quinoa sown in rows (seedling) produced lengthier panicles in both manual and mechanical seedlings compared to other tested techniques. These findings align with the results of Biswas et al. (2021), who reported higher panicle length in seedling planting. Conversely, Ali et al. (2020) noted that the panicle length in the bad seed technique performed relatively better, indicating the positive effect of homogeneous seed distribution on this parameter.

Plant dry weight

Dry weight per plant was found to be insignificantly affected by sowing methods. the plots sown by the seeder (mechanical seedling) were superior (57.27 g) to the rest of the planting techniques, followed by broadcasting, group and raw method.

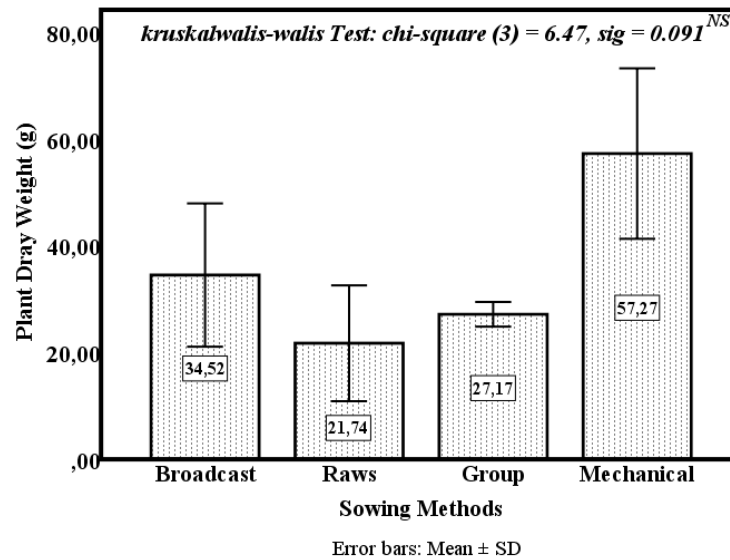
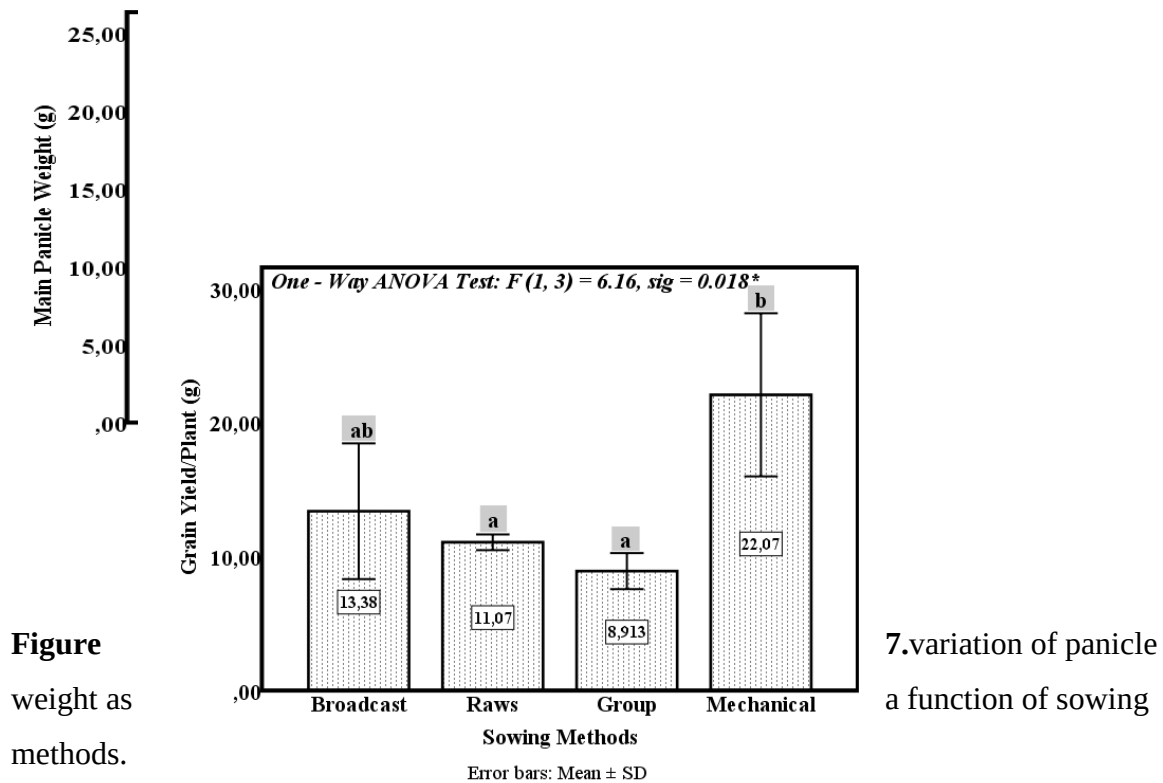


Figure 6.variation of dry weight as a function of sowing methods.

Statistical analysis showed that values of PDW were statistically insignificant, with the greater dry weight obtained with the lower dose in mechanical sowing. Our results are consistent with Wang et al. (2020), who reported that plant density had no effect on the dry matter of quinoa leaves and stems. Improvements in dry matter were attributed to irrigation, nitrogen rate, and plant density.

1.1. Main panicle weight

Difference between quinoa samples obtained from trial was found statistically significant in term of MPW “Figure 7”. It has been observed that the MPW varies between (17.66 g) as highest value produced by mechanical method, and the lowest value produced by group method (9.74g).



The present results indicate a significant effect between different methods tested ($P < 0.05$), with the mechanical technique producing higher MPW compared to other sowing methods “Table 2”. Our findings align with those of Ali et al. (2020), suggesting that MPW is significantly affected by sowing techniques based on homogenous seed distribution. Moreover, the lower density in the mechanical technique was identified as the best sowing technique that resulted in the maximum MPW “Figure 7”. These results are in accordance with Ciftci et al. (2020), who noticed that the decrease in plant density significantly improves panicle weight. However, our findings are lower than those reported by Sajjad et al. (2014) and Mehda et al. (2022), who found higher MPW values.

1.2. Grain yield per plant

The application of mechanical sowing methods significantly increased the seed yield per plant of quinoa compared to the Manuel methods ($p < 0.05$). Where the highest seed yield (22.07 g) was obtained by mechanical sowing and the lowest seed yield (8.91 g) produced in the plots sown in group technique as Shawn in “Figure 8”.

Figure 8.variation of grain yield per plant as a function of sowing methods

The results show that mechanical seedling had a positive significant effect on GYP “Table 2” compared with the rest of the techniques. Mechanical sowing (22.07 g/plant) produced GYP 1.64, 1.99, and 2.47 times higher than that under broadcasting, row, and group methods, respectively. The increase in GYP can be explained by the combination of taller PH, higher NPP, and MPW, as observed in the mechanical method (Oustani et al., 2023). Dao et al. (2020) found that the highest productivity per plant (8.43 g) occurred under low-density rates in ridge sowing, which had the same idea of seed distribution as mechanical rows sowing (low density and sown in rows). Other studies confirm that seed yield per plant decreases with increasing plant density due to competition for light and nutrients (Wang et al., 2020). Ali et al. (2020) reported that the low yield might be due to soil compaction by flooding irrigation and poor development of the root system in other techniques, negatively affecting the yield.

Grain yield

According to the values obtained, there was significant variation of seed yield, it was considerably influenced by the sowing methods “Figure 9”. whereas the maximum seed rate (broadcasting and rows) recorded the highest values of seed yield (13.30 and 13.27 qx/ha) at seed rates of 15 and 12 kg/ha. Which was increased the yield by about 8.70 and 9 qx /ha “Table 2” more than the lowest seed rates (6kg/ha and 1.70 kg/ha) in group and mechanical methods, with yield of (4.61 and 4.32 qx/ha) respectively.

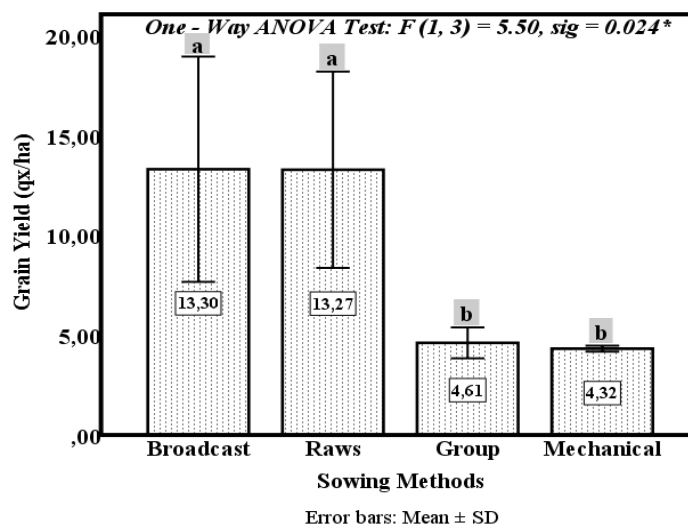


Figure 9.variation of total yield as a function of sowing methods

The results of the research clearly indicate that the increase in sowing density significantly improves GY. These results are in harmony with those achieved by Sayed et al. (2018) and Wali et al. (2022), reporting a significant increase in seed yield per area, especially under high density. The seed yield per hectare under low density in the mechanical method (4.32 qx ha^{-1}) significantly decreased, being 3 times less compared with the high sowing density of broadcasting. However, the seeding dose applied in mechanical mode was 8 times lower than those applied in broadcasting. Meanwhile, quinoa seed yield did not differ significantly ($P > 0.05$) between the group method and mechanical sowing on the one hand, and between broadcasting and rows on the other hand “Table 2”. The greater GY ha^{-1} under high sowing rows in the manual method was reported to a higher NP m^{-2} at harvest, leading to a significant increase in seed yield of quinoa (Hammad et al., 2021; Hamza et al., 2021). The results of total grain yield recorded in this field trial remain different compared to the yields obtained in studies carried under similar conditions in Algeria (sowing in November, in arid regions, sowing density of 15 kg ha^{-1} , and irrigation with a drip system), where the GY ranged from (2.8 t ha^{-1}) to (9.6 qx ha^{-1}) (Mahda et al., 2022; Oustani et al., 2023). The variation in yield between these trials might be due to the response of quinoa genotypes to different agro-climatic conditions (temperature, rainfall, soil humidity, soil, and water salinity) (Oustani et al., 2023) and a number of management factors (soil preparation, sowing methods, application of irrigation, nature and level of fertilizers) (Ali et al., 2020; Präger et al., 2018).

Thousand grain weight

In this study, the impact of sowing methods on the TGW of quinoa was determined to be statistically insignificant ($p > 0.05$). According to these results, the thousand weights varied between 3.80 and 4.10 g “Figure 10”.

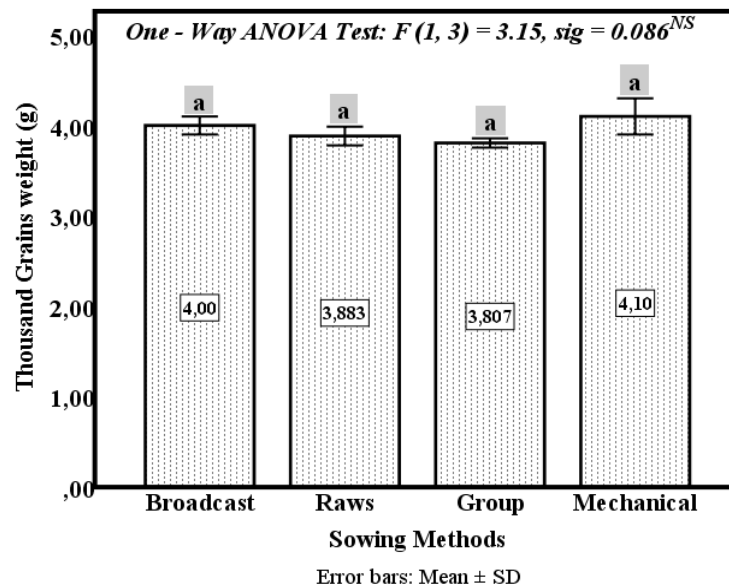


Figure 10. Effect of sowing methods on thousand grains weight.

In the data from our study, it was noted that the differences in the weight of a thousand grains due to applications of sowing methods were statistically insignificant. However, the results indicate that the crop sown with a seeder machine had a higher grain size (4.10 g) than all other sowing methods. Our results are close to those recorded by Shoman (2018), who found TGW ranging between 4.00 and 3.96 g, and noticed that the higher value of TGW is probably due to the critical role of nitrogen, contributing to the increase in metabolites employed in building yield components. A similar trend was obtained by Biswas et al. (2021), who observed that the analyses of 1000-seed weight were not affected by the planting method applied. The obtained results are in concordance with previous studies that reported no significant difference between different agricultural practices (nitrogen application and sowing time) in relation to the TGW. Likewise, they considered that this parameter is a genotypic characteristic dependent on quinoa genetics and cultivar (Altuner et al., 2019; Ebrahimikia et al., 2021;). On the other hand, Ali et al. (2020) and Dao et al. (2020) studied the effect of different planting techniques on quinoa

and found that the 1000-seeds weight was affected by the planting technique, resulting in significant effects.

Harvest index

The application of different sowing methods was found statistically insignificant in term of harvest index “Figure 11”. The numerically higher harvest index (47.26%) was observed in broadcasting sowing compared to that of group method (33.01%).

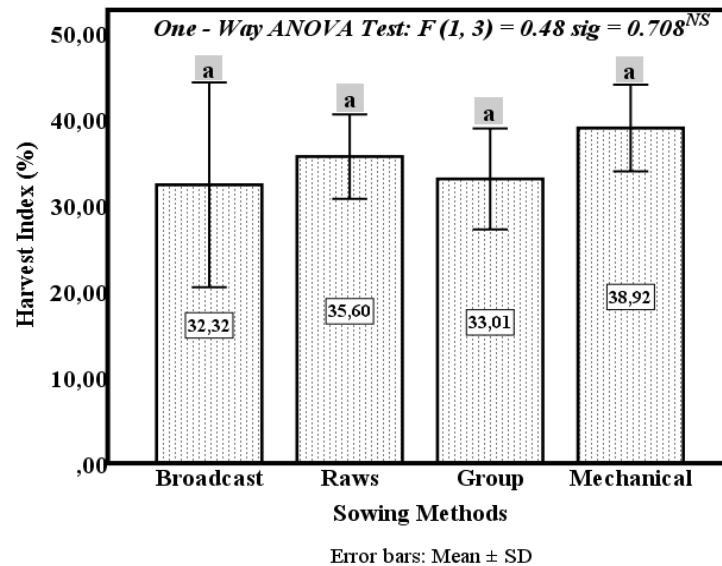


Figure 11. Effect of sowing methods on harvest index.

The present results reveal that no significant variations for HI are observed between the four sowing methods. The HI values in our case were lower compared to those of Maamri et al. (2022), which varied between 31% and 64%. The relative variation of HI can also be related to the low temperatures at the time of flowering (Maamri et al., 2022; Oustani et al., 2023). This parameter was directly linked to the grain yield of the plant and the dry weight of this plant. Therefore, this ratio between vegetative and reproductive parts might be affected by a number of agronomic practices such as sowing date, plant density, fertilization, and irrigation (Bhargava et al., 2007; Geren, 2015). These results confirmed those obtained in previous research by Wali et al. (2022) showing that the response of quinoa in terms of the harvest index was unaffected by nitrogen application.

Interaction Between Yield Parameters According to Sowing Methods

Correlation analysis was performed to understand the behavior and relationships between morphological characteristics, yield, and yield components according to the applied sowing methods. Pearson correlation results “Table 3” showed strong positive correlations between morphological parameters and grain yield. A significant positive correlation was observed between NP and GY. PH showed a significant relationship with NPP, PDY, MPW, GYP, and TGW. Similarly, there was a positive correlation between NPP with PDY, MPW, and GYP, and PDY with MPW and GY. A strong and positive correlation was noted between MPW and GYP.

Table 3. Pearson Correlation analysis of yield and yield components parameters of quinoa

	GY	PN/m ²	PH	NPP	MPL	PDW	MPW	GYP	TGW	HI
GY	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PN/m ²	0.661*	1	-	-	-	-	-	-	-	-
PH	-0.421	-0.359	1	-	-	-	-	-	-	-
NPP	-0.340	-0.464	0.728**	1	-	-	-	-	-	-
MPL	0.038	-0.205	0.272	0.350	1	-	-	-	-	-
PDY	-0.474	-0.338	0.710**	0.684*	-0.185	1	-	-	-	-
MPW	-0.467	-0.398	0.774**	0.744**	0.213	0.882**	1	-	-	-
GYP	-0.109	-0.239	0.587*	0.727**	0.049	0.734**	0.809**	1	-	-
TGW	-0.176	-0.078	0.763**	0.388	0.214	0.395	0.543	0.448	1	-
HI	0.521	0.402	-0.253	-0.150	-0.343	-0.183	-0.198	0.355	-0.065	1

*correlation Significant at $P < 0.05$, **highly significant at $P < 0.01$, among grain yield (GY), plants number m⁻² (PN), plant height (PH), number of panicles/plant (NPP), main panicle length (MPL), plant dray weight (PDY), main panicle weight (MPW), grain yield/plant (GYP), thousand grain weight (TGW) and harvest index (HI).

Regarding the Pearson correlation analysis performed “Table 3”, a significant positive correlation was observed between PN and GY. This reveals that an increase in PN significantly increases grain yield. The obtained results are in concordance with Altuner et al. (2019) and Hammad et al. (2021). They reported that the decrease in the number of plants per m² negatively affects the seed yield of quinoa.

In our study, the higher PH in the quinoa crop had a direct and positive effect on different morphological and yield characteristics, indicating that plants with greater height also developed a greater NPP. This is attributed to the better plant structure with good plant and panicle weight (PDY, MPW), naturally having more seed weight and size (GYP, TGW). In general, these results agreed with ranges reported for studies by Bhargava et al. (2007) and Oustani et al. (2023), which are confirmed by the correlation analysis where the morphological parameters showed a positive relationship with the GYP, which was positive and highly significant for most characters. Among other variables, a significant positive association existed between NPP and some yield components (PDY, MPW, GY), indicating that plants with the largest NPP have the ability to improve their production qualitatively (PDY, MPY) and quantitatively (GYP) (Bhargava et al., 2007). On the other hand, PN, PH, NPP, and MPW in the quinoa crop are directly related to the other production parameters, and the positive correlation between these variables is a clear indication of their role in raising and improving the yield, a fact also reported by Ali et al. (2020).

Conclusion

Sowing is one of the most important activities because the emergence of seedlings impacts plant density and final yields depends on this stage. As a result of the present work, wherein the effects of different sowing methods on the growth, production and yield components of quinoa were tested, it can be concluded that the quinoa crop responded significantly to sowing techniques with different seeding rates. The application of mechanical method with a low seed rate led to a significant increase in most of the studied parameters of growth and quality of the quinoa crop, such as PH, NPP, MPW and GYP. However, in all cases, the Manuel sowing Whatever the method, whether in broadcasting, row or in group, higher sowing density results in weaker and smaller plants, few panicles with lower yield per plant. The maximum seed rate in broadcasting significantly influenced the PN that contributed to increase the GY it was 3 times more as compared with the low sowing density of mechanical method. However, the seeding dose applied in those was 8 times lower than applied in broadcasting. In terms of yield properties (TGY and HI) it was observed that there was no significant effect of different sowing methods were tested. the results of the present study demonstrated that The PN had positive significant correlation and directly influenced the GY. Whereas, a

strong positive correlation existed between PH, NPP, PDY and MPW with GYP. Ultimately, the mentioned results permitted us to evaluated the adaptability of this new crop to the environment arid conditions of southern Algeria, particularly in Biskra. It is necessary to encourage the mechanization of different cultural operations, especially at sowing stages that have a great influence on the economic (reducing production expenses) and agricultural (growth, morphology and yield) levels, as illustrated in the results obtained. Further, future research is needed on quinoa crop with various agricultural practices, planting density, sowing time, with different levels of fertilizers, irrigation and agronomic treatments under different Agro-ecological zones. To make better adjustment of quinoa in cropping system and crop rotation.

References

- Afzal, I., Basra, S. M. A., Rehman, H. U., Iqbal, S. and Bazile, D. (2022). Trends and limits for quinoa production and promotion in Pakistan. *Plants*.11(12), 1603. <https://doi.org/10.3390/plants11121603>.
- Aguilar, P. C. and Jacobsen, S. E. (2003). Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. *Food Reviews International*. 19(1-2), 31-41. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018866>.
- Ahmadzai, H. (2020). Trends in Quinoa Adoption in Marginal Areas: An Assessment of Economic Viability and Policy Outlook. *Journal of Agribusiness and Rural Development*.57(3), 235-247. <https://doi.org/10.17306/J.JARD.2020.01351>.
- Alan, B. (2011). Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security. In 37th FAO conference.
- Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D. and Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global food security*.26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>.
- Ali, S., Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Iqbal, B., Rehman, M., Nawaz, M., and Amin, M. Z. (2020). Growth, biomass production, and yield potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting techniques under irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*.14, 427-441. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00094-5>.

Altuner, F., Oral, E. and Kulaz, H. (2019). The impact of different sowing-times of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its varieties on the yield and yield components in Turkey-Mardin ecology condition. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4), 10105-10117. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_1010510117.

Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F. ... and Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*.9(2), 216.<https://doi.org/10.3390/foods9020216>

Bazile, D., Bertero, H. D. and Nieto, C. (2015). State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013. Rome, FAO, Santiago, Chile, CIRAD, Montpellier, France.

Bazile, D., Jacobsen, S. E. and Verniau, A. (2016 b). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science*. 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>.

Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov O, Otambekova M, Sepahvand, N.A., Shams, A., Souici, D., Miri, K. and Padulosi, S. (2016 a). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science*.7, 850. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>.

Bhargava, A., and Srivastava, S. (2013). Quinoa: botany, production and uses. CABI, Wallingford, UK.

Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products*, 23(1), 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>.

Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 101(1), 104-116.<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>.

Biswas, P. K., Fatema, K. and Rahman, A. (2021). Influence of Planting Method and Nitrogen Dose on Growth and Yield of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Bangladesh Agronomy Journal*.24(1), 83-92. <https://doi.org/10.3329/baj.v24i1.55548>

Cauda, C., Micheletti, C., Minerdo, B., Scaffidi, C. and Signoron, E. (2013). Quinoa in the kitchen. FAO, Slow Food.

Choudhary, S., Birla, D., Pramanick, B. and Choudhary, M. (2020). Quinoa: a potential crop for nutritional security. *Just Agriculture e-Newsletter*.1(2), 93-100.

Ciftci, S., ZULKADİR, G., GÖKÇE, M. S., KARABURU, E., BOZDAĞ, E. and İDİKUT, L. (2020). The effect of row distances on quinoa yield and yield components in the late planting period. *International Journal of Research Publication and Reviews*.(4), 37-42.

Dao, A., Alvar-Beltr  , J., Gnanda, A., Guira, A., Nebie, L. and Sanou, J. (2020). Effect of different planting techniques and sowing density rates on the development of quinoa. *African Journal of Agricultural Research*.16(9), 1325-1333.
<https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14904>

Del Castillo, C., Mahy, G. and Winkel, T. (2008). La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente “bio  quitable”.*BASE*,12(4), 421-435.

Ebrahimikia, M., Jami Moeini, M., Marvi, H., Hasheminejad, Y. and Ghasemzadeh Ganjehie, M. (2021). Agro-physiological response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to the nitrogen application rate and split application method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(4), 3437-3450.<https://doi.org/10.1007/s42729-021-00618-6>.

Eisa, S. S., Abd El Samad, E. H., Hussin, S. A., Ali, E. A., Ebrahim, M., Gonz  lez, J. A., Ordano, M., Erazzu. L.E., El-Bordeny. N.E. and Abdel-Ati, A. A. (2018). Quinoa in Egypt-plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. *Middle East Journal of Applied Sciences*.8(2), 515-522.

Gacemi, M.A. (2016). Introduction and assessment of Quinoa in Algeria: Field trial evaluation of eleven *Chenopodium quinoa* genotypes grown under Mediterranean conditions (Algeria). Algeria: National Institute of Agronomic Research.*In International Quinoa Conference*. from <http://www.quinoaconference.com/sites/default/files/Gacemi-Algeria.pdf>.

Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*.20(1), 59-64. <https://doi.org/10.17557/39586>.

Hammad, E. A., Abo-Elwafa, A., Morsy, A. S. M. and Awadalla, A. (2021). Response of Quinoa Yield and Seed Chemical Composition to Planting Dates and Densities under the Climatic Conditions of Aswan Governorate. *Journal of Plant Production*. 12(9), 973-979. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.202611>.

Hamza, A., Usman, K., Malik, M. W. I., Saad, M., Ghulam, S., Khan, Z. and Ullah, A. (2022). Response of quinoa genotypes to sowing dates and sowing methods under agroclimatic condition of Dera Ismail Khan, KP Pakistan. *Archives of Agronomy and Soil Science*.68(13), 1903-1913 <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1939018>.

Haros, C. M. and Schoenlechner, R. (2017). Pseudocereals: chemistry and technology. Wiley-Blackwell, UK.

Hussain, M. I., Muscolo, A., Ahmed, M., Asghar, M. A., and Al-Dakheel, A. J. (2020). Agro-morphological, yield and quality traits and interrelationship with yield stability in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under saline marginal environment. *Plants*. 9(12), 1763. <https://doi.org/10.3390/plants9121763>.

Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z. and Song, S. (2019). Quinoa: In Perspective of Global Challenges. *Agronomy*.9 (4),176. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>

Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G. and Bazile, D. (2022). Adaptation of some quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), grown in a saharan climate in Algeria. *Life*.12(11), 1854. <https://doi.org/10.3390/life12111854>

Maliro, M.F., Guwela, V.F., Nyaika, J. and Murphy, K.M. (2017). Preliminary Studies of the Performance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes under Irrigated and Rainfed Conditions of Central Malawi.*Frontiers in Plant Science*.8, 227. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00227>.

Maughan, P. J., Bonifacio, A., Coleman, C. E., Jellen, E. N., Stevens, M. R. and Fairbanks, D. J. (2007). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In Ch. Kole (Ed.), *Pulses, Sugar and Tuber Crops: Vol. 3. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants* (pp. 147-158). Springer.

Mehda, S., Oustani, M., Bouazza, S. and Djaballah, I. (2023). Effect of sowing dates on the vegetative growth and yield parameters of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes. *Journal of Agriculture and Applied Biology*.4(1), 95-106. <http://dx.doi.org/10.11594/jaab.04.01.10>.

Murphy, K. S. and Matanguihan, J. (2015). Quinoa: Improvement and sustainable production. John Wiley and Sons, New Jersey, USA.

Oustani, M., Mehda, S., Halilat, M. T. and Chenchouni, H. (2023). Yield, growth development and grain characteristics of seven Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*, 13(1), 1991. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29039-4>.

Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B. and Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*. 8(10), 197. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>.

Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S-E. and Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable development*.34, 349-359.<https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>.

Sajjad, A., Munir, H., Ahmed Anjum, S., Tanveer, M. and Rehman, A. (2014). Growth and development of chenopodium quinoa genotypes at different sowing dates. *Journal of Agricultural Research (03681157)*.52(4).

Shoman, A. (2018). Effect of sowing dates and nitrogen on productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at desert areas. *Journal of Plant Production*.9(4), 327-332. <https://doi.org/10.21608/jpp.2018.35702>.

Spehar, C. R. and Rocha, J. D. S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. *Bioscience Journal*.25(4), 53-58.

Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E. B., Wellman, G., Melino, V. J., Patiranage, D. S. R., Johansen, K., Schmöckel, S. M., Bertero, D., Oakey, H., Colque-

Little, C., Afzal, I., Raubach, S., Miller, N., Streich, J., Amby, D.B., Emrani, N., Warmington, M. and Quinoa Phenotyping Consortium. (2021). Quinoa phenotyping methodologies: An international consensus. *Plants*.10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>.

Temel, S. and Yolcu, S. (2020). The effect of different sowing time and harvesting stages on the herbage yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Turkish Journal of Field Crops*.25(1), 41-49. <https://doi.org/10.17557/tjfc.737503>.

Wali, A. M., Kenaway, M. K., Ibrahim, O. M. and El Lateef, E. A. (2022). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) under new reclaimed soil conditions at north-western coast of Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*.46(1), 38.<https://doi.org/10.1186/s42269-022-00724-0>.

Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C. and Qiao, L. (2020). Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. *Agronomy*.10(3), 445. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030445>.

Yazar, A., Sezen, S. M., Bozkurt Çolak, Y., Ince Kaya, Ç. and Tekin, S. (2017). Effect of planting times and saline irrigation of quinoa using drainage water on yield and yield components under the Mediterranean environmental conditions. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*.4(8), 8-16.

Résumés

Résumé

Dans l'objectif d'intensifier la culture du quinoa, l'étude des différentes pratiques culturales adoptées, du comportement phénologique, et du potentiel de production de cette culture dans différentes zones agro-écologiques en Algérie est indispensable. Dans cette optique, une étude à doubles approches a été initiée. D'une part, une enquête a été menée auprès d'agriculteurs ayant de l'expérience ou ayant participé à des essais sur la culture du quinoa dans les régions de Biskra et Oued Souf. Des essais de mise en culture du quinoa ont également été réalisés en 2019-2020 et 2020-2021, dans la région de Biskra, plus précisément à l'annexe expérimentale de ITDAS à Féliche. Afin d'étudier l'impact de la mécanisation du semis sur la productivité et la qualité du rendement de quinoa, comparant aux méthodes manuelles (en ligne, en poquet et la volée). Un dispositif expérimental sous forme de factoriel en blocs avec trois variétés et trois répétitions, a été mis en place. Des mesures phénologiques, morphologiques et des composantes du rendement sont réalisées. Les principaux résultats indiquent que la majorité des agriculteurs ont une courte expérience dans la culture du quinoa, et que la plupart des essais sont réalisés sur de petites surfaces. La variété Q102 est la plus testée et la préparation du sol se limite généralement au labour, à l'incorporation de fumier et à la préparation de lit de semis, la plupart des agriculteurs ont recours aux semis manuels, au mois de septembre, bien que la récolte commence vers le mois d'avril. Les rendements enregistrés sont de 5 à 35 qx/ha. D'autre part, les résultats de l'étude expérimentale montrent que les variétés testées ont réagi de manière significative aux méthodes de semis manuel et mécanique, avec différents taux de semis. En effet, la variété Giza II a démontré une aptitude à produire en grande quantité (NP/m², NPP, RGP, RT, PMG et IR). Par contre, la variété Q105 a présenté de bonnes performances agronomiques (HP, HPP, PS et PPP) et nutritionnelles (TP). La mécanisation du semis avec des doses ajustées a conduit à une augmentation significative de la plupart des paramètres étudiés, notamment du HP, du NPP, du HPP, du PS, du PPP et du RGP. Les résultats de l'interaction ont montré que le choix du mode de semis optimal dépend fortement de la variété utilisée.

Mots clés : Semis, région aride, quinoa, mécanisation, adaptation, rendement.

Abstract

In order to intensify quinoa cultivation, it is essential to study the different cultivation practices adopted, the phenological behaviour and the production potential of this crop in different agro-ecological zones in Algeria. With this in mind, a two-pronged study was initiated. On the one hand, a survey was carried out among farmers with experience or who had taken part in trials of quinoa cultivation in the Biskra and Oued Souf regions. Quinoa cultivation trials were also carried out in 2019-2020 and 2020-2021, in the Biskra region, more specifically at the ITDAS experimental annex in Félieche. The aim was to study the impact of mechanised sowing on quinoa productivity and yield quality, compared with manual methods (in-line, in-pot and broadcast). A factorial block design with three varieties and three replications was set up. Phenological, morphological and yield component measurements were carried out. The main results indicate that the majority of farmers have little experience of growing quinoa, and that most of the trials were carried out on small areas. The Q102 variety is the most tested, and soil preparation is generally limited to ploughing, incorporating manure and preparing the seedbed. Most farmers resort to manual sowing in September, although harvesting begins around April. Yields have ranged from 5 to 35 qx/ha. Furthermore, the results of the experimental study show that the varieties tested responded significantly to manual and mechanical sowing methods, with different sowing rates. Indeed, the variety Giza II showed a capacity to produce large quantities (NP/m^2 , NPP, GYP, TGY, TGW and HI). However, the Q105 variety showed good agronomic (PH, MPL, DW and MPW) and nutritional (PC) performances. The use of mechanisation in sowing with adjusted doses led to a significant increase in most of the parameters studied, particularly PH, NPP, MPL, DW, MPW and GYP. The results of the interaction showed that the choice of the optimal sowing method depends strongly on the variety used.

Key words: Sowing, arid region, quinoa, mechanisation, adaptation, yield.

المخلص

من أجل تكثيف زراعة الكينوا، من الضروري دراسة الممارسات الزراعية المختلفة المتبعة والسلوك الفينولوجي والإمكانات الإنتاجية لهذا المحصول في مختلف المناطق الزراعية الإيكولوجية في الجزائر. ومن هذا المنطلق، تم الشروع في دراسة ذات شقين. فمن جهة، أجريت دراسة استقصائية بين المزارعين ذوي الخبرة أو الذين شاركوا في تجارب زراعة الكينوا في منطقتي بسكرة وواد سوف. كما تم إجراء تجارب زراعة الكينوا في عامي 2019-2020 و2020-2021، في منطقة بسكرة، وتحديدًا في الملحق التجريبي للمعهد التقني للتنمية الزراعية الصحراوية في فيلياش. وكان الهدف من ذلك هو دراسة تأثير البذر الآلي على إنتاجية الكينوا وجودة المحصول، مقارنة بالطرق اليدوية (البذر في الصفوف، في الأكوام وعن طريق النثر). تم إعداد تصميم تجريبي على شكل كتلة مضروبة مكون من ثلاثة أصناف وثلاثة تكرارات. تم إجراء القياسات الفينولوجية والمورفولوجية وقياسات مكونات المحصول. تشير النتائج الرئيسية إلى أن غالبية المشاركين لديهم خبرة قليلة في زراعة الكينوا، وأن معظم التجارب أجريت على مساحات صغيرة. الصنف Q102 هو الصنف الأكثر اختبارًا ويقتصر إعداد التربة عمومًا على الحرث ودمج السماد الطبيعي وإعداد أحواض البذور. يلجأ معظم المزارعين إلى البذر اليدوي في شهر سبتمبر/أيلول، ليتم الحصاد مع بداية شهر أبريل/نيسان تقريبًا. وتراوح المردود المتحصل عليه بين 5 إلى 35 قنطار/هكتار. من ناحية أخرى، أظهرت نتائج الدراسة التجريبية أن الأصناف التي تم اختبارها تفاعلت بشكل كبير مع طرق البذر اليدوية والميكانيكية، مع اختلاف معدلات البذر. وبالفعل، أظهر الصنف جيزا (Giza II) كفاءة في إنتاج كميات كبيرة من حيث (ع ن/م² ع ن، م/ن، م ك، وأح، و م ح). من ناحية أخرى، أظهر الصنف Q105 أداءً زراعيًا (طن، ط ع أ، وع أ، وج) و غذائيًا جيدًا (م ب). أدى تطبيق المكننة عند البذر بجرعات معدلة إلى زيادة كبيرة في معظم القياسات المدروسة، خاصةً (طن، ط ع أ، وع أ، وج، م/ن). كما. أظهرت نتائج التفاعل بين الأصناف وطرق البذر أن اختيار طريقة البذر المثلى يعتمد بشدة على الصنف المستخدم.

الكلمات المفتاحية: البذر، المنطقة القاحلة، الكينوا، المكننة، التكيف، المحصول.