

Évaluation de la qualité des semences de 45 accessions de quinoa produites au Burkina Faso

Abdalla DAO^{1*}, Louis NEBIE^{1,2}, Zara Soutonnoma NIKIEMA¹, Schémaéza BONZI², Jacob SANOU³, Irénée SOMDA²

Résumé

La qualité des semences constitue un levier essentiel pour garantir la réussite de l'introduction du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) au Burkina Faso. Cette étude a évalué les caractéristiques morphologique, physiologiques et sanitaires de 45 accessions exotiques conservées à l'INERA/Farako-Bâ. Les paramètres analysés incluent la couleur, le diamètre, le poids de 1 000 graines, le taux d'humidité, la germination (à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h) ainsi que la présence de champignons pathogènes. Les tests ont été conduits conformément aux règles internationales de l'ISTA. Par ailleurs, une analyse multivariée a été réalisée afin de regrouper les accessions en fonction de leurs performances morphologiques, physiologiques et sanitaires. Cette analyse a révélé une variabilité importante entre les accessions. Environ 65,4 % des accessions présentaient des graines blanches, et 73,1 % avaient un diamètre compris entre 1,8 et 2,2 mm. Le poids de 1 000 graines variait de 1,26 à 3,31 g. À 96 h, le taux moyen de germination était de 88,1 %, avec des extrêmes allant de 51,3 à 98,7 %. Toutefois, 21,2 % des lots dépassaient le seuil critique de 13 % d'humidité, et 38,5 % étaient contaminés par des champignons, notamment *Fusarium oxysporum* et *Aspergillus niger*. Ces résultats soulignent l'importance du contrôle des conditions de conservation et de la surveillance phytosanitaire des semences. Ils constituent également une base utile pour orienter les efforts de sélection variétale et structurer une filière semencière durable autour du quinoa au Burkina Faso.

Mots-clés : Quinoa, semences, Qualité, germination, pathogènes, Burkina Faso

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA/ CNRST) Station de Farako-Bâ

² Université NAZI BONI, Laboratoire Bioressources, Agrosystèmes et Sante de L'environnement, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

³ Département de Sciences et Technologiques, Université Aube Nouvelle/ Bobo-Dioulasso

*Auteur correspondant : Abdalla DAO, adao@wacci.ug.edu.gh, Tel : + 226 76 84 64 75. ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-9965-1353>

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v44i1.1777>

Assessment of seed quality of 45 quinoa accessions produced in Burkina Faso

Abstract

Seed quality is a key factor in ensuring the successful establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a recently introduced crop in Burkina Faso. This study evaluated the morphological, physiological, and sanitary characteristics of 45 accessions conserved at INERA/Farako-Bâ. Parameters assessed included seed color, diameter, thousand-seed weight, moisture content, germination at 24, 48, 72, and 96 h, and the presence of pathogenic fungi. Tests were conducted in accordance with the International Seed Testing Association (ISTA) rules. A multivariate analysis grouped the accessions based on their morphological, physiological, and sanitary performance, revealing substantial variability. Overall, 65.4% of the accessions had white seeds, and 73.1% had diameters between 1.8 and 2.2 mm. Thousand-seed weight ranged from 1.26 to 3.31 g, and the mean germination rate at 96 h was 88.1% (range: 51.3–98.7%). However, 21.2% of seed lots exceeded the critical moisture threshold of 13%, and 38.5% were contaminated with pathogenic fungi, mainly *Fusarium oxysporum* and *Aspergillus niger*. These results underscore the need for strict control of storage conditions and phytosanitary monitoring, while providing a sound basis for varietal selection and the development of a sustainable quinoa seed sector in Burkina Faso.

Keywords: Quinoa, seeds, quality, germination, pathogens, Burkina Faso.

Introduction

Le quinoa, culture ancestrale originaire des Andes, appartient à la famille des Chénopodiacées. Il se distingue par sa haute valeur nutritionnelle et sa remarquable adaptabilité à divers contextes agroécologiques, incluant des conditions de stress biotique et abiotique (RAZZAGHI *et al.*, 2015 ; HUSSIN *et al.*, 2017). Ses graines sont riches en fibres, protéines, vitamines, composés antioxydants et minéraux essentiels tels que le phosphore, le calcium, le fer, le zinc ou encore le potassium (VALENCIA *et al.*, 2017). Reconnu pour son potentiel à contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale (BAZILE *et al.*, 2015), le quinoa suscite un intérêt croissant dans plusieurs pays, y compris au Burkina Faso, où son introduction récente vise à diversifier les cultures et à renforcer la résilience des systèmes de production agricole face aux changements climatiques.

Depuis son introduction au Burkina Faso au cours de la dernière décennie, plusieurs essais agronomiques ont été menés dans différentes zones agroécologiques pour évaluer son adaptation et son potentiel

agronomique. Toutefois, la qualité des semences utilisées, souvent peu explorée, constitue un facteur déterminant pour la réussite de la culture. Une semence de qualité garantit une bonne levée, une croissance vigoureuse et un rendement élevé. À l'inverse, une mauvaise qualité peut entraîner une germination irrégulière, une faible vigueur des plantules et des pertes économiques importantes pour les producteurs.

La qualité des semences est un concept multidimensionnel, intégrant des aspects physiques (poids, taille, pureté), physiologiques (vigueur, viabilité), génétiques et sanitaires (présence de pathogènes) (SANTOS *et al.*, 2007). Parmi ces critères, la germination constitue l'un des indicateurs les plus couramment utilisés, bien que ses résultats en laboratoire ne soient pas toujours corrélés à la levée en conditions réelles de culture (FILHO, 2015). De plus, la germination est influencée par des facteurs internes (état physiologique, latence) et externes (température, humidité, oxygène, attaques d'insectes ou de champignons). Dans le genre *Chenopodium*, la latence embryonnaire est en partie attribuée à la structure du tégument, fortement influencée par les conditions environnementales pendant le développement des graines (CECCATO *et al.*, 2015 ; STRENSKE *et al.*, 2017).

Plusieurs travaux ont exploré la composition chimique, la structure anatomique et la dynamique de mobilisation des réserves lors de la germination des graines de quinoa (GOMAA *et al.*, 2014 ; HAGER *et al.*, 2014 ; MÄKINEN *et al.*, 2014). Des études récentes ont également évalué les effets des contraintes environnementales, notamment salines, ainsi que la qualité phytosanitaire sur les paramètres de germination et de vigueur (AL-BARAKAH et SOHAIG, 2019 ; EL-ASSIUTY *et al.*, 2019). Ces recherches mettent en évidence l'importance de la qualité physique, physiologique et sanitaire des semences pour garantir une implantation efficace de la culture.

Cependant, la majorité de ces études ont été réalisées dans des contextes différents de celui du Burkina Faso. Or, les conditions climatiques, les techniques de production, les systèmes de stockage et les ressources génétiques utilisées dans le pays peuvent avoir un impact significatif sur la qualité des semences. Malgré la conservation de plusieurs accessions dans la banque de germoplasmes de l'INERA/Farako-Bâ, peu de données sont disponibles sur l'état sanitaire, la viabilité et la vigueur de ces semences.

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer la qualité des semences de quinoa conservées à l'INERA/Farako-Bâ, en analysant différents paramètres physiques et physiologiques, afin de contribuer à l'amélioration des stratégies de production et de conservation des semences au Burkina Faso.

I. Matériel et méthodes

Site d'étude

La caractérisation physique et physiologique des semences a été réalisée au Laboratoire de Bioressources, Agrosystèmes et Santé de l'Environnement (LaBASE) de l'Institut du Développement Rural (IDR), situé dans l'enceinte du Centre de Formation et de Recherche (CFR) de l'Université Nazi BONI, à Bobo-Dioulasso (secteur 20), Burkina Faso. Le site d'étude est localisé aux coordonnées géographiques 11°10'585"N et 4°21'219"O.

Matériel végétal, conditions de stockage et échantillonnage

Le matériel végétal était constitué de 45 accessions de quinoa, dont 40 ont été obtenues auprès de la banque de gènes de l'USDA en 2015, et 5 introduites la même année avec le soutien de la FAO, dans le cadre d'un projet de renforcement des systèmes alimentaires en Afrique de l'Ouest impliquant cinq pays, dont le Burkina Faso (Tableau I).

Une étude préliminaire conduite en 2016 dans un dispositif de collection a révélé, au sein de certaines accessions, une hétérogénéité morphologique (forme et coloration de la tige, des feuilles, des panicules et des graines). Un système de codification a alors été adopté : les accessions homogènes sont notées AQ x , tandis que les accessions hétérogènes sont désignées par AQ x - y , où x correspond au numéro d'accession et y au sous-groupe identifié.

Les semences ont été conservées dans des sacs pics triple fond, à une température de 17 °C, au sein de la banque de gènes de l'INERA/Farako-Bâ. L'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'un diviseur conique, en prélevant des échantillons de travail de 500 g de semences par accession.

Tableau I : Liste du matériel végétal et provenance

N°	Accessions	Code	Donateur	N°	Accessions	Code	Donateur
1	PI614927	AQ9	USDA	24	Ames13730	AQ100	USDA
2	PI614915	AQ29-2	USDA	25	Ames13724	AQ101	USDA
3	PI634921	AQ46	USDA	26	Ames13722	AQ103-1	USDA
4	PI584524	AQ47-1-A	USDA	27	Ames13745	AQ103-2	USDA
5	PI584524	AQ47-1-B	USDA	28	Ames137221	AQ104	USDA
6	PI584524	AQ48-1	USDA	29	Ames13762	AQ105-2	USDA
7	PI584524	AQ49-1	USDA	30	Ames13729	AQ106	USDA
8	PI634918	AQ49-2	USDA	31	Ames13740	AQ107	USDA
9	PI634918	AQ50	USDA	32	Ames13740	AQ110	USDA
10	PI634923	AQ51	USDA	33	Ames13731	AQ112	USDA
11	PI634923	AQ53-2	USDA	34	Ames13726	AQ113	USDA
12	P634925	AQ54-1	USDA	35	Ames13746	AQ114-1	USDA
13	PI478418	AQ55	USDA	36	Ames13759	AQ115	USDA
14	PI634917	AQ58	USDA	37	Ames13760	AQ116	USDA
15	PI614885	AQ64	USDA	38	Ames13755	AQ121-1	USDA
16	PI614889	AQ75	USDA	39	Ames13728	AQ122	USDA
17	PI510549	AQ84	USDA	40		Bianca	USDA
18	PI510540	AQ87-A	USDA	41		A. Marac	FAO
19	PI510547	AQ87-B	USDA	42		Tiim	FAO
20	Ames13737	AQ88-2	USDA	43		Nafayari	FAO
21	Ames13754	AQ89	USDA	44		SIMABA	FAO
22	Ames13754	AQ92	USDA	45		FENI	FAO
23	Ames13734	AQ96-2	USDA				

A : accessions, *Q* : quinoa, *x* : numéros des accessions et *y* : numéros des sous-accessions, *A. Marac* : Amarilla Marangani

Évaluation de la qualité physique des semences

La qualité physique des semences a été évaluée en suivant les descripteurs du quinoa publiés par l'International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1981). Pour chaque échantillon, 20 graines par accession ont été observées à l'aide d'une loupe stéréoscopique afin de déterminer les caractères qualitatifs, à savoir la couleur, la forme et

la bordure de la graine. Ces caractéristiques ont été notées en fonction de l'aspect visuel.

Le diamètre des graines a été mesuré avec un pied à coulisse électronique, sur les 20 graines sélectionnées pour chaque accession. Pour les mesures du poids et du volume, un lot de 1 000 graines a été prélevé pour chaque accession, avec trois répétitions par accession par comptage manuel. Le poids de 1 000 graines (PMG) a été déterminé à l'aide d'une balance électronique de haute précision, tandis que le volume de 1 000 graines (VMG) a été mesuré par la méthode du déplacement de volume à l'aide d'un tube Falcon de 10 ml. Le taux d'humidité (TH) a été déterminé sur l'échantillon de travail. Ce taux a été mesuré en trois répétitions pour chaque accession à l'aide d'un humidimètre.

Évaluation de la qualité physiologique des semences

La qualité physiologique des semences a été évaluée à travers le test de germination en laboratoire. Pour chaque accession, 400 graines réparties en seize (16) répétitions de 25 ont été placées sur du papier buvard humidifié dans des boîtes de Pétri et incubées à 25 °C en lumière constante. Les germinations ont été enregistrées à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h après incubation.

Les paramètres mesurés incluent :

- Le taux de germination à 24 h, 48 h, 72 h,
- Le taux de germination final (%).

Évaluation de la qualité sanitaire des semences

La qualité sanitaire des semences a été évaluée à travers une analyse mycologique en laboratoire, selon la méthode de la boîte de Pétri (blotter test) décrite par l'International Seed Testing Association (ISTA) (2021). Pour chaque accession, 400 graines (16 répétitions de 25 graines) ont été déposées sur du papier buvard humidifié dans des boîtes de Pétri, puis incubées pendant 7 jours à 22 ± 2 °C, en alternance lumière/obscurité (12 h/12 h).

Les champignons développés sur les graines ont été identifiés morphologiquement à la loupe binoculaire et au microscope, à partir de leurs structures reproductrices (conidiophores, conidies, sporanges, etc.), en s'appuyant sur les clés d'identification standard (BARNETT et

HUNTER, 1998 ; MATHUR et KONGSDAL 2003). Les initiales des champignons identifiés ont été inscrites sur le papier buvard, à côté des graines correspondantes. Les résultats ont ensuite été consignés sur une fiche d'évaluation.

Analyses des données

Les données recueillies ont été saisies et organisées dans Microsoft Excel 2016. Les fréquences des caractères qualitatifs (forme, couleur, bordure des graines) et les taux d'infestation fongique ont été exprimés en pourcentage. L'analyse statistique a été conduite dans le logiciel R version 4.4.0 (R Core Team, 2024). Les caractères quantitatifs, incluant la morphologie des graines et les taux de germination, ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur, après vérification des conditions de normalité et d'homogénéité des données.

Par ailleurs, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur la base des variables agronomiques standardisées, incluant les caractères morphologiques des graines et les taux de germination à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016. La distance euclidienne et la méthode de Ward ont été utilisées pour le regroupement des accessions selon leur similarité morpho-physiologique.

II. Résultats

Différentes couleurs des graines de quinoa testé

La figure 1 présente la répartition des différentes couleurs de graines observées parmi les semences de quinoa conservées à l'INERA/Farako-Bâ. Six couleurs de graines ont été identifiées : blanche, noire, jaune, rouge, crème et café. Les résultats ont montré une prédominance des graines de couleur blanche, qui représentaient 61,55 % de l'ensemble des accessions évaluées. Les graines noires constituaient 11,53 %, suivies des graines jaunes avec 7,62 %, rouges avec 5,76 %, crèmes avec 3,84 % et enfin les graines à couleur café, représentaient 1,92 % des accessions. Cette diversité de couleurs traduit la variabilité des lots de semences disponibles au sein de la collection.

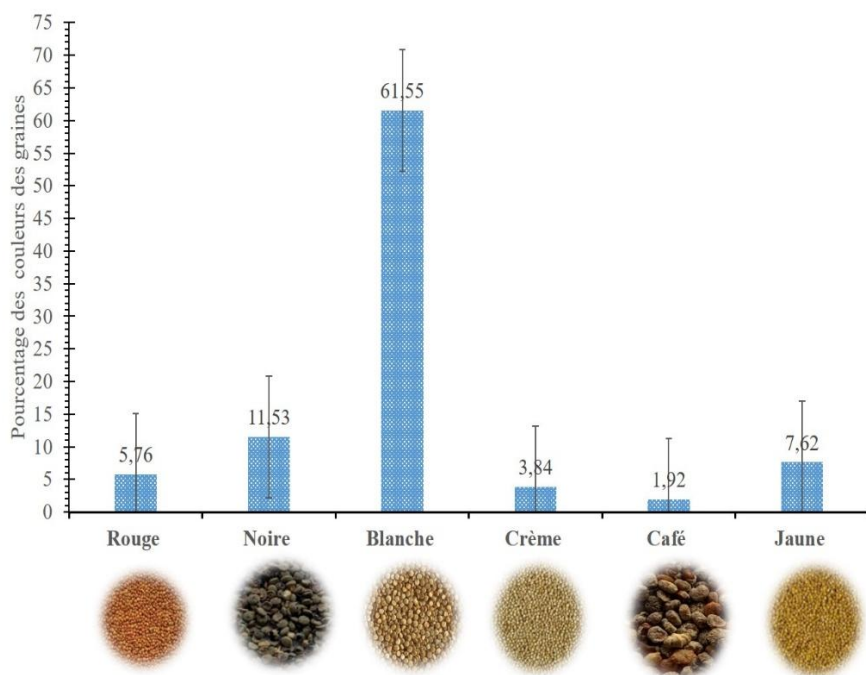


Figure 1 : Pourcentages des différentes couleurs des graines de quinoa de la banque de gène de l'INERA/Farako-Bâ

Formes et bordures des graines des accessions

L'évaluation morphologique des semences de quinoa a permis d'identifier trois formes principales et deux types de bordure (Figure 2). La forme cylindrique est la plus représentée, avec une fréquence d'environ 70 %, suivie des formes lenticulaire (17 %) et ellipsoïdale (11 %). Concernant la bordure, la majorité des graines ont présenté une bordure lisse (75 %), tandis que les graines à bordure sinueuse représentaient environ 25 % de l'ensemble des accessions.

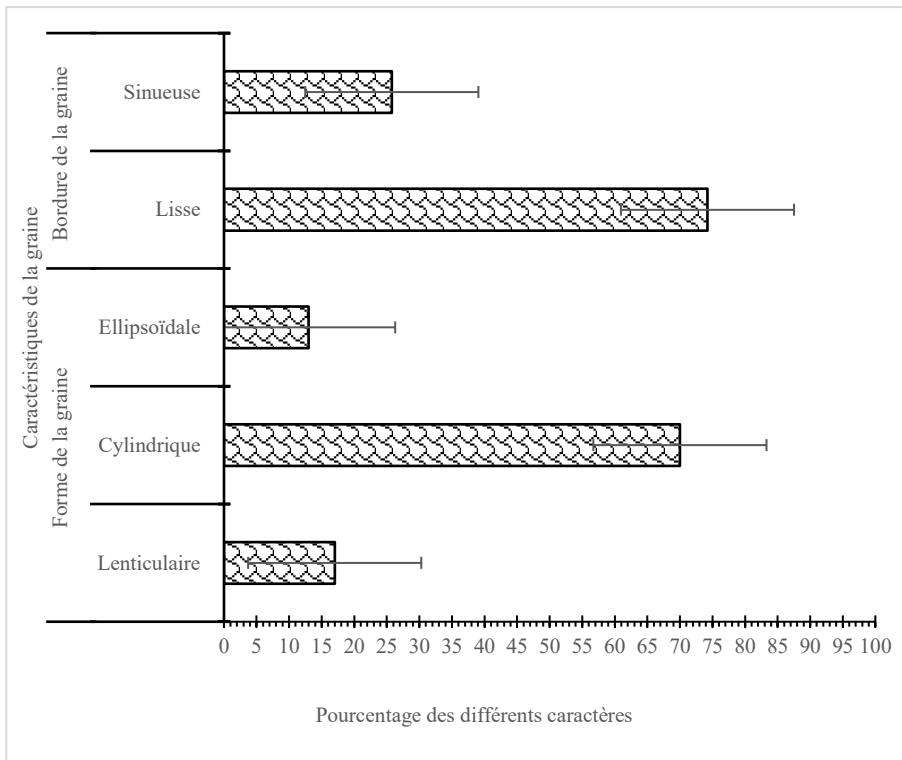


Figure 2 : Variation morphologique des graines de quinoa de la banque de gène de l'INERA/Farako-Bâ

Caractéristiques physiques et physiologiques des graines

L'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,001$) entre les accessions pour les caractères tels que le diamètre des graines (DG), le volume moyen de 1 000 graines (VMG), le poids de 1 000 graines (PMG) et le taux humidité (TH) (Tableau II). Le diamètre des graines a varié de 1,00 mm à 2,10 mm, avec une moyenne de 1,83 mm et un coefficient de variation (CV) de 17,74 %. Le volume moyen de 1 000 graines a oscillé entre 1,30 ml et 5,90 ml, avec une moyenne de 3,46 ml (CV = 22,03 %). Le poids de 1 000 graines a fluctué de 1,00 mg à 3,43 mg, avec une moyenne de 2,18 mg et un CV

de 22,2 %. Enfin, le taux d'humidité des graines a varié de 8,00 % à 14,50 %, avec une moyenne de 11,91 % et un CV de 26,24 %.

Tableau II : Performance moyenne et résultats de l'analyse de variance des variables mesurées

Caractères	Signification du F observé	Min	Max	Moy	CV (%)
DG (mm)	4,49***	1,00	2,10	1,83	17,74
VMG (ml)	18,45***	1,30	5,90	3,46	22,03
PMG (mg)	15,41***	1,00	3,43	2,18	22,2
TH (%)	4,58***	8,00	14,50	11,91	26,24

DG : Diamètre de la graine ; *VMG* : Volume de mille graines ; *PMG* : Poids de mille graines ; *TH* : Taux d'humidité, *** : Hautement significatif ; *Min* : minimum ; *Max* : Maximum ; *Moy* : moyenne ; *CV* : coefficient de variation

Taux de germination des semences

L'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,001$) entre les accessions pour les taux de germination mesurés à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h après semis (Tableau3). Le taux de germination à 24 heures (TG24) a varié de 0 à 100 %, avec une moyenne de 70,23 % et un coefficient de variation (CV) de 48,6 %. Après 48 heures (TG48), les valeurs ont oscillé entre 1,00 % et 100 %, pour une moyenne de 80,13 % (CV = 34,66 %). À 72 heures (TG72), le taux de germination s'est situé entre 2,00 % et 100 %, avec une moyenne de 83,42 % et un CV de 30,39 %. Enfin, à 96 heures (TG96), les graines ont atteint un taux de germination compris entre 3,00 % et 100 %, avec une moyenne de 86,40 % et un CV de 28,75 %.

Tableau III : Variation du taux de germination des semences

Caractères	Signification du F observé	Min	Max	Moy	CV (%)
TG24	30,78***	0	100	70,23	48,6
TG48	24,67***	1,00	100	80,13	34,66
TG72	21,47***	2,00	100	83,42	30,39
TG96	20,05***	3,00	100	86,40	28,75

F : Valeur de Fisher ; *TG24* : Taux germination après 24 heures ; *TG48* : Taux de germination après 48 heures ; *TG72* : Taux de germination après 72 heures ; *TG96* : Taux de germination après 96 heures ; *Min* : minimum ; *Max* : Maximum ; *Moy* : moyenne ; *CV* : coefficient de variation ; *** : Hautement significatif

Évaluation de la qualité des semences par rapport à la vigueur

L'évaluation de la vigueur de germination des différentes accessions de quinoa a mis en évidence une dormance relativement courte des graines (Figure 3). Après 24 heures d'incubation, 59,62 % des accessions ont présenté un taux de germination supérieur ou égal à 85 %, seuil correspondant à une bonne qualité des semences selon les normes de l'ISTA (2024). Après 48 heures, cette proportion est passée à 96,16 %. Concernant les accessions ayant atteint un taux de germination de 100 %, 14 variétés l'ont atteint dès 24 heures. Ce nombre est passé à 21 accessions à 48 heures, puis à 23 accessions à 72 heures. À l'issue de 96 heures d'incubation, 43 accessions sur 45 ont atteint un taux de germination de 100 %.

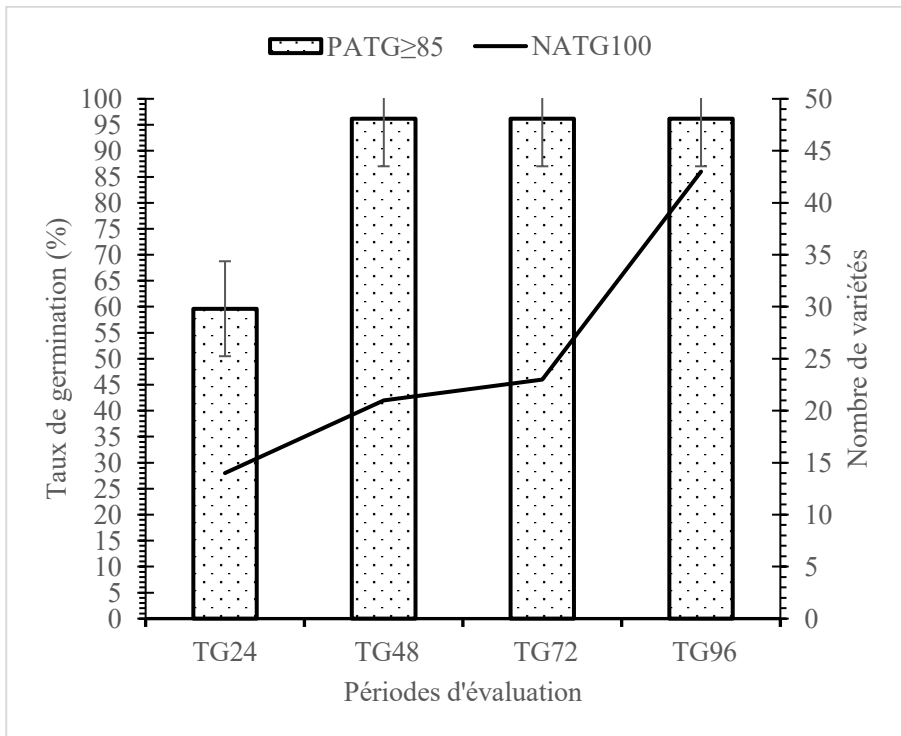


Figure 3 : Évolution de taux de germination des semences du quinoa dans le temps.

Classification hiérarchique des accessions de quinoa en fonction de leurs performances globale

Les caractères quantitatifs mesurés ont permis de réaliser une classification ascendante hiérarchique (CAH) des accessions (Figure 4), en utilisant la distance euclidienne comme mesure de dissimilarité et la méthode d'agrégation de Ward. Cette classification a permis de regrouper les accessions en trois classes distinctes : la classe I, composée de 30 accessions, la classe II, de 4 accessions, et la classe III, de 11 accessions.

Les accessions de la classe I ont été caractérisées par un poids de mille graines élevé (2,10 g), une faible teneur en humidité (11 %) et un taux de germination élevé (97,65 %). Celles de la classe II ont présenté un diamètre de graine réduit (1,75 mm), un faible poids de mille graines (1,33 g) et un taux de germination bas (24,75 %). Les accessions de la classe III ont montré les meilleurs diamètres de graines (1,82 mm) et un volume moyen de mille graines de 3,40 ml, avec un taux de germination intermédiaire avoisinant 63 %.

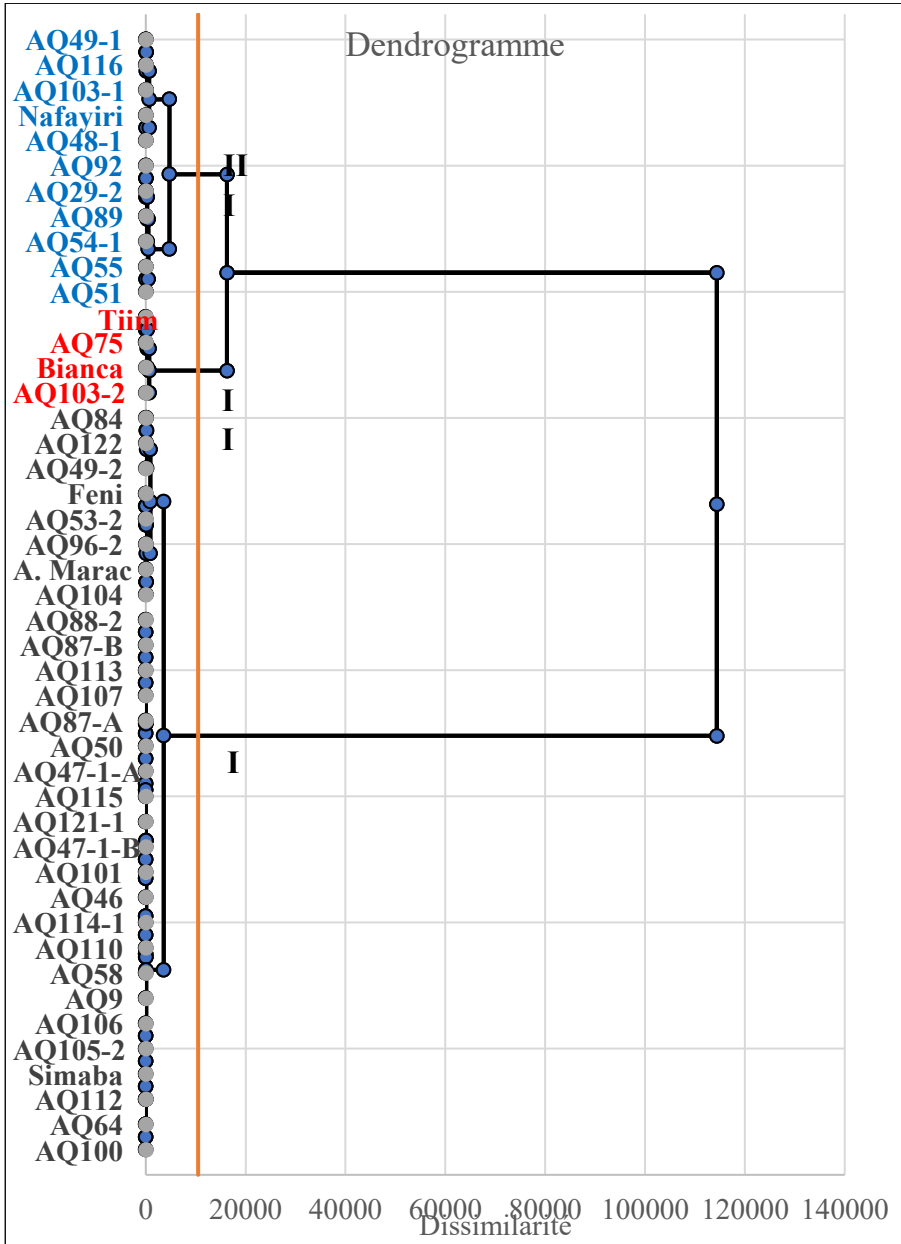


Figure 4 : Dendrogramme issu de la classification ascendante hiérarchique (CAH) des 45 accessions de quinoa.

Qualité sanitaire des semences

L'analyse sanitaire des semences des accessions de quinoa a révélé la présence de plusieurs espèces fongiques, regroupées en champignons parasites et saprophytes (Tableau IV). Au total, dix espèces ont été identifiées sur les échantillons analysés. Parmi les champignons parasites, *Fusarium oxysporum* a été le plus fréquemment isolé avec un taux moyen d'infection de 4 %, suivi de *Botrytis cinerea* (2,2 %), *Fusarium equiseti* (2 %), *Phoma exigua* (1,5 %), *Fusarium moniliforme* (1 %), *Curvularia lunata* (0,5 %) et *Macrophomina phaseolina* (0,5 %). Du côté des champignons saprophytes, *Cladosporium sp.* a présenté le taux d'infection le plus élevé (10,5 %), suivi de *Aspergillus niger* (7,5 %) et *Aspergillus flavus* (3,14 %).

Tableau IV. Taux moyens d'infection des semences par les espèces fongiques isolées

Espèces fongiques	Taux moyen infection des semences	
Champignons parasites	<i>Botrytis cinerea</i>	2,2
	<i>Curvularia lunata</i>	0,5
	<i>Fusarium equiseti</i>	2
	<i>Fusarium moniliforme</i>	1
	<i>Fusarium oxysporum</i>	4
	<i>Macrophomina phaseolina</i>	0,5
	<i>Phoma exigua</i>	1,5
Champignons saprophytes	<i>Aspergillus flavus</i>	3,14
	<i>Aspergillus niger</i>	7,5
	<i>Cladosporium sp.</i>	10,5

III. Discussion

Les résultats ont révélé une variabilité significative entre les accessions de quinoa conservées à l'INERA/Farako-Bâ, tant au niveau des

caractères morphologiques que physiologiques. Cette diversité, déterminante pour les programmes de sélection variétale, s'exprime particulièrement par la variation de la couleur, du diamètre et du poids des graines.

La diversité chromatique observée, avec six couleurs de graines identifiées, constitue un atout pour répondre aux préférences des utilisateurs, notamment en ce qui concerne l'aspect visuel. La prédominance des graines blanches constitue un atout majeur pour la conquête du marché international, ces types étant les plus recherchés pour leur faible teneur en saponines et leur aspect attrayant (CAMPOS-RODRIGUEZ *et al.*, 2022 ; MANJARRES HERNANDEZ *et al.*, 2020). En parallèle, les graines de couleur noir foncé, bien que moins prisées commercialement, présentent un intérêt nutritionnel accru grâce à leur richesse en composés bioactifs tels que les phénols et flavonoïdes (VILCACUNDO et HERNANDEZ, 2017).

Le diamètre moyen des graines, évalué à 1,83 mm, est conforme aux gammes rapportées pour les variétés andines et colombiennes (1,6-2,0 mm) (ABUGOCH, 2009 ; MANJARRES HERNANDEZ *et al.*, 2020). Le poids de 1 000 graines, paramètre très souvent fortement corrélé au rendement potentiel, a également présenté une large variabilité, indicatrice de possibilités d'amélioration génétique. Certaines accessions, bien qu'ayant le potentiel de produire de grosses graines blanches, peuvent se révéler sensibles à des agents pathogènes ou au stress hydrique, ce qui pourrait limiter leur valorisation directe.

Les taux de germination élevés observés (>85 % dès 24 h pour plus de la moitié des accessions, et >95 % à 96 h pour la majorité) indiquent une qualité physiologique satisfaisante des semences. De plus, ils témoignent des conditions de conservation et de stockage adaptées au quinoa au sein de la banque de gènes de l'INERA/Farako-Bâ. Par ailleurs, ces résultats traduisent une certaine maîtrise de la culture au niveau de la recherche au Burkina Faso, permettant une production et une reproduction efficaces de la plante. Selon les normes de l'ISTA (2023), un taux de germination supérieur à 85 % en conditions contrôlées est jugé acceptable pour la distribution commerciale des semences, tandis qu'un taux supérieur à 95 % est recommandé pour les semences certifiées. L'humidité des graines constitue également un paramètre critique pour leur viabilité. L'ISTA recommande un taux d'humidité compris entre 8 et 10 % pour une conservation à moyen et

long terme. Au-delà de 13 %, le risque de développement de champignons pathogènes augmente, tout comme la vitesse de dégradation des structures membranaires (FILHO, 2015). Nos résultats sont en accord avec ceux de STRENSKE *et al.* (2017), qui ont montré que des taux d'humidité modérés (8-12 %) associés à un stockage à basse température (<10 °C) permettent de maintenir un pouvoir germinatif élevé pendant plusieurs années. À l'inverse, certaines accessions stockées dans des conditions sub-optimales (température ambiante, humidité >13 %) ont montré une baisse nette de germination, confirmant les risques liés à la détérioration physiologique des semences (NOBRE *et al.*, 2013 ; MORENO *et al.*, 2006).

L'identification de champignons pathogènes tels que *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* et *Cladosporium sp.* au sein des semences est préoccupante. Ces espèces sont connues pour altérer la viabilité des graines et produire des mycotoxines dangereuses pour la consommation humaine (EL-ASSIUTY *et al.*, 2019). Leur présence montre que le quinoa partage certains pathogènes communs avec d'autres cultures déjà pratiquées au Burkina Faso. Il apparaît donc essentiel de prévoir un plan de gestion intégrée des nuisibles pour toute expérimentation ou production à grande échelle du quinoa dans le pays.

La diversité observée, tant morphologique que physiologique, constitue un socle solide pour le développement d'un programme de sélection participative local. Les accessions identifiées comme performantes (classe I de l'analyse multivariée) pourraient servir de base à la production de semences de qualité, certifiables selon les normes ISTA et adaptées aux conditions agroécologiques locales. Cette étude met ainsi en évidence le potentiel des ressources génétiques pour alimenter des programmes de sélection adaptés aux réalités agroécologiques du Burkina Faso.

Conclusion

L'évaluation de la qualité des semences de quinoa produites et conservées au Burkina Faso, portant sur 45 accessions, a mis en évidence une diversité importante, tant sur le plan de la morphologique, physiologique et sanitaire. Une variabilité notable a été observée en ce qui concerne la couleur, la forme, le diamètre et le poids des graines. Ces paramètres sont essentiels à la caractérisation variétale et influencent à la fois les performances de germination.

Sur le plan physiologique, les résultats ont révélé des différences marquées entre les accessions. Plus de la moitié ont présenté un taux de germination supérieur à 85 % dès les premières 24 heures, ce qui reflète une bonne qualité physiologique. Toutefois, certaines semences présentant une humidité élevée pourraient être sujettes à des risques de détérioration, notamment en stockage à température ambiante.

L'analyse multivariée a permis de regrouper les accessions en classes distinctes, dont l'une se démarque par de meilleures performances globales. Sur le plan sanitaire, dix espèces fongiques ont été identifiées, dont certaines pathogènes comme *Fusarium oxysporum* et *Aspergillus niger*, confirmant la nécessité de bonnes pratiques de stockage et de traitements appropriés.

Ces résultats constituent une base solide pour la sélection et la production de semences certifiées de haute qualité, adaptées aux conditions agroécologiques du Burkina Faso. Ils permettent également de renforcer la filière semencière locale en s'appuyant sur une approche intégrée, combinant les aspects physiques, physiologiques et sanitaires.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement le Fonds National pour la Recherche, l'Innovation et le Développement (FONRID) du Burkina Faso pour avoir financé cette étude à travers le projet FONRID-Jeunes chercheurs.

Conflit d'intérêt

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt financier ou autre.

Contribution des auteurs

L.N. et A.D. ont conduit l'essai et rédigé le texte principal du manuscrit et l'ont révisé. L.N, A.D. et Z.S.N ont préparé les figures et les tableaux. J.S et I.S ont corrigé le manuscrit et ont approuvé la version finale.

Références bibliographiques

- ABUGOCH L., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58 : 1-31.
- AL-BARAKAH F. & SOHAIB M., 2019. Évaluation de la réponse de germination des graines de *Chenopodium quinoa* à l'inoculation bactérienne dans différents milieux de germination et conditions de salinité. *Science et technologie des semences*, 47 : 161–169.
- BARNETT H. L. & HUNTER B. B., 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA, 218 p.
- BAZILE D., BERTERO H. D. & NIETO C., 2015. *State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013*. FAO/CIRAD, Rome, 589 p.
- CAMPOS-RODRIGUEZ R., MÁRQUEZ-LÓPEZ R. E. & LÓPEZ-GARCÍA R., 2022. Influence of seed coat color on bioactive compounds and antioxidant capacity in quinoa seeds. *Journal of Cereal Science*, 105: 103467.
- CECCATO D. V., BERTERO H. D., BATLLA D. & GALATI B. G., 2015. Structural aspects of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*): Importance and possible action mechanisms of the seed coat. *Seed Science Research*, 25(1) : 1–9.
- EL-ASSIUTY E. M., TAHA E. A., FAHMY Z. M. & FAHMY G. M., 2019. Détections histologiques et moléculaires des oospores de *Peronospora variabilis* Gäum dans les graines de quinoa (*Chenopodium quinoa* L.). *The Egyptian Society of Experimental Biology*, 15(2) : 197–203.
- FILHO M., 2015. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*, 2e éd. Abrates, Londrina, Brésil, 76 p.
- GAMBOA C., MUJICA A. & BONIFACIO A., 2018. Características físicas de semillas de quinua en la región altiplánica. In *State of the Art Report on Quinoa around the World*, BAZILE D. et al. (Eds.), FAO, Rome, p. 320–328.
- GOMAA E., 2014. Studies on some micro-macromorphological and anatomical characters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10 : 24–36.

HAGER A., TAYLOR J., DEBORAH W. & ELKE A., 2014. Gluten free beer – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 36 : 44–54.

HUSSIN S., KHALIFA W., GEISLER N. & KOYRO H. W., 2017. Influence de l'endophyte racinaire *Piriformospora indica* sur les relations hydriques de la plante, l'échange gazeux et la croissance de *Chenopodium quinoa* à une disponibilité en eau limitée. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203 : 373–384.

ISTA (International Seed Testing Association). (2024). *International rules for seed testing*. *Seed Science and Technology*, 21(Suppl.), 1–75.

MAGUIRE J. D., 1962. Speed of germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2) : 176–177.

MÄKINEN O., HAGER A. & ARENDT E., 2014. Localisation et développement des activités protéolytiques dans les graines de quinoa (*Chenopodium quinoa*) pendant la germination et le début de la croissance des plantules. *Journal of Cereal Science*, 60 : 484–489.

MANJARRES HERNÁNDEZ E. H., MORILLO CORONADO A. C. & REYES-ARDILA W. L., 2020. Seed quality of 22 quinoa materials (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the department of Boyacá. *Revista Ceres*, 67(4) : 306–314.

MATHUR S. B. & KONGSDAL O., 2003. *Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91744850>

MORENO F., PLAZA P. & MAGNITSKIY S., 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana*, 24(2) : 290–295.

NOBRE D. A. C., DAVID A. M. S. S., SOUZA V., OLIVEIRA D., GOMES A. A. M., AGUIAR P. M. & MOTA W., 2013. Influência do ambiente de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de amaranto. *Comunicata Scientiae*, 4(3) : 216–219.

R CORE TEAM, 2024. R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RAZZAGHI F., JACOBSEN S., JENSEN C. & NEUMANN A., 2015. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought -mechanism of tolerance. *Functional Plant Biology*, 42 : 136–148.

SANTOS E., PÓLA J. N., BARROS A. & PRETE C., 2007. Qualidade fisiológica e composição química das sementes de soja com variação na cor do tegumento. *Revista Brasileira de Sementes*, 29 : 20-26.

STRENSKE A., VASCONCELOS E. S., MICHELON N. D. & MALAVASI M. M., 2017. Responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds stored under different germination temperatures. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(1) : 83–88.

VALENCIA Z., CÁMARA F., CCAPA K., CATA CORA P. & QUISPE F., 2017. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista Sociedad Química del Perú*, 83 : 16–29.