

Réponses des paramètres agro-morphologiques et de la productivité du quinoa, à la fertilisation minérale et organique

DAO Abdalla^{1,*}, GNANDA Abdou², SANOU Jacob¹, GUIRA Amidou², NEBIÉ Louis²

Résumé

Le quinoa est une plante à haute valeur nutritive et résistant aux conditions environnementales extrêmes. Depuis son introduction en 2015, il fait l'objet d'études pour son adaptation aux conditions agro-écologiques du Burkina Faso. Deux études ont été conduites, de décembre 2017 à mai 2018 à Farako-Bâ et de novembre 2018 à février 2019 à Soumouso. Elles avaient pour objectif d'évaluer l'effet de la fertilisation organo-minérale sur la performance agronomique du quinoa. Pour la première étude, le dispositif split-split-plot a été utilisé avec trois variétés, trois niveaux de NPK (0, 50 et 100 kg/ha) et quatre niveaux d'urée (0, 50, 100, 150 kg/ha). Dans la deuxième étude, onze traitements comportant différents fertilisants organiques avec ou sans apport de la fertilisation minérale ont été évalués dans un bloc Fisher avec une seule variété. Les paramètres agro-morphologiques ont été observés. Une hausse du rendement grains a été constatée. Cette augmentation était de 74 % de 0 à 150 kg/ha d'urée et de 173 % de 0 à 100 kg/ha de NPK. Par contre l'effet de la fertilisation organique n'a pas été significatif. Les résultats de cette étude pourront être exploités pour l'élaboration de la fiche technique de culture du quinoa au Burkina Faso.

Mots-clés : Burkina Faso, *Chenopodium quinoa*, engrais, compost, rendement.

Quinoa agro-morphological parameters' response to mineral and organic fertilization

Abstract

Quinoa is a plant with high nutritional value and resistant to extreme environmental conditions. Since its introduction in 2015, it has been the subject of studies to adapt it to the agro-ecological conditions of Burkina Faso. Two studies were conducted, from december 2017 to may 2018 in Farako-Bâ and from november 2018 to february 2019 in Soumouso. Their objective was to evaluate the effect of organo-mineral fertilization on the agronomic performance of quinoa. For the first study, the split-split-plot design was used with three varieties, three NPK levels (0, 50 and 100 kg/ha) and four urea levels (0, 50, 100, 150 kg/ha). In the second study, eleven treatments composed of different organic fertilizers with or without mineral fertilization were evaluated in a RCBD with one variety. Agro-morphological parameters were observed. An increase in grain yield was noted. This increase was 74% from 0 to 150 kg/ha of urea and 1723% from 0 to 100 kg/ha of NPK. However, the effect of organic fertilization was not significant. The results of this study can be exploited to elaborate the quinoa culture fact sheet in Burkina Faso.

Keywords: Burkina Faso, *chenopodium quinoa*, nitrogen, compost, yield.

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Farako-Bâ, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

² Institut de Développement Rural (IDR), Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

* Auteur correspondant : dao_abdalla@yahoo.fr

Introduction

Le secteur agricole est une composante essentielle de l'économie du Burkina Faso. Il contribue pour 35 % au Produit Intérieur Brut (PIB) du pays et emploie 82 % de la population active (BARRY, 2016). La production agricole est quasiment basée sur la production céréalière composée du sorgho, du maïs, du mil, et du riz (MAAH, 2014). Les céréales constituent en effet la base de l'alimentation des populations. La dépendance liée à un choix limité de céréales mène à la récurrence de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Cette situation est encore aggravée par l'indisponibilité d'un stock céréalier en quantité et en qualité liée à la dégradation des sols, aux ravageurs et la sécheresse. Ainsi, la malnutrition dont le taux de prévalence est d'environ 30 %, est une difficulté structurelle rencontrée par le gouvernement burkinabé (MS, 2016).

L'introduction de nouvelles spéculations à haute valeur nutritive dans l'agriculture burkinabé pourrait contribuer à lutter contre l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Parmi les espèces, le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), une dicotylédone, originaire d'Amérique du sud. Grâce à sa variabilité génétique, le quinoa a un potentiel important à produire sous différentes conditions agro-climatiques (ADOLF *et al.*, 2013 ; SHABALA *et al.*, 2013). Sa culture peut ainsi contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle (BABATUNDE *et al.*, 2011). Elle est l'une des rares plantes alimentaires contenant tous les acides aminés essentiels, des oligo-éléments et des vitamines (OELKE *et al.*, 1992 ; WU *et al.*, 2014). Le succès des premières expérimentations menées au Burkina Faso sur le quinoa, ouvrent une voie d'explorer son potentiel de production. Le quinoa peut se développer sur des sols marginaux avec peu d'éléments nutritifs (JACOBSEN, 2003). Selon ERLEY *et al.* (2005), le quinoa répond favorablement à la fertilisation azotée avec un rendement grains estimé à 3.5 t/ha à 120 kg/ha d'azote. Cette étude a été initiée dans le but de déterminer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur la performance agronomique du quinoa.

I. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

Trois variétés de quinoa ont été utilisées dans cette étude à savoir Titicaca, Negra collana et Psankalla.

1.2. Site expérimental, dispositifs expérimentaux et conditions de culture

La présente étude a été conduite à la station expérimentale de Farako-Bâ (latitude : 11°10'54"N, longitude : 04°16'21"O, altitude : 405 mètres) et sur une parcelle expérimentale au village de Soumousso (11°0'46.203" de latitude nord, à 4°2'49.21" de longitude ouest et à une altitude de 316 mètres). Elle a été conduite en régime irrigué strict. Les sites d'étude sont situés dans la zone soudanienne plus précisément dans la province du Houet. La zone de l'étude est caractérisée par deux saisons bien distinctes ; une saison sèche allant d'octobre-novembre à mars-avril et une saison pluvieuse allant de mi-avril à la mi-novembre. Les périodes les plus chaudes vont de mi-février à mi-mai et les mois de novembre à janvier sont les périodes les plus froides. La première expérimentation a été conduite de décembre 2017 à mai 2018 à la station de recherche de Farako-Bâ. Le dispositif expérimental utilisé est un split-split-plot à trois répétitions, avec comme facteurs, l'engrais simple (urée à 46 % N), l'engrais composé (NPK: 14-23-14+6s) et la variété.

Les différentes doses de NPK (0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha) et d'urée (0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha et 150 kg/ha) ont été associées pour donner les différents dosages utilisés avec un témoin absolu. Aucun fertilisant minéral n'a été apporté dans le traitement témoin. Du compost à raison de 5 t/ha et du Burkina phosphate à la dose de 400 kg/ha ont été apportés comme fumure de fond. L'engrais NPK a été apporté au semis avec les différentes doses correspondant à chaque traitement. L'application de l'urée a été fractionnée en deux apports suivant le cycle des variétés et les doses d'urée affectées à chaque traitement. La deuxième expérimentation a été menée de novembre 2018 à février 2019 sur un site expérimental à Soumouso. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc Fisher à trois répétitions avec une seule variété (Titicaca). Trois fertilisants organiques, compost (5 t/ha), organova (1 t/ha) et fertinova (1 t/ha), ont été utilisés avec de l'urée (50 et 100 kg/ha) pour constituer onze types de traitements avec le traitement témoin où aucun fertilisant n'a été apporté (tableau I). Le compost a été localement fabriqué à la station de recherche de l'INERA/Farako-Bâ à partir des résidus de récoltes. Organova et Fertinova sont des produits commerciaux. Organova est un amendement organique, 100 % naturel, issu de la valorisation des déchets agricoles, de l'agro-industrie et de l'élevage. Il contient un minimum de 30 % de matière organique. Fertinova est un biofertilisant riche en matière organique, en éléments nutritifs (NPK) et en oligo-éléments d'origine naturelle.

Tableau I. composition des traitements

Traitement	Composition
T1	0 kg/ha Compost + 0 kg/ha Urée
T2	5 kg/ha Compost + 0 kg/ha Urée
T3	0 kg/ha Compost + 50 kg/ha Urée
T4	0 kg/ha Compost + 100 kg/ha Urée
T5	1 kg/ha Organova + 0 kg/ha Urée
T6	1 kg/ha Fertinova + 0 kg/ha Urée
T7	5 kg/ha Compost + 50 kg/ha Urée
T8	5 kg/ha Compost + 100 kg/ha Urée
T9	1 kg/ha Organova + 50 kg/ha Urée
T10	1 kg/ha Organova + 100 kg/ha Urée
T11	1 kg/ha Organova + 1 kg/ha Fertinova

L'analyse des échantillons de sol prélevés aux horizons 0-20 cm et 20-40 cm, a révélé que la parcelle expérimentale de Soumouso a une texture sablo-limoneuse. Tandis que celle de Farako-Bâ était sablo-limoneuse en surface et sablo-argileuse en profondeur. Sur l'ensemble des deux sites les taux d'azote et matière organique étaient inférieurs à 1 %. Le Rapport carbone sur azote (C/N) était de 10 à Soumouso tandis qu'à Farako-Bâ, ce rapport était de 12 au niveau de l'horizon 0-20 cm et 10 dans l'horizon 20-40 cm.

1.3. Caractères mesurés

Sept caractères ont été notés. La collecte de données a concerné les variables suivantes : La floraison (Flo50), elle a consisté à révéler le nombre de jour après semis quand 50 % des plantes de la parcelle utile a commencé à fleurir ; La hauteur des plantes (HP), elle a été prise du sol jusqu'au sommet de la panicule ; la teneur en chlorophylle des feuilles, elle a été mesurée avec un chlorophylle-mètre 25 jours après semis et au stade fin floraison ; Le poids de milles grains (PMG), il a été déterminé par comptage et pesage de 1 000 grains ; le poids de grains par plante (PGP), le nombre de ramifications (NR) et le rendement grains à l'hectare (RDT).

1.4. Analyses statistiques des données

L'analyse de variances a été faite à l'aide du logiciel SAS 9.3 (Statistical Analysis System) dans le but d'observer la variation au sein des traitements pour chaque variable observée. Elle a été suivie de la séparation des moyennes qui a été faite par le test de Student-Newman Keuls au seuil de 5 %. Ce test a été fait dans le but de comparer toutes les paires de moyennes en contrôlant le risque alpha global.

II. Résultats

2.1. Variabilité génétique et effet du NPK et de l'Urée sur la croissance et productivité du quinoa

L'analyse de la variance a montré que chacun des trois facteurs étudiés (NPK, Urée, Variété) a eu un effet significatif sur la variation de tous les caractères étudiés à l'exception de la floraison pour laquelle les différentes doses d'urée n'ont pas présenté une différence significative (tableau II). L'interaction entre l'urée et le NPK n'a pas été significative pour la floraison, le nombre de ramifications et le poids de grains par plante. L'interaction entre NPK et variété a été significative pour cinq des six caractères mesurés par contre l'interaction entre urée et variété a été significative pour seulement trois caractères. L'interaction entre les trois facteurs a été significative pour la majeure partie des caractères à l'exception de la floraison et du poids de grains par plante.

Les trois variétés ont présenté des caractéristiques de croissance et de productivité différentes. La variété Titicaca a été la plus précoce avec un cycle semis floraison de 40 jours et la plus petite en taille (63 cm) alors qu'elle a présenté les meilleurs paramètres de productivité (NR, PMG, PGP, RDT) avec un rendement moyen de 51 kg/ha.

Les paramètres agro-morphologiques ont répondu favorablement à l'augmentation des niveaux de NPK apportés (tableau III). Il ressort de cette analyse que les plantes ont atteint plus vite le stade floraison quand il y a un apport de NPK.

La hauteur des plantes (HP) et le nombre de ramifications (NR) ont accru avec l'augmentation des doses d'urée et de NPK. En effet les valeurs maximales pour ces paramètres ont été obtenues avec la dose la plus haute.

Le rendement grains (RDT) et le poids de grains par plante (PGP) ont répondu fortement aux différents niveaux d'urée et de NPK. Cette réponse a induit une augmentation de 74.28 % et 172.96 % du rendement grains, lorsqu'on passe respectivement de 0 à 150 kg/ha d'urée et 0 à 100 kg/ha de NPK. Pour le poids de grains par plante (PGP), cette augmentation a été respectivement de 50 % et 195 % lorsqu'on passe de 0 à 150 kg/ha d'urée et de 0 à 100 kg/ha de NPK.

Tableau II. Carré moyen des caractères agro-morphologiques et du rendement en fonction des variétés et des fertilisants minéraux

Facteurs	Flo50	HP (cm)	NR	PGP (g)	PMG (g)	RDT (kg/ha)
NPK	220,94 ***	176,53 ***	9,27 ***	0,5 ***	0,12 **	6449,59 ***
Urée	3,91 NS	267,95 ***	11,83 ***	0,03 ***	0,23 ***	1177,15 ***
NPK*Urée	14,49 NS	65,24 **	0,78 NS	0,06 NS	0,06 **	197,91 ***
Var	5418,06 ***	7194,13 ***	671,22 ***	0,96 ***	0,13 **	12299 ***
NPK*Var	37.394 *	90.010 ***	1.920 *	0.130 *	0.023 NS	1648.625 ***
Urée*Var	19.843 NS	44.770 **	1.391 NS	0.050 NS	0.175 ***	685.538 ***
NPK*Urée*Var	21.125 NS	61.530 ***	1.867 **	0.030 NS	0.122 ***	106.916 ***
E_RES	3,675	3,462	0,755	0,206	0,123	3,865
Moyenne	51,14	77,658	11,466	0,289	1,052	33,048
CV (%)	7,19	4,46	6,59	71,3	11,72	11,7

*, **, *** : significatif respectivement aux seuils de 5 %, 1 %, et 0,1 %. Flo50 : floraison à 50 %, HP : hauteur de la plante, NR : nombre de ramifications, PGP : poids de grains par plante, PMG : poids de 1000 grains, RDT : rendement.

Tableau III. Moyenne des caractères agro-morphologiques en fonction des variétés et des différentes doses de NPK et d'Urée

Facteurs	Flo50 (cm)	HP	NR (g)	PGP (g)	PMG (kg/ha)	RDT
Variétés	Titicaca	40,13 ^c	62,63 ^c	17,06 ^a	0,40 ^a	51,03 ^a
	Psankalla	49,08 ^b	98,13 ^a	7,51 ^c	0,05 ^b	4,99 ^c
	Négra	65,57 ^a	75,19 ^b	8,34 ^b	0,42 ^a	44,70 ^b
NPK (kg/ha)	0	54,05 ^a	76,07 ^b	10,97 ^c	0,15 ^b	19,266 ^c
	50	49,19 ^b	76,68 ^b	11,40 ^b	0,26 ^b	26,97 ^b
	100	50,14 ^b	79,96 ^a	12,04 ^a	0,44 ^a	52,59 ^a
Urée (kg/ha)	0	51,11 ^a	70,89 ^c	9,76 ^c	0,28 ^b	25,82 ^c
	50	51,11 ^a	79,11 ^b	11,94 ^b	0,25 ^b	28,37 ^c
	100	51,22 ^a	78,57 ^b	11,73 ^b	0,24 ^b	31,73 ^b
	150	51,11 ^a	81,70 ^a	12,46 ^a	0,36 ^a	45,08 ^a

Flo50 : floraison à 50%, HP : hauteur de la plante, NR : nombre de ramifications, PGP : poids de grains par plante, PMG : poids de 1000 grains, RDT : rendement.

La teneur en chlorophylle a augmenté significativement avec l'élévation des doses d'urée et de NPK (figure 2 et 3). La teneur maximale en chlorophylle a été obtenue à 150 kg/ha d'urée et à 50-100 kg/ha de NPK à 25 jours après semis. Au niveau de l'interaction entre l'urée et le NPK, la faible teneur en chlorophylle a été enregistrée avec le dosage témoin (0 kg/ha d'urée et de NPK) et la combinaison 0 kg/ha d'urée et 50 kg/ha de NPK. Cependant la combinaison des plus grandes doses d'urée et de NPK respectivement 150 et 100 kg/ha a donné la plus forte teneur en chlorophylle (51.78) à la fin du stade floraison.

Les résultats montrent que la fertilisation minérale à base d'urée ou de NPK, pris individuellement, a une influence sur le développement et la productivité du quinoa. La hauteur des plantes (HP), le nombre de ramifications (NR), le poids de grains par plante (PGP) et le rendement grains (RDT) ont connu une augmentation suivant la croissance des niveaux d'urée ou de NPK.

2.2. Effet de différents fertilisants organiques et de l'Urée sur la croissance et productivité du quinoa

L'analyse de variances a montré une différence significative pour tous les paramètres étudiés excepté le poids de mille grains entre les traitements, constitués de trois composts organiques avec ou sans apport d'urée.

Il n'y a eu aucune différence significative entre les effets du compost simple (5 t/ha), de l'organova (1 t/ha), du fertinova (1 t/ha), de l'organova + fertinova (1 t/ha chacun) et du témoin (sans apport de fertilisants) sur le rendement grains du quinoa (figure 1). Toutefois on note que parmi ces 5 traitements, le meilleur rendement (455 kg/ha) a été obtenu avec le compost simple et le faible rendement avec Fertinova (255 kg/ha).

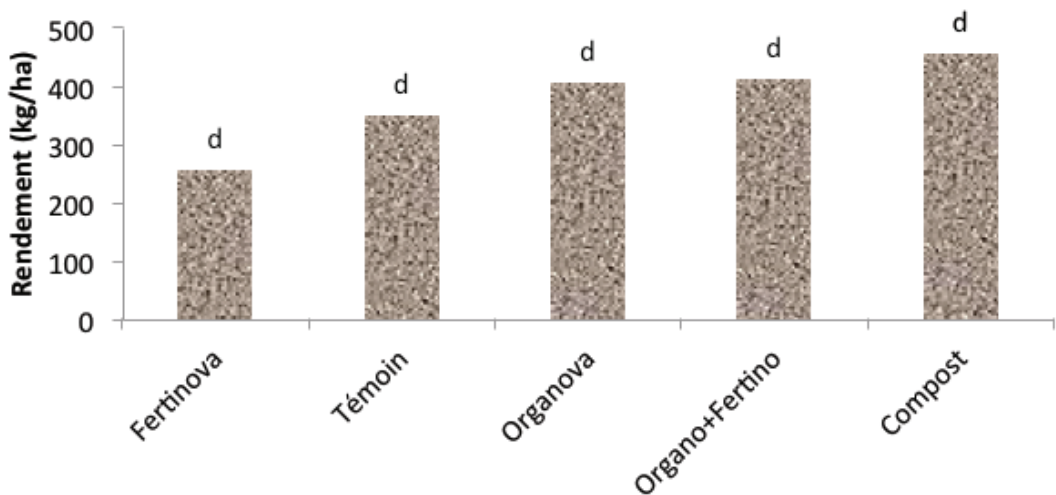


Figure 1. Influence des différents fertilisants organiques sur le rendement grains du quinoa.

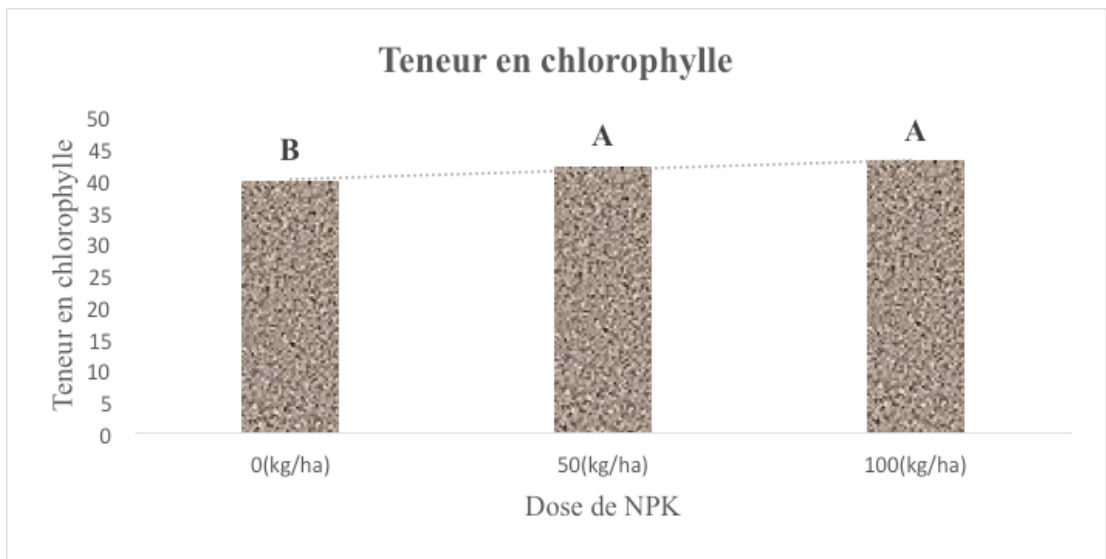


Figure 2. Influence des doses de NPK appliquées sur la teneur en chlorophylle à 25 JAS.

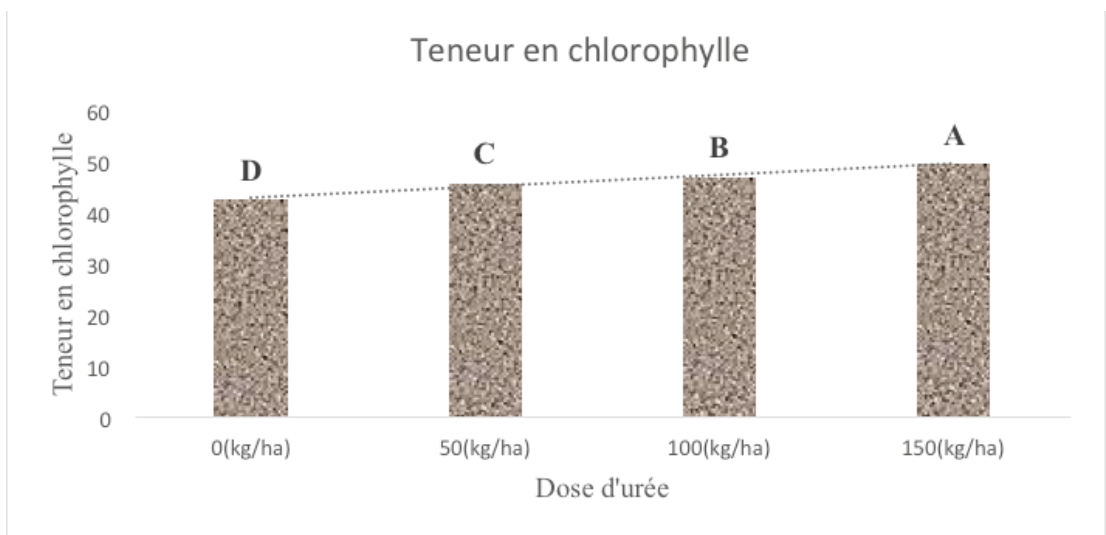


Figure 3. Influence des doses d'urée appliquées sur la teneur en chlorophylle à la fin du stade floraison.

Le tableau IV montre que l'apport de l'urée en plus du compost organique permet d'augmenter significativement le rendement. Un rendement 1059 kg/ha a été obtenu avec le traitement T8 (compost 5 t/ha + urée 100 kg/ha) contre 455 kg/ha pour le traitement T2 (compost simple de 5 t/ha). Il en est de même pour le rendement du traitement T10 (Organova + urée 100 kg/ha) qui a été de 934 kg/ha contre 406 kg/ha pour le traitement T5 (Organova 1 t/ha). L'analyse de ce tableau révèle également que l'apport de l'urée seul sans fertilisant organique permet d'obtenir les mêmes résultats.

L'analyse de l'effet des traitements sur le nombre ramifications, la hauteur de la plante et le poids de grains par plante a donné un résultat similaire à celui de l'effet des traitements sur le rendement (tableau IV).

Tableau IV. Influence de la fertilisation organique et de la fertilisation minérale azotée sur les caractères agro-morphologiques et le rendement grains du quinoa.

Traitements	Code	HP	NR	PGP	RDT
0 kg/ha Compost + 0 kg/ha Urée	T1	42,19 ^c	5,2 ^e	1,877 ^e	350,1 ^d
0 kg/ha Compost + 50 kg/ha Urée	T3	59,96 ^{ab}	10,6 ^{abc}	5,18 ^a	1036 ^a
0 kg/ha Compost + 100 kg/ha Urée	T4	61,6 ^a	12,2 ^a	4,855 ^a	971 ^a
1 kg/ha Fertinova + 0 kg/ha Urée	T6	49,99 ^{bc}	6,95 ^{de}	1,273 ^e	254,6 ^d
1 kg/ha Organova + 1 kg/ha Fertinova	T11	52,8 ^{abc}	8,2 ^{cd}	1,87 ^e	411 ^d
1 kg/ha Organova + 0 kg/ha Urée	T5	45,9 ^e	8,5 ^{cd}	2,032 ^{de}	406,4 ^d
1 kg/ha Organova + 50 kg/ha Urée	T9	59,8 ^{ab}	11,4 ^{ab}	3,145 ^{cd}	629,25 ^{bc}
1 kg/ha Organova + 100 kg/ha Urée	T10	61,7 ^a	10,6 ^{abc}	4,668 ^{ab}	933,6 ^a
5 kg/ha Compost + 0 kg/ha Urée	T2	50,1 ^{bc}	6,9 ^{de}	2,277 ^{de}	455,4 ^{cd}
5 kg/ha Compost + 50 kg/ha Urée	T7	48,7 ^{bc}	8,8 ^{bcd}	3,505 ^{bc}	701 ^b
5 kg/ha Compost + 100 kg/ha Urée	T8	62,23 ^a	9,8 ^{abc}	5,295 ^a	1059 ^a
	F	3,62	5,57	15,07	18,7
	Pr > F	0,0261	0,0056	<0,0001	<0,0001
	Erreur Résiduel	5,112	1,263	0,5237	93,699
	Moyenne	54,08	9,013	3,27	655,213
	LSD	11,391	2,815	1,167	208,78

HP : hauteur de la plante, NR : nombre de ramifications, PGP : poids de grains par plante, PMG : poids de 1000 grains, RDT : rendement. LSD Least Significant Difference. Les moyennes avec des lettres différentes sont statistiquement différentes

La teneur en chlorophylle a été plus élevée avec les traitements ayant reçus un apport d'urée. Ainsi les traitements T3 (50 kg/ha d'urée), T4 (100 kg/ha), T7 (5 t/ha de compost + 50 kg/ha d'urée), T8 (5 t/ha de compost + 100 kg/ha d'urée) et T10 (1 t/ha d'organova + 100 kg/ha d'urée) ont formé un groupe statistiquement homogène pour la teneur en chlorophylle tandis que le traitement T11 (1 t/ha d'organova + 1 t/ha de fertinova) a été statistiquement inférieur par rapport aux autres traitements (figure 4).

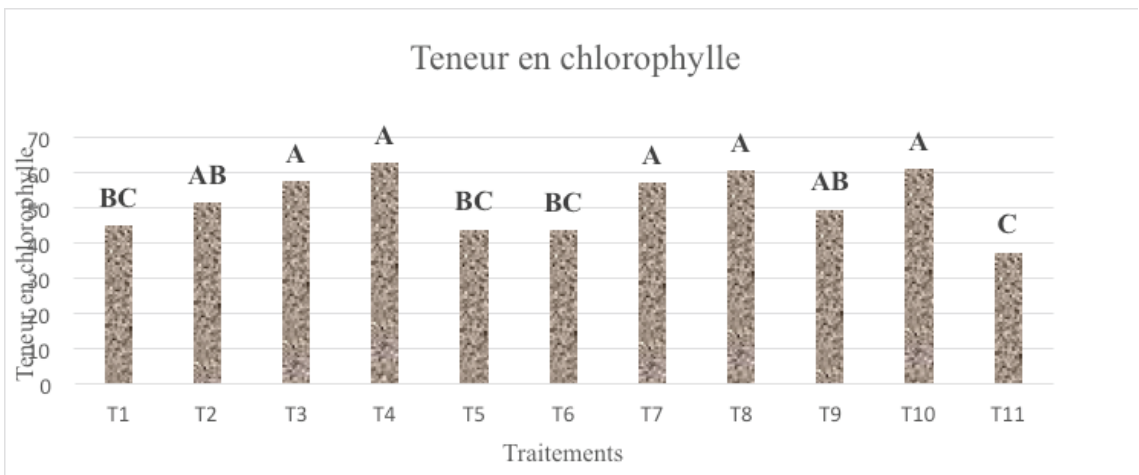


Figure 4. Influence de la fertilisation minérale et organique sur la teneur en chlorophylle à la fin du stade floraison.

III. Discussion

Le rendement grains, le poids de grains par plante, le poids de mille grains obtenus dans cette étude sont très faibles. Ces résultats pourraient être dus aux fortes températures du mois de février qui a coïncidé avec le stade de floraison entraînant l'avortement des fleurs et la brûlure des organes fructifères. Le pollen du quinoa ne tolère pas les températures élevées lors de la floraison. Cette intolérance à la chaleur varie selon la variété mais les températures dépassant 35° C peuvent causer la dormance et la production d'un pollen stérile. Des résultats similaires sont rapportés par MARCELO (2016) en Suisse et JACOBSEN (2017) au Maroc qui ont observé que lorsque les températures s'élèvent au-dessus de 38 °C pendant la mise en place des anthères, les fleurs de quinoa avortent et les plantes se débarrassent des grains.

Cependant plusieurs caractères agro-morphologiques ont été améliorés avec la croissance des taux de fertilisants minéraux (Urée et NPK). Le rendement a été environ 9 fois plus important en passant du témoin (0 kg/ha de NPK et d'urée) au niveau le plus élevé de dosage (100 kg/ha de NPK et 150 kg/ha d'urée). Cette augmentation en rendement grains aux forts taux d'azote et de NPK serait due d'une part à l'amélioration du développement du feuillage et à l'efficacité photosynthétique selon ARDUINI *et al.* (2006). D'autre part, cette augmentation serait liée au nombre de ramifications, à la hauteur des plantes et au diamètre de la tige selon MASSEDDAP *et al.* (2016). En effet, selon SHAMS (2012), l'azote stimule l'activité métabolique qui contribue à une augmentation des métabolites qui par conséquent provoquent une élévation des entre nœuds donc augmentent la taille et le nombre de ramifications. Ces métabolites fournissent également les composantes du rendement, augmentant ainsi le poids de grains par plante faisant ainsi que les rendements les plus élevés sont obtenus aux taux de fertilisants élevés. L'azote, le potassium et le phosphore sont les principaux éléments fertilisants du quinoa et un apport en ces éléments améliore le rendement et ses composantes. Le potassium améliore la croissance du quinoa, le phosphore lui, est beaucoup plus absorbé pendant le remplissage des grains. Des résul-

tats similaires sont rapportés par EL-BEHRI *et al.* (1993) ; SCHULTE *et al.* (2005) et POSIPIL *et al.* (2006). De plus, GOMAA (2013) en Égypte, affirme que le rendement, le nombre de ramifications et la hauteur de la plante du quinoa sont sous l'influence directe de l'azote et du phosphore. Ainsi un déficit en azote limite la division des cellules et son expansion, la production de feuilles, l'activité photosynthétique et le rendement (ZHAO *et al.*, 2003, 2005a, 2005b).

Le taux d'azote dans les feuilles est directement affecté par le taux d'azote dans le sol. Il est ainsi proportionnel à la chlorophylle contenue dans les feuilles (EVANS, 1983). Ce constat pourrait expliquer le fait que la teneur en chlorophylle augmente significativement suivant les niveaux croissants de la fertilisation. Ces résultats sont similaires à celui de VÁNYINÉ *et al.* (2012). Plusieurs études antérieures (EVANS, 1983 ; AMALIOTIS *et al.*, 2004) ont démontré cette liaison étroite qui existe entre l'azote contenue dans les feuilles et la chlorophylle. L'azote est un composant structural des molécules de protéines et de chlorophylle car 75 % de l'azote contenu dans les feuilles est utilisé pour la mise en place des chloroplastes (HAK *et al.*, 1993) et l'accroissement de la chlorophylle ((DAUGHTRY *et al.*, 2000).

Les fertilisants organiques ont eu un effet négligeable sur le rendement du quinoa dans la présente étude. Un effet insignifiant du fumier sur la productivité du quinoa a, en effet, été rapporté par GARCIA *et al.* (2015). L'application de la fertilisation organique à une quantité inappropriée et à une période donnée n'améliore pas nécessairement les caractéristiques du sol. Des études réalisées en Amérique du sud ont montré qu'un délai de 60 à 45 jours avant le semis est nécessaire pour que l'application du fumier puisse influencer la production du quinoa (MIRANDA, 2012). Ce délai est beaucoup réduit s'il s'agit du compost, car sa décomposition et la libération de l'azote sont relativement rapide.

En effet, lorsque le quinoa est semé à la suite d'une céréale l'utilisation de la matière organique est nécessaire dans un ratio d'au moins 3 t/ha (GARCIA *et al.*, 2015). Mais dans le cadre de la production de quinoa biologique, une grande quantité de fumier ou du compost doit être appliquée et à un moment très favorable pour que la production soit économiquement rentable pour le producteur.

Conclusion

Il ressort de cette étude que les niveaux croissants d'urée et de NPK ont induit une croissance significative des paramètres agro-morphologiques étudiés. Une hausse de rendement grains de 74 % et de 173 % a été constaté lorsqu'on passe respectivement de 0 à 150 kg/ha d'urée et de 0 à 100 kg/ha de NPK. Dans la deuxième expérimentation, il ressort que l'apport d'urée avec ou sans apport de fertilisants organiques permet d'augmenter significativement le rendement grains du quinoa. Les résultats ont montré également que les fertilisants organiques utilisés dans cette étude influenceraient significativement le rendement grains du quinoa que lorsqu'ils sont appliqués en un temps approprié avant le semis. Le quinoa est beaucoup connu pour la haute qualité de ses protéines suggérant une forte demande d'azote du sol. Ainsi pour augmenter le rendement du quinoa de façon substantielle il est important de faire recours à la fertilisation minérale.

Les résultats obtenus pourront permettre d'orienter les producteurs sur la fertilisation du quinoa. Toutefois d'autres études seront nécessaires pour déterminer les doses économiques des fertilisants et la période optimale d'application.

Remerciements

Les auteurs remercient la représentation régionale de la FAO au Ghana et sa représentation au Burkina Faso pour le soutien financier.

Références bibliographiques

- ADOLF V. I., JACOBSEN S. E. SHABALA S., 2013.** Salt tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Environmental Experimental Botany*. Pp.43-54.
- AMALIOTIS D., THERIOS I., KARATISSIOU M., 2004.** Effect of nitrogen fertilization on growth, leaf nutrient concentration and photosynthesis in three peach cultivars. *ISHS Acta Hort.*, 449 :p 36-42.
- ARDUINI I., MASONI A., ERCOLI L., MARIOTTI M., 2006.** Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *Eur. J. Agron.*, 25 :p309-318.
- BARRY S., 2016.** Déterminants socioéconomiques et institutionnels de l'adoption des variétés améliorées de maïs dans le Centre-Sud du Burkina Faso. *Revue d'Economie Théorique et Appliquée* 6(2): 221-238
- BENES E., CRESPO F., MADRIGAL K., 2001.** The quinoa cluster: competitive diagnosis and strategic recommendations. Pp. 54.
- DAUGHTRY C. S. T., WALTHALL C. I., KIM M. S., BROWN DE COLSTROUN E., MCMURTREY J. E., 2000.** Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Rem.Sens.environ.*, 74 :p1218-1224.
- ELBEHRI D. H., PUTNAM et SCHMITT M., 1993.** Nitrogen fertilizer emergence in wheat and barley. *Crop Sci.*, 31 :p1218-1224.
- ERLEY G. S. A., KAUL H., KRUSE M., AUFHAMMER W., 2005.** Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *Eur. J. Agron.*, 22 :p95-100.
- EVANS J. R., 1983.** Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.*, 72 : 297-302.
- GARCIA M., CONDORI B., DEL CASTILLO C., 2015.** Agroecological and Agronomic Cultural Practices of Quinoa in South America. Chapter 3. In *Quinoa: improvement and sustainable production*, p 25-45.
- HAK R., U. RINDERLE-ZIMMER, H. K. LICHTENTHALER et L. NATR, 1993.** Chlorophyll a fluorescence signatures of nitrogen deficient barley leaves. *Photosynthetica*, 28 : p151-159.
- JACOBSEN S. E., MUJICA A., JENSEN C. R., 2003.** The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Rev. Int.* 19:99-109.
- MARCELO V., 2016.** Impacts de l'essor international du quinoa, Bachelor, Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)/ Filière Economie d'Entreprise, Genève. 67p.
- Ministère de la santé, décembre 2016.** Rapport final : enquête nutritionnelle. 53p.
- MIRANDA R., 2012.** Organic matter requirement for sustainable production of quinoa in the Central and Southern Bolivian Altiplano. Doctoral research. Universidad Feral de Santa Maria, Brasil.
- MIRANDA R., 2012.** Organic matter requirements for a sustainable production of quinoa in the Central and Southern Bolivian Altiplano. Doctoral research. Universidad Federal de Santa Maria, Brazil.
- POSPISIL A., M. POSPISIL, B. VARGA, B et Z. SVECNJAK 2006.** Grain yield and protein concentration of two amaranth species as influenced by nitrogen fertilization. *Europ. J. Agron.*, 25 (3) : p205-253.
- SCHULTE A. E. G., H. P. KAUL, M. KRUSE et W. AUFHAMMER, 2005.** Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*. 22 (1) : p95-100.

- SHABALA S., HARIADI Y. et JACOBSEN S. E., 2013.** Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na⁺ loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiology*. Vol.170. Pp.906-914.
- SHAMS A. S., 2012.** response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. In Proc. 13th international Conf. Agron., Fac.of Agric., Benha Univ., Egypt, 9-10 September 2012. p195-205.
- VÁNYINÉ A. S., B. TÓTH and J. NAGY, 2012.** Effect of nitrogen doses on the chlorophyll concentration, yield and protein content of different genotype maize hybrids in Hundry. *Afr.J.Agric. Res.*, 7 : p2546-2552.
- WU M., ROBINSON J. E., JOINER W. J., 2014.** SLEEPLESS is a Bifunctional Regulator of Excitability and Cholinergic Synaptic. *Curr. Biol.* 24(6) : 621-629.
- ZHAO, D. K. R. REDDY, V. G. KAKANI and V.R. REDDY, 2005B.** Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Eur. J. Agron.*, 22 : p391-403.
- ZHAO, D. K. R. REDDY, V. G. KAKANI, J. J., READ and G. A. CARTER, 2003.** Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant soil*, 257 : p205-207.
- ZHAO, D.K.R. REDDY, V.G. KAKANI, J.J. READ and S. KOTI, 2005a.** Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agron. J.*, 97 :p89-98.