



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets de la déficience en phosphore du sol sur la croissance et le développement du sésame (*Sesamum indicum* L.)

Seyni BOUREIMA* et Laouali IBRAHIM MAHAMAN

Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo, BP 465 Maradi, Niger.

*Auteur correspondant ; E-mail : boureimaseyni@yahoo.fr

RESUME

Le sésame (*Sesamum indicum* L.) est un protéoléagineux à haute valeur ajoutée et cultivé dans les régions chaudes. Sa culture connaît un réel intérêt pour les producteurs sahéliens ces dernières années. Malheureusement dans ces régions, les sols sont trop pauvres en éléments fertilisants, principalement le phosphore. Cette étude vise à évaluer les effets de la déficience en phosphore sur la croissance et le développement de plantes de sésame. Un essai a été conduit en pots dans un dispositif en bloc complet randomisé avec 2 facteurs. La variété à 10 modalités correspondant à 10 variétés de sésame vulgarisées au Niger et le phosphore à 2 modalités (condition optimale ou témoin et condition de déficience). Il ressort des résultats que la déficience en phosphore retarde la floraison de la seule variété 38-1-7 de 4 jours, réduit les biomasses aériennes de 71% et racinaire de 68%. La déficience réduit également, le nombre de feuilles et la taille des plantes. En utilisant le ratio de la biomasse aérienne en condition de déficience et celle en condition optimale de nutrition phosphatée comme *proxy*, les variétés DS01 et HB168 sont les plus tolérantes à la déficience en phosphore du sol. Le ratio peut donc être utilisé comme critère de criblage rapide pour la tolérance à la déficience en phosphore du sol et identifier des variétés potentielles.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Nutrition, fertilisants, croissance, *Sesamum indicum* L., Sahel.

Effects of phosphorus deficiency on the growth and development of sesame (*Sesamum indicum* L.)

ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a high added value oil and protein crop grown in hot regions of the world. Sesame production has seen a real interest for Sahelian producers in recent years. Unfortunately, in these regions, soils are too poor in nutrients, mainly phosphorus. This study aims to assess the effects of this phosphorus deficiency on the growth and development of sesame plant. A trial was conducted in pots in a completely randomized block design with 2 factors: the "Variety" with 10 modalities corresponding to 10 varieties of sesame vulgarized in Niger and the "Phosphorus" with 2 modalities (optimal or control condition and deficiency condition). The results show that phosphorus deficiency delays flowering of variety 38-1-7 by 4 days, reduces aboveground biomass by 71% and root biomass by 68% as well as the number of leaves and the height of the plants. Using the ratio of aboveground biomass in deficient condition and that in optimal condition of phosphorus nutrition as *proxy*, varieties DS01 and HB168 are the most tolerant to phosphorus deficiency in the soil. The ratio can therefore be used as a criterion for rapid screening for tolerance to soil phosphorus deficiency and to identify potential varieties.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Nutrition, fertilizer, growth, *Sesamum indicum* L., Sahel

INTRODUCTION

Le sésame (*Sesamum indicum* L.) est l'une des plantes oléagineuses les plus anciennes, les plus connues et les plus utilisées par l'Homme. Ses graines sont très riches en huile (50%), en protéines (25%), en oligo-éléments mais aussi en antioxydants (Tunde-Akintunde and Akintunde, 2004 ; Moazzami et al., 2007). La production mondiale de sésame n'a cessé d'augmenter durant ces dernières années. En effet, entre 2008 et 2017, le volume de production a augmenté de 26%, passant de 5 015 600 t à 6 314 700 t (FAO, 2019). Il en est de même pour les superficies emblavées qui ont connu une expansion de 19% pendant cette dernière décennie mais avec un rendement moyen à l'hectare toujours faible (596 kg ha⁻¹).

En Afrique, le sésame est cultivé dans au moins 23 pays dont les plus grands producteurs sont le Soudan avec une production de 736 400 t, le Nigeria avec 384 800 t et l'Éthiopie avec 262 100 t (FAO, 2019). Par ailleurs, la demande en grains de sésame sur le marché international est de plus en plus forte ; le prix de la tonne fluctue en moyenne autour de 176 456 FCFA en Afrique de l'Ouest (Mali, Niger, Gambie) et à plus de 4 393 031 francs CFA en République de Corée (FAO, 2008). La promotion de cette culture constitue sans doute à l'égard des partenaires au développement et des gouvernements africains, une opportunité non seulement pour diversifier les cultures mais aussi pour lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire qui frappe les pays. Les débouchés et le potentiel existent dans ces pays mais attendent d'être mis en synergie pour créer une véritable dynamique de cette filière.

Au Niger, cette culture a connu une extension remarquable pendant ces dernières années. En effet, les superficies emblavées en sésame ont connu un accroissement de 30% et la production de 38%, mais les rendements restent toujours très bas de l'ordre de 448 kg ha⁻¹ (MA/DS, 2019). Le pays est fréquemment confronté aux phénomènes de sécheresse et d'appauvrissement des terres cultivables, ayant pour conséquence la destruction de l'environnement agricole. Ainsi, les rendements des principales cultures de rente telles que le

niébé et l'arachide, baissent d'une manière considérable. Il est urgent pour le pays de réfléchir sur la mise au point d'un matériel végétal de substitution capable de résister et de produire dans de telles conditions. C'est ainsi que les projets et politiques agricoles se tournent vers le sésame. Du fait de ses besoins modestes en eau (Boureima, 2005), de sa plasticité, et en raison de la haute valeur ajoutée par ses produits, le sésame apparaît aujourd'hui comme une culture émergente pour le pays. Par exemple, la production de grains de sésame au Niger qui était de 60 000 t en 2018 (MA/DS, 2019) est bien loin de la forte demande du marché international et la plante est cultivable dans toutes les régions à vocation agricole (LUCOP-Ti, 2008). Les possibilités de production pour les agriculteurs nigériens sont donc non négligeables.

L'augmentation actuelle de la production du sésame au Niger n'est pas liée à l'amélioration de la productivité de la culture mais à l'accroissement des superficies emblavées. Le rendement national qui tourne autour de 448 kg ha⁻¹ demeure inférieur au rendement potentiel de la culture qui est supérieur à 1t ha⁻¹ (Boureima, 2007). Cette contreperformance est surtout due à l'indisponibilité de variétés améliorées à la portée des paysans, la pauvreté des sols en phosphore d'une part ; et à la non maîtrise des itinéraires techniques d'autre part.

Les systèmes de culture sahéliens sont caractérisés par des sols fortement altérés, une extraction des nutriments avec des faibles apports externes (Nacro et al., 2010) qui, au fil des siècles ont produit des sols extrêmement pauvres en phosphore avec des valeurs souvent inférieures 5 mg Bray-P kg⁻¹ de sol (Buerkert et al., 2000). Cette déficience en phosphore du sol est connue pour retarder la floraison chez les céréales (Beggi et al., 2015), les exposant ainsi aux sécheresses de fin de cycle (très fréquentes au Niger) par allongement du cycle végétatif. Or, la culture du sésame est habituellement léguée à ces types de sols généralement pauvres en phosphore et à notre connaissance aucune étude n'a été faite dans ce sens en ce qui concerne la plante.

Cette étude avait pour objectifs de : i) caractériser le comportement phénologique de

huit variétés améliorées et deux variétés locales de sésame en conditions de sol déficient en phosphore ; et ii) évaluer l'effet de la déficience en phosphore sur la croissance de ces variétés.

MATERIEL ET METHODES

Caractéristiques du site expérimental

L'essai a été conduit à l'air libre dans une enceinte grillagée de l'Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi. Un thermohygromètre (Tinytag Ultra 2 TGU-4500 Gemini Dataloggers Ltd, Chichester, UK) a été installé dès le début de l'expérimentation pour enregistrer les données micro-climatiques (température et humidité relative). Au cours de la période expérimentale qui a duré 45 jours (5 septembre au 20 octobre 2015), les minima et les maxima de l'humidité relative ont fluctué entre 15 et 100% et celles des températures entre 20,7 °C et 48,4 °C.

Le substrat de culture était constitué par du sol de texture sableuse, pauvre en phosphore, provenant du site expérimental de la Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement de l'Université de Maradi. Une caractérisation chimique de ce sol a été réalisée au laboratoire sol de l'ICRISAT à Niamey. Pour ce faire, un échantillon de sol a été prélevé pour les horizons 0-20 cm et 20-40 cm avant l'installation de l'essai. Les analyses ont essentiellement porté sur le pH, les bases échangeables, le phosphore, l'azote, et le potassium (Tableau 1).

Matériel végétal

Dix variétés de sésame ont été utilisées dans cette étude. Les caractéristiques agronomiques de ces variétés sont présentées dans le Tableau 2. Ces variétés ont été choisies sur la base de leur cycle (précocité), la couleur des graines (crème) et leurs rendements.

Dispositif expérimental

Un dispositif en blocs complets randomisés a été utilisé avec la fertilisation à deux niveaux et la variété à 10 modalités comme facteurs étudiés. Ces 20 traitements ont été répétés 5 fois, soit un total de 100 pots. L'unité expérimentale est représentée par un pot. Pour des besoins pratiques et afin que les

plantes fertilisées avec la dose optimale de phosphore ne fassent pas écran pour la lumière à celles non fertilisées, les deux grands blocs ont été séparés de 4 m.

Conditions expérimentales

Des pots en plastique de 5 litres (23 cm de diamètre x 20 cm de hauteur) ont été utilisés pour cette expérimentation ; les fonds des pots ont été troués et recouverts d'une pièce de tamiseur en nylon afin de faciliter le drainage. Chaque pot a été rempli de 4 kg de sol. Le sol utilisé a été préalablement tamisé (diamètre 2 mm) pour le débarrasser des débris. A la veille du semis, une application du fongicide CAIMAN R (perméthrine + thirame) a été faite puis les pots témoins ont été fertilisés avec 1,5 g de Diammonium phosphate (DAP) correspondant à une teneur de 300 ppm de phosphore du sol. Un apport de 0,27 g d'urée a été effectué dans les pots non fertilisés correspondant à l'apport azoté du DAP de telle sorte que les deux traitements ne diffèrent que par le niveau de phosphore. Les pots ont ensuite été arrosés à la capacité au champ. Le semis a été effectué à raison de 5 graines de sésame par pot. Après la levée, et quand les plants ont atteint une vigueur satisfaisante (2 semaines après semis), les pots ont été démariés à un plant. Pendant tout le cycle, l'arrosage des plantes a été régulièrement effectué à la capacité au champ au besoin tout en évitant l'engorgement du sol souvent responsable de la mortalité des jeunes plants.

Observations phénologiques et mesures des paramètres agromorphologiques

Des observations phénologiques ont été faites sur chaque pot et ont porté sur les dates de levée, de floraison (journalière à partir de la date d'apparition des premiers boutons floraux).

A la fin de l'expérimentation, lorsque toutes les variétés ont fleuri, le nombre de feuilles sur pied (NF) et la hauteur de chaque plante (HP) ont été évalués. Les parties aériennes (feuilles et tiges) ont été coupées et mises à sécher à l'étuve à 60 °C jusqu'à poids constant (48 h) puis les poids secs ont été déterminés avec une balance de précision (ADAM, précision d= 0,1g). De même, les racines ont été prélevées puis séchées à l'étuve

à 60 °C pendant 72 heures et leurs poids secs ont été évalués à l'aide de la même balance de précision. Enfin, le rapport de la biomasse racinaire sèche et celle aérienne a été calculé.

Contrôle phytosanitaire

Dès le début, les pots n'ont pas été déposés à même le sol, mais sur une pièce de plastique en polypropylène (pour empêcher l'infestation des champignons à travers les trous qui assurent le drainage) et le sol de culture avait été traité au fongicide CAIMAN R (Permethrine + Thirame) à la veille du semis. Pendant l'expérimentation, un suivi phytosanitaire avait été effectué tous les jours afin d'apporter des traitements appropriés en cas d'attaque de nuisibles.

Analyses statistiques

Les différences entre les traitements étudiés ont été testées à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA) grâce aux logiciels Statistix (Analytical Software, Tallahassee, FL, version 9). Les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Tukey HSD au seuil de 5%.

Le retard de la floraison représente la différence entre la date de floraison d'une variété donnée en conditions d'alimentation limitante en phosphore par répétition et la moyenne des 4 répétitions de la date de floraison de la même variété en conditions optimales (témoins).

Tableau 1 : Résultats des analyses physicochimiques du sol de culture.

Profondeur (cm)	N-total (mg/kg)	P-Bray1 (mg/kg)	CEC-AgTu (cmol⁺/kg)	K-total (mg/kg)	pH (UI)
0-20	32,8	2,50	3,3	268,5	5,6
20-40	24,9	1,48	3,4	381,8	5,3

N = azote, P= phosphore, CEC = Capacité d'échange cationique, K=potassium

Tableau 2: Caractéristiques agronomiques des variétés utilisées dans l'étude.

Variété	Cycle (jours)	Rendement (kg ha⁻¹)	Provenance	Poids de 1000 graines (g)
38-1-7	95	1455	Burkina Faso	3,03
HB 168	90	2800	FASE/UDDM	3,57
SN 103	80	1500	INRAN	3
SN 203	75	1500	INRAN	4
SN 303	80	1500	INRAN	3
SN 403	80	1500	INRAN	4
SN 01-04	80	1400	INRAN	3
SN 01-06	85	600	FAN/UAM	2,92
DS 01	90	1500	Dadin Sarki	4
GK 01	90	1400	Locale Gounaka	3,5

UDDM: Université Dan Dicko Dankoulodo, FASE: Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, FAN/UAM: Faculté d'Agronomie de Niamey/Université Abdou Moumouni, INRAN : Institut National de la Recherche Agronomique du Niger.

RESULTATS

Effets sur les paramètres de croissance et de développement

La déficience en phosphore du sol affecte de manière significative les biomasses aérienne et racinaire, le nombre de feuilles, la taille des plantes et la date de floraison chez le sésame. Il existe par ailleurs une différence variétale significative pour le nombre de feuille, la taille des plantes et une interaction fertilisation * variété significative en ce qui concerne la date de floraison (Tableau 3).

La biomasse aérienne était réduite de 71% en conditions de déficience en phosphore passant de 2,73 g en conditions optimales à 1,93 g en condition de déficit (Figure 1). La limitation de la nutrition phosphatée a également réduit la biomasse racinaire des plantes de sésame de 68%, passant de 1,95 g à 1,32 g.

Une déficience en phosphore réduit aussi le nombre de feuilles. Les plantes cultivées en conditions d'alimentation phosphatée optimales ont plus de feuilles (39 en moyenne) que celles cultivées en conditions de déficience (30 en moyenne) (Figure 1). Il existe cependant une différence variétale en ce qui concerne le nombre de feuilles. Les variétés 38-1-7 et HB 168 ont le plus grand nombre de feuilles alors que la SN 01-04 présente le plus faible nombre de feuilles (Figure 2).

La croissance en hauteur des plantes est retardée par une limitation de la nutrition en phosphore. En effet, cette taille des plantes est de 50,64 cm en moyenne en conditions optimales contre 43,97 cm en conditions d'alimentation limitée en phosphore (Figure 1).

Par ailleurs, une différence variétale était mise en évidence par l'analyse statistique. La variété SN 01-06 avait la plus grande taille (57 cm) et la variété 38-1-7 la plus petite avec 39,62 cm (Figure 3). En ce qui concerne le développement des plantes, la variété 38-1-7 était la plus sensible à une déficience en phosphore du sol. En effet, la floraison est retardée de 4 jours pour la 38-1-7 et de 1 jour pour GK01 lorsqu'elles sont cultivées dans des conditions où le sol est déficient en phosphore alors qu'il n'y a pas de variation chez les autres variétés (Tableau 4).

Il existe une relation linéaire significative entre la biomasse des différentes variétés produites en conditions d'alimentation optimale en phosphore et en conditions limitées ($R^2 = 0,46$, Figure 4). Une relation linéaire significative ($R^2 = 0,77$, Figure 5) a également été mise en évidence entre les résidus de la biomasse et le ratio de la biomasse aérienne (biomasse en conditions de déficience/biomasse en conditions optimales).

Identification des variétés tolérantes à la déficience en phosphore

En utilisant le ratio de la biomasse aérienne en conditions de déficience et la biomasse en conditions optimales comme critère de tolérance à la déficience en phosphore du sol, les variétés DS01 et HB168 présentent les ratios les plus élevés 0,72 et 0,77, respectivement. Ces deux variétés ont aussi des biomasses aériennes élevées en condition d'alimentation optimale en phosphore. De ce fait, les variétés DS01 et HB168 sont les plus tolérantes à la déficience en phosphore du sol.

Tableau 3: Carrés moyens de l'ANOVA des différents paramètres de croissance et du développement des variétés de sésame.

Source	BA (g)	BR (g)	Ratio	NF	Taille (cm)	Fl (jours)
Fertilisation (F)	15,936**	9,906**	0,103	2028,77**	1108,14**	6,796**
Variété (V)	0,412	0,631	0,122	349,68**	216,68**	9,680**
F*V	0,218	0,165	0,032	53,43	38,13	4,059**
Erreur	0,500	0,518	0,105	69,49	67,68	0,059

BA : biomasse aérienne, BR : biomasse racinaire, NF : nombre de feuilles, Fl : floraison.

** significatif à P = 0,01

Tableau 4: Retard de floraison dû à la déficience en phosphore du sol chez le sésame.

Variété	Retard de floraison (jours)
38-1-7	4
GK01	1,2
DS01	0
HB168	0
SN01-04	0
SN01-06	0
SN103	0
SN203	0
SN303	0
SN403	0

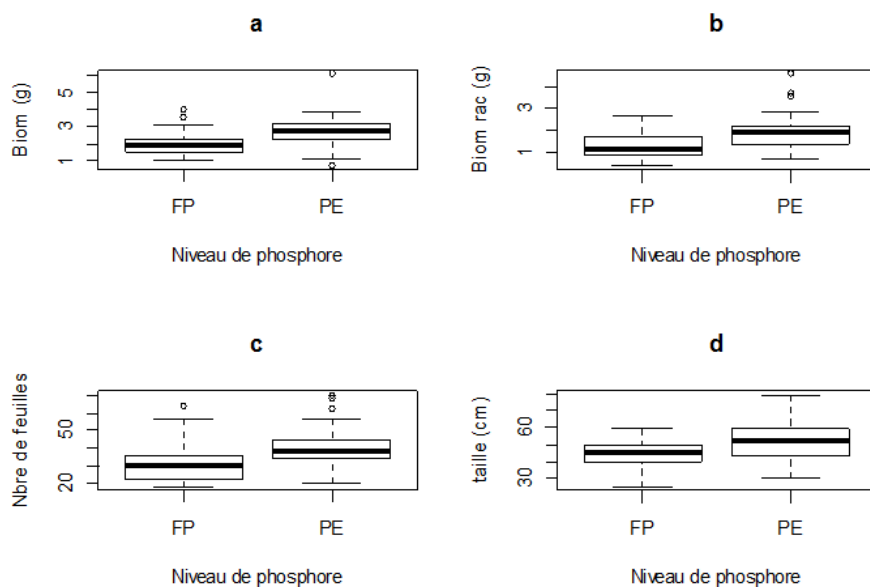


Figure 1 : Les biomasses aérienne et racinaire, le nombre de feuille et la taille des plantes de 10 variétés de sésame en condition de déficience (FP) et optimale (PE) en phosphore.

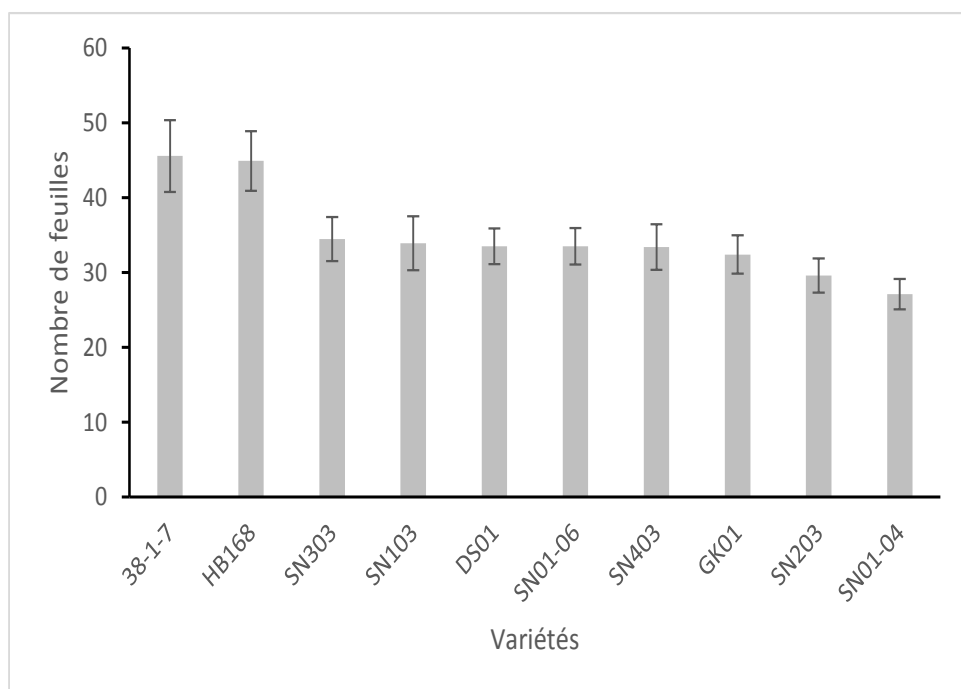


Figure 2: Nombre de feuilles en fonction des variétés de sésame.

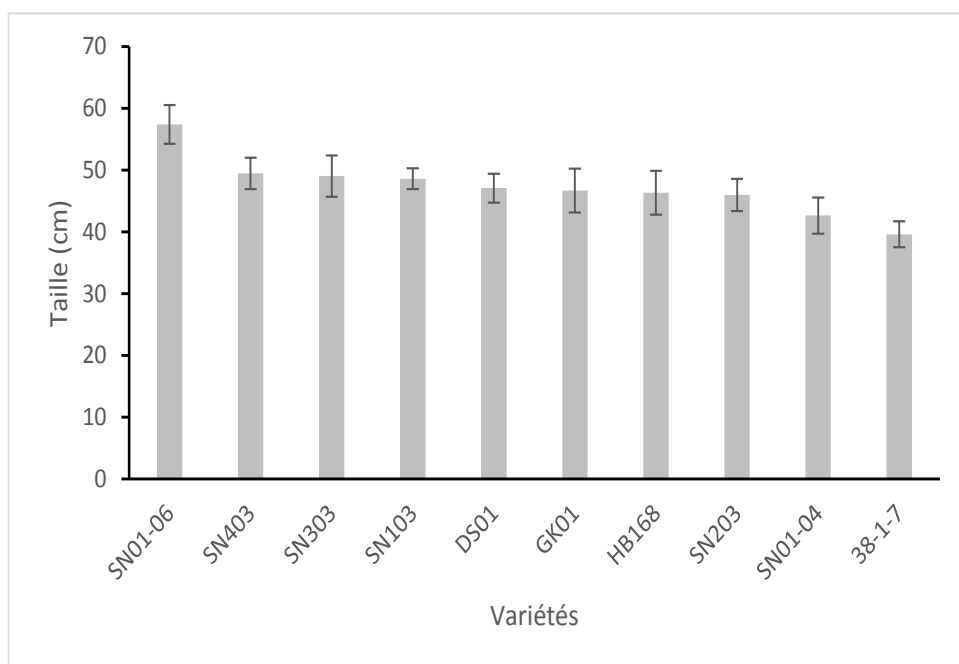


Figure 3: Taille en fonction des variétés de sésame.

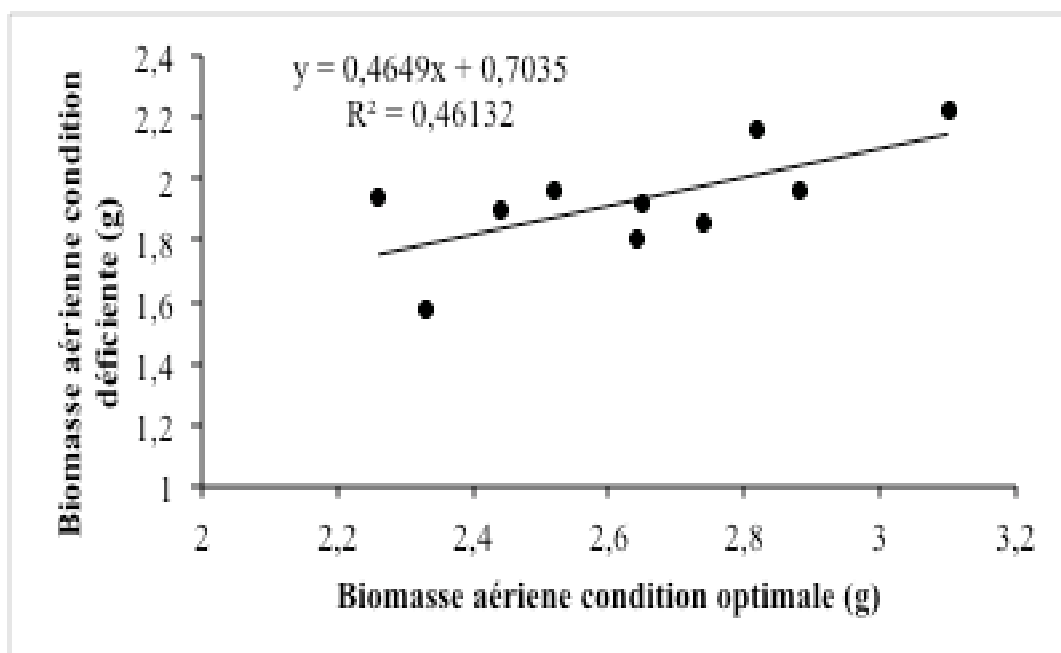


Figure 4: Relation entre la biomasse en conditions optimale (PE) et la biomasse en conditions de faible teneur en phosphore (FP).

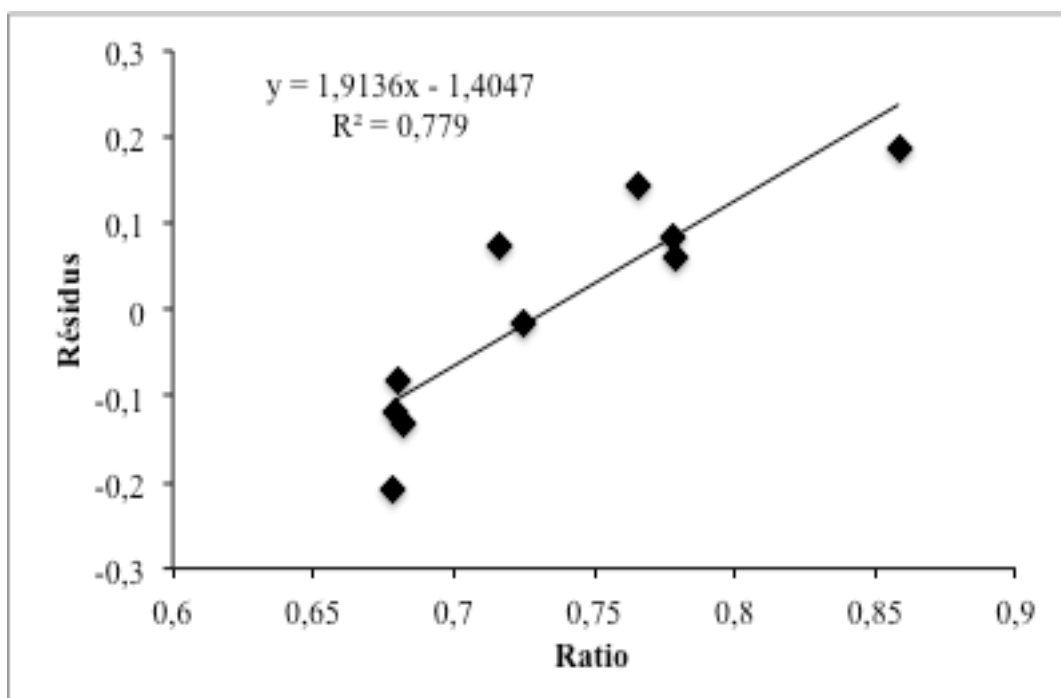


Figure 5: Relation entre les résidus de la biomasse et le ratio de la biomasse aérienne (biomasse en conditions de déficience/biomasse en conditions optimales).

DISCUSSION

Au cours de l'expérimentation, les conditions d'alimentation hydrique ont été satisfaisantes.

En effet, les plantes ont été maintenues à la capacité au champ durant toute la durée de l'essai.

Le pH du sol utilisé (5,3 - 5,6) correspond bien à la gamme de 5 - 8 recommandée par Langham et al. (2009), comme celle permettant d'assurer une bonne croissance du sésame.

Le sol utilisé est déficient en phosphore (avec 2,5 ppm dans l'horizon de 0-20 cm et 1,48 ppm dans celui de 20-40 cm). En effet, selon Badjissaga, (2007) près de 80% des sols de l'Afrique sub-saharienne sont carencés en phosphore.

Les températures enregistrées ont évolué entre 20,7 °C et 48,40 °C. Cette gamme de température est bien favorable à la croissance et au développement du sésame.

Au cours de la période expérimentale, les minima et les maxima de l'humidité relative ont fluctué entre 15% et 100%. Ce paramètre a été de même favorable à la culture des plantes.

Le phosphore est généralement connu comme l'élément nutritif qui assure la croissance et le développement chez les végétaux. Dans les sols ferrugineux tropicaux acides, le problème est que le phosphore peut être en grande partie fixé par les oxydes, hydroxydes et oxyhydroxydes de Fe et Al et les minéraux argileux, qui le rend moins disponible ou efficace pour les plantes (Tamungang et al., 2016). Selon Beggi et al. (2015), sa déficience provoque un retard de floraison chez le mil. Chez les différentes variétés de sésame étudiées, seule la 38-1-7 a connu un retard de la floraison à cause de la déficience en phosphore du sol. Cette variété est donc la plus sensible à cette déficience. Cependant, la durée que nous avons considérée dans notre étude (45 jours) et l'effectif réduit (10 variétés) ne nous permettent pas d'affirmer avec certitude que la déficience en phosphore n'affecte pas la phénologie du sésame.

Les observations sur les paramètres agromorphologiques montrent que la déficience en phosphore provoque une réduction de la taille en hauteur, du nombre de feuilles, de la biomasse aérienne et de la biomasse racinaire. Fredeen et al. (1989) ont montré que l'indisponibilité du phosphore diminuait la croissance du soja (*Glycine max* [L.] Merr var Amsoy 71) principalement par un effet sur l'expansion de la surface foliaire qui diminuait de 85%. Ces auteurs suggèrent que la réduction marquée de l'expansion foliaire qui se produit avec une carence en P peut être due à une insuffisance de phosphate pour l'expansion des cellules épidermiques. Une carence en P en début de saison entraîne une restriction irréversible précoce du développement des cultures et qui peut réduire considérablement les populations de plantes (Sinclair et Vadez, 2002), le nombre de feuilles (Lynch et al., 1991) et le développement racinaire, qui à son tour affecte la capacité des plantes à absorber l'eau des horizons les plus profonds du sol sous de faibles précipitations (Marschner, 1995). Le phosphore est donc un nutriment minéral essentiel nécessaire à la croissance des plantes, car il s'agit d'un composant de molécules importantes (Badjissaga, 2007 ; Shoko et al., 2010 ; Fankem et al., 2015). Sa carence décroît les rendements par réduction de la surface foliaire chez le maïs et par la réduction du nombre de rameaux chez les graminées (Badjissaga, 2007).

L'effet variétal hautement significatif observé sur le nombre de feuilles s'explique du fait de la variabilité génétique existante entre les variétés étudiées. En fait, parmi ces variétés il y a celles qui sont semi-ramifiées (SN303) et d'autres très ramifiées (HB168). Demol et al. (2002) soulignaient qu'il existe de très nombreuses variétés de sésame qui diffèrent par leurs dimensions, leurs formes, le type de croissance, la couleur des fleurs, le calibre, la couleur et la composition des graines.

Les résidus représentent la portion de la biomasse produite en condition de déficience en phosphore du sol qui n'est pas expliquée par

la biomasse produite en condition optimale d'alimentation en phosphore. On peut donc valablement utiliser le ratio pour classer les variétés de sésame en fonction de leur tolérance à la déficience en phosphore du sol.

Conclusion

Cette étude a été conduite pour caractériser le comportement phénologique de huit variétés améliorées et deux variétés locales de sésame en condition de sol déficient en phosphore et évaluer l'effet de la déficience en phosphore sur la croissance de ces variétés. Outre, les paramètres du microclimat qui ont été favorables, durant l'expérimentation, l'alimentation hydrique, le contrôle phytosanitaire et les autres entretiens ont été aussi bien assurés. Les résultats obtenus ont indiqué que la déficience en phosphore réduit la taille, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire et le nombre de feuilles chez le sésame. La durée de la floraison dépend surtout de la variété et ne semble pas être affectée par la déficience en phosphore du sol. Les variétés DS01 et HB168 peuvent être recommandées dans des conditions de cultures déficientes en phosphore.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

LIM a conduit les travaux sur le terrain. SB est l'auteur qui a élaboré le protocole expérimental, supervisé les travaux et rédigé le 1^{er} draft de l'article.

REMERCIEMENTS

Le premier auteur tient à remercier M. Kané, jardinier à la Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, de l'Université de Maradi pour son aide lors du tamisage du sol et du remplissage des pots.

REFERENCES

Badjissaga M. 2007. Identification des éléments nutritifs majeurs limitant et des

stratégies appropriées de fertilisation sous la culture de maïs dans l'Ogou-Est de la région de plateau. Mémoire Ingénieur Agronome, Université de Lomé- Togo, p. 84.

Beggi F, Hamidou F, Buerkert A, Vadez V. 2015. Tolerant pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Varieties to low soil P have higher transpiration efficiency and lower flowering delay than sensitive ones. *Plant Soil*, **389**: 89–108. DOI : 10.1007/s11104-014-2338-8

Boureima S. 2005 : besoins en eau, croissance et productivité chez le type botanique ramifié du sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi-aride du Sénégal. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) du Sénégal, Thiès, p.73.

Boureima S. 2007. Influence de l'inoculation mycorhizienne arbusculaire sur la croissance et le développement du sésame (*Sesamum indicum*). Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, p.49.

Buerkert A, Bationo A, Dossa K. 2000. Mechanisms of residue mulch-induced cereal growth increases in West Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **64**: 346–358. DOI: 10.2136/sssaj2000.641346x

Demol J, Baudoin J-P, Louant B-P, Maréchal R, Mergeai G, Otoul E. 2002. *Amélioration des Plantes : Application aux Principales Espèces Cultivées en Régions Tropicales*. Les Presses Agronomiques de Gembloux : Gembloux ; p. 581.

FAO. 2008. Global Statistics Service - Country profile, Rapport, 2008, p.2.

FAO. 2019. www.faostat.org

Fankem H, Mafokoua HL, Nkot LN, Simo C, Dondjou DT, Tchakounte GVT, Nwaga D, Etoa F-X. 2015. Biodiversity of the phosphate solubilizing microorganisms (PSMs) population from the rice rhizosphere soils of the two agroecological zones of Cameroon. *Int. J.*

- Biol. Chem. Sci.*, **9**(5): 2284-2299. DOI: 10.4314/ijbcs.v9i5.3
- Fredeen AL, Rao IM, Terry N. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiol*, **89**: 225–230.
- Langham DR, Riney J, Smith G, Wiemers T, Peeper D. 2009. Sesame grower guide. Sesaco corporation, San Antonio, p.28.
- Lynch J, Lauchli A, Epstein E. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.*, **31**: 380–387. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020031x>
- LUCOP-Ti. 2008. atelier des acteurs de la filière sésame, Niamey, p.11.
- MA/DS. 2019. Ministère de l’Agriculture, Direction des Statistiques agricoles, Rapport de la campagne agricole 2018/2019, Niamey, p.45.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd edn). Academic Press: London.
- Moazzami Ali A, Haese SL, Karmal-Eldin A. 2007. Lignan contents in sesame seeds and products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **109**: 1022–1027. DOI: 10.1002/ejlt.200700057
- Nacro S, Ouedraogo S, Traore K, Sankara E, Kaboré C, Ouattara B. 2010. Effets comparés des pratiques paysannes et des bonnes pratiques agricoles de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés des sols et les rendements des cultures dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1044-1055. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i4.63042
- Shoko M, Mutetwa M, Mtaita T. 2010. The effect of superphosphate and plant density on mini-tuber production from True Potato Seed (TPS). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1328-1333. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i4.63067
- Sinclair TR, Vadez V. 2002. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. *Plant Soil*, **245**: 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020624015351>
- Tamungang NEB, Mvondo-zé A D, Ghogomu JN, Mofor NA. 2016. Evaluation of phosphorus sorption characteristics of soils from the Bambouto sequence (West Cameroon). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(2): 860-874. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.33>
- Tunde-Akintunde TY, Akintunde BO. 2004. Some Physical Properties of Sesame Seed. *Biosystems Engineering*, **88**(1): 127–129. DOI :10.1016/j.biosystemseng.2004.01.009.