

African Crop Science Journal by African Crop Science Society is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Uganda License. Based on a work at www.ajol.info/ and www.bioline.org.br/cs
DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v31i2.1>



CARACTÉRISATION DE VARIÉTÉS BIOFORTIFIÉES EN FER ET ZINC ET VARIÉTÉS LOCALES DE HARICOT COMMUN

R.K. KATALIKO^{1,2}, G.K. MBAHINGANA³, E.F. MUHONGYA³, J.M. MUYANDULA^{3,4},
T.M. NDALIKO⁵, M. WASUKUNDI², P.M. KIMANI⁶ et K. OFORI¹

¹West Africa Centre for Crop Improvement (WACCI), University of Ghana, Accra, Ghana

²Faculty of Agricultural Sciences, Université Catholique du Graben (UCG), Butembo, République Démocratique du Congo

³Faculty of Agricultural Sciences, Université Adventiste de Lukanga (UNILUK), République Démocratique du Congo

⁴Institut Supérieur de Chimie Appliquée (ISCA), Butembo, République Démocratique du Congo

⁵Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF), Butembo, République Démocratique du Congo

⁶Department of Plant Science and Crop Protection, Faculty of Agriculture, University of Nairobi, Nairobi, Kenya

Auteur correspondant: richardkataliko23@gmail.com; rkkataliko@wacci.ug.edu.gh

(Received 6 February 2023; accepted 7 April 2023)

RÉSUMÉ

La déficience en fer et en zinc est connue comme la «faim cachée» en raison du fait de l'absence de symptômes reconnus aux premiers stades. Bien que la déficience en fer est la plus prévalente, le zinc est aussi impliqué dans l'inhibition de la répllication des virus, le corona virus (COVID-19) inclus. Au Nord-Kivu et au Sud-Kivu en République Démocratique du Congo, les zones où plus de 50 % des haricots (*Phaseolus vulgaris*) sont produits et consommés, 36% et 47% des enfants d'âge préscolaire sont anémiés suite aux carences en fer. Ce paradoxe est dû à l'insuffisance des mets riches en fer dans les habitudes alimentaires. L'objectif de cette étude est de caractériser 59 variétés biofortifiées en fer et zinc en présence de six variétés locales de haricot commun pour ainsi les intégrer éventuellement dans un programme de sélection variétale en ville de Butembo, en République Démocratique du Congo. La caractérisation porte sur 15 paramètres qualitatifs et cinq paramètres quantitatifs. Les paramètres qualitatifs ont permis de distinguer les différents morphotypes et de regrouper ces variétés en différents clusters. A part la statistique descriptive, les données quantitatives ont servi à établir une corrélation (de Pearson) et à l'analyse des composants multiples, PCA. Les paramètres qualitatifs ont permis de grouper les génotypes en étude en 14 morphotypes d'après l'aspect et la couleur du tégument, la couleur tout autour du hile et la taille des graines. Le clustering a regroupé les 65 génotypes en étude en 12 clusters. Les génotypes appartenant à un même cluster ont des caractères plus similaires. Les résultats des paramètres quantitatifs ont montré des différences significatives au regard des génotypes en étude ($P=0.00$). Une corrélation positive s'est observée entre le nombre de jours jusqu'à la floraison et le nombre de jours jusqu'à la maturité ($P<0.05$), mais aussi entre le nombre de gousses

par plant et le nombre de jours jusqu'à la floraison. Une observation similaire existe également entre le nombre de gousses par plant et le nombre de graines par gousse ($P < 0.01$). Une corrélation négative est par contre observée entre le poids de 100 graines et le nombre de graines par gousse. Les résultats de PCA représentés sur deux axes perpendiculaires ont montré 64.1% de la variance totale dont 42.3% est expliquée par le premier axe et 21.8% par le deuxième axe. Ces résultats montrent que les génotypes en étude sont morphologiquement et quantitativement différents qu'ils peuvent être utilisés dans un programme de sélection variétale.

Mots Clés : biofortification, cluster, morphotype, *Phaseolus vulgaris*

ABSTRACT

Iron and zinc are important minerals in humans in sub Saharan Africa, whose deficiency is known as "hidden hunger" due to the lack of recognised symptoms in the early stages. Although iron deficiency is the most prevalent, zinc is also involved in inhibition of replication of viruses, including the corona virus (COVID-19). In North Kivu and South Kivu provinces where more than 50% of common bean is produced and consumed in Democratic Republic of Congo, 36% and 47% of preschool children are anemic due to iron deficiency. This paradox is mainly due to insufficiency of iron-rich foods. The aim of this study is to characterise 59 iron and zinc biofortified varieties together with six local varieties of common bean for a potential selection programme in Butembo town in the Democratic Republic of Congo. We focused on 15 qualitative and five quantitative parameters. The qualitative parameters were helpful to distinguish the different morphotypes and for cluster analysis. In addition to the descriptive statistics, the quantitative data were used for Pearson correlation and for principal component analysis, PCA. Qualitative parameters enabled grouping of the study genotypes into 14 morphotypes according to the aspect and colour of the seed coat, the colour around the hilum and the size of seeds. Clustering grouped the 65 genotypes into 12 clusters with the most similar genotypes grouped in the same cluster. Quantitative parameters showed that the study genotypes were dissimilar ($P = 0.00$). A positive correlation was obtained between the days to flowering and the days to maturity ($P < 0.05$) and between the number of pods per plant and the days to flowering. A strong correlation was found between the number of pods per plant and seeds per pod ($P < 0.01$). In contrast, a negative correlation was observed between the 100 seed weight and the number of seeds per pod. The PCA represented on two perpendicular axes showed 64.1% of the total variance of which the 42.3% is explained by the first axis and 21.8% by the second axis. Overall, the study genotypes are morphologically and quantitatively different and thus can be used in a selection programme.

Key Words: Biofortification, cluster, morphotype, *Phaseolus vulgaris*

INTRODUCTION

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est considéré globalement comme la plus importante légumineuse (Amongi *et al.*, 2018) et constitue un aliment de base plus particulièrement dans des pays en développement. Singh (1999) rapporte une consommation annuelle de 13 à 40 kg des haricots secs par individu particulièrement en Afrique de l'Est et en Afrique Centrale alors

qu'en République Démocratique du Congo (RDC), Mbikayi *et al.* (2018) estime à 300 g de haricot sec consommé par individu par mois.

Bien plus, le haricot apporte 22% protéines, plus de 50% des glucides et 0.2% des fibres alimentaires. Il apporte, à plus, des sels minéraux comme le sodium (Na), le fer (Fe) et le zinc (Zn) (Amongi *et al.*, 2018). Les haricots, dans leur état traditionnel, renferment 14.6 à 44.2 mg de zinc et 18.8 à 82.4 mg de

fer par kg des graines sèches (Freire, 1997 ; Costa *et al.*, 2006). En RDC, le haricot fait l'objet des cultures vivrières. De plus, à l'exception des racines, toutes les parties de la plante sont consommées (Waluse, 2012). Le haricot demeure la première parmi les légumineuses les plus utilisées en RDC et est consommé par 83.8% de la population, suivie des arachides (8.1%), de soja (6.3%), de pois (0.9%) et d'autres légumes (0.9%).

La RDC produit 264,843 tonnes des graines de haricot sur 485,202 ha (FAOSTAT, 2021). Cinquante pourcents de cette production est produit et consommé au Nord et au Sud Kivu (Civava, 2013). Avec la population dépassant 80 millions d'habitants, la demande reste supérieure à la production. En l'occurrence, au Sud-Kivu, la demande annuelle environne 155,676 tonnes alors que la production ne dépasse pas 65,338 tonnes. Pour satisfaire à cette demande, les haricots sont importés du Rwanda (Vwima, 2014). Encore que, l'exploitation de haricot biofortifié en fer et en zinc, en RDC, n'est encore d'application.

Tout comme en Afrique, des millions d'individus en RDC continuent de souffrir de la malnutrition due à la déficience en micronutriments, particulièrement le fer et le zinc (Kimani *et al.*, 2012). La déficience en ces deux minéraux est connue comme la «faim cachée» ; cela est dû en raison de l'absence de symptômes reconnus aux premiers stades. Lorsque les apports en minéraux et vitamines sont très faibles, des altérations de plusieurs processus métaboliques s'en suivent (Mbikayi *et al.*, 2018 ; Kimani et Wersame, 2019). La déficience en fer cause l'anémie. Celle-ci est à la base de disfonctionnement entraînant une insuffisance cardiaque chronique, une inflammation intestinale, un cancer et une maladie rénale (Rocha *et al.*, 2018). La déficience en fer est la forme de malnutrition la plus répandue globalement (Mbikayi *et al.*, 2018). Par ailleurs, la déficience en zinc entraîne des retards de croissance et le développement des maladies infectieuses (Caproni *et al.*, 2020). Scott *et al.* (2019)

rappellent que le zinc est impliqué dans l'inhibition de la réplication des virus, le corona virus (covid-19) inclus.

Un programme de biofortification du haricot est nécessaire pour porter à la disposition des agriculteurs et consommateurs des haricots des variétés riches en fer et en zinc ou dont la concentration en facteurs antinutritionnels comme l'acide phytique ou les polyphénols est réduite afin d'améliorer les carences en ces micronutriments et offrir des avantages économiques à travers les chaînes d'approvisionnement. Ces facteurs antinutritionnels agissent comme des agents chélatants des minéraux comme le fer et le zinc (Panzeri *et al.*, 2011).

Le « Kenya Health Policy 2014-2030 » identifie le fer et le zinc comme deux des trois carences alimentaires identifiées comme contribuant à l'augmentation de la morbidité et, dans le cas du zinc, de la mortalité. Plus précisément, les enfants de moins de cinq ans mais aussi les femmes enceintes sont les plus touchés par les carences en fer et en zinc. La culture des variétés de haricot biofortifié en fer et en zinc devrait être promue à travers des approches de sélection participative pour une adoption rapide afin de surmonter les problèmes de santé publique et de contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition. Les variétés biofortifiées en fer et en zinc contiennent entre 75 à plus de 100 mg de fer et 30.1 à plus de 45.6 mg de zinc par kg des graines sèches. En l'occurrence, 84 F4 :7 lignées recombinantes (RIL) développées par University of Nairobi renferment 66 à 136 mg de fer et 10 à 60 mg de zinc par kg des graines sèches (Kimani et Warsame, 2019).

En RDC, en particulier dans les provinces du Nord-Kivu et du Sud-Kivu, les zones où plus de 50 % des haricots sont produits et consommés (Mbikayi *et al.*, 2018), la prévalence de la carence en fer a été jugée élevée ; 36% et 47% des enfants d'âge préscolaire dans ces provinces dans l'ordre respectif souffraient d'anémie (Beebe *et al.*, 2000) alors qu'au niveau national, les enquêtes

menées en 2005 rapportaient 71 et 53% de l'anémie chez les enfants d'âge préscolaire et les femmes enceintes, respectivement. Cependant, le haricot commun est considéré dans le pays comme la viande pour les agriculteurs (Programme National de Nutrition « PRONANUT, 2005 cité par Mbikayi *et al.*, 2018).

Bien que le rendement potentiel varie de 1.35 à 2.0 t ha⁻¹, le rendement en RDC est de 0.8 t ha⁻¹ et moins (Amongi *et al.*, 2018). Dans le rapport du CIAT en 2012, le rendement était de 0.8 t ha⁻¹, les figures fournies par FAOSTAT (2021) montrent que ce rendement a baissé jusque 0.5 t ha⁻¹. Cette baisse serait liée à l'utilisation des variétés plus anciennes de moins à moins productives et dont la résistance aux maladies est faible particulièrement à l'égard des taches foliaires, de la pourriture des racines mais aussi de l'antracnose qui restent les importantes maladies dans les régions tropicales (Kimani et Wersame, 2019). Et de plus, la concentration en fer et en zinc pour ces variétés n'est connue.

En dépit de l'importance que jouent le fer et le zinc, le développement des variétés de haricot plus productives et plus concentrées en ces micronutriments reste une stratégie afin de pallier de façon plus durable aux problèmes susmentionnés.

C'est dans cette optique que cette étude se veut caractériser sur le plan agromorphologique 59 variétés exotiques de haricot biofortifiées en fer et zinc à présence de six variétés localement utilisées en milieu de Butembo, à l'est de la RDC.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Milieu. Cette étude a été faite en ville de Butembo particulièrement au Centre de Recherche Agronomique et Vétérinaire du Graben (CRAVEG) de l'Université Catholique du Graben au site Horizon situé dans la partie Sud-Ouest de la ville sur la colline Vutula. La circonscription urbaine est située entre 0°05'' et 0°10'' de latitude Nord et 29° 17' et 29°18' de

longitude Est, à 17 km au Nord de l'Équateur. Elle est située à proximité de la dorsale occidentale du Rift Albertin au Nord-Ouest du lac Édouard (Sahani, 2011).

Du point de vue climatique, Butembo appartient au climat équatorial tempéré par l'altitude avec une température moyenne qui oscille autour de 18°C. La ville de Butembo est caractérisée par deux saisons de pluie, Mars-Avril-Mai et Août-Septembre-Octobre-Novembre, influencées par le passage de la Zone de Convergence Intertropicale. Les deux saisons relativement sèches vont de Juin à Juillet et de Janvier à Février. La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 1365 mm (Vyakuno, 2006).

Le sol dans le milieu d'étude est de nature argileuse et ferrugineuse de couleur caractéristique brune ou rouge. Les mesures des coordonnées géographiques du champ expérimental prélevées à l'aide du GPS (de marque map 62Stc) ont indiqué en moyenne 1775 m d'altitude, 29° 15' 59,54'' longitude Est et 0° 7' 30,61'' latitude Nord.

Les conditions météorologiques au cours de l'expérimentation ont montré que la température moyenne variait entre 18,87°C et 23,99 °C alors que les précipitations moyennes mensuelles variaient de 40,70 à 165,10 mm (Tableau 1).

Matériel expérimental et fertilisation. Le matériel expérimental est constitué par 59 variétés exotiques de haricot biofortifié en fer et zinc de trois différentes origines et six variétés locales. Quarante variétés sont de International Center for Tropical Agriculture (CIAT-Uganda), six de HarvestPlus à Bukavu et 13 de Research Centre for Genomics and Bioinformatics (CREA-GB Italy). Les variétés locales sont MAFUTALA, DEMAI, UBUSOSERA, IKI NIMBA, KANIMBA et KALANGITI obtenues du Centre d'Adaptation pour la Production de Semence Améliorée (CAPSA-Luotu).

Le Diammonium Phosphate (DAP) (18% N et 46% P₂O₅) a été utilisé comme matière

TABLEAU 1. Conditions climatiques lors de l'expérimentation

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin
Température maximale (°C)	23,46	23,99	23,60	23,47
Température minimale (°C)	13,92	14,04	13,91	13,87
Moyenne thermique (°C)	18,73	18,98	18,75	18,67
Humidité relative (%)	85,84	83,47	87,81	85,54
Pluviométrie (mm)	126,2	54,40	165,10	40,70
Nombre de jours des pluies	13	6	17	7

fertilisante à la dose de 100 kg ha⁻¹ tel que recommandé par Ejigu *et al.* (2018).

Caractérisation agro-morphologique du matériel expérimental. Pour conduire à bien la caractérisation, un descripteur proposé par IBPGR (1982) a été suivi. La caractérisation a en effet porté sur les données aussi bien qualitatives que quantitatives. Cette description a porté sur 15 paramètres qualitatifs et cinq paramètres quantitatifs. Les paramètres quantitatifs sont le nombre de jours jusqu'à la floraison, le nombre de jours jusqu'à la maturité, le nombre des gousses par plant, le nombre des graines par gousse mais aussi le poids de 100 graines. Le nombre de jours jusqu'à la floraison (DTF) était estimé comme le nombre de jours depuis le semis jusqu'à ce que 50% de plants produisent chacun au moins une fleur. Le nombre des jours jusqu'à la maturité (DTM) était considéré comme le nombre de jours depuis le semis jusqu'à ce que 95% de plants atteignent la maturité physiologique. Le nombre des gousses consistait au nombre des gousses que porte un plant. Le nombre de graines par gousse était estimé comme une moyenne de nombre de graines que comptent cinq gousses aléatoirement sélectionnées. Le poids de 100 graines (100SW) était estimé en gramme comme une moyenne de poids obtenus après trois pesées.

Entretien cultural. Le champ expérimental était de 28,5 m de longueur et 4,8m de largeur. Chaque ligne était constituée d'une variété. Les

graines étaient semées aux écartements de 40 cm entre les lignes et 30 cm entre les plants dans la ligne. Tous les autres traitements comme le sarclage, le binage, le tuteurage (particulièrement pour les variétés volubiles) ont été faits. La préparation du champ a consisté en un déchaumage ayant pour finalité de rabattre la mauvaise herbe haute moyennant une houe. Une semaine après, un labour est intervenu pour enfouir la mauvaise herbe et ameublir le sol en retournant les mottes de terre et préparer le lit de semence. Après la délimitation du champ expérimental, le trouaison, l'épandage du fertilisant (DAP) et le semis ont intervenu le même jour. Chaque poquet recevait une graine.

Après la reprise effective, soit 21 jours après semis, un sarclo-binage a été effectué pour assurer une bonne croissance des plants et lutter contre les mauvaises herbes. Un traitement phytosanitaire au Rocket a été envisagé à la dose proposée par le fabricant afin de lutter contre les insectes. Ce traitement est intervenu une semaine après la reprise complète.

Analyse des données. Les morphotypes ont été envisagés sur base des observations morphologiques des différents génotypes tel que proposé par Mohammed *et al.* (2016). Cette description est basée sur la couleur, la forme et l'aspect extérieur (tacheté ou non) du tégument mais aussi la couleur autour du hile. Le clustering a consisté à la confection du dendrogramme. Celui-ci a été établi par le logiciel R. La distribution préalable des données

qualitatives considérées a été faite suivant la méthode « euclidien » alors que le clustering a été réalisé suivant la méthode « ward.D ».

L'analyse des données quantitatives a consisté à l'analyse statistique descriptive, à la corrélation de Pearson et à l'analyse des composantes multiples « principal component analysis, PCA ». Les deux premiers types d'analyses ont été faits à l'aide du logiciel Statistix Version 8.0 alors que le dernier a été fait grâce au logiciel R.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Description morphologique des génotypes de haricot. Les observations morphologiques ont permis de grouper les 65 génotypes en étude en 14 morphotypes en vertu de l'aspect et la couleur du tégument, la couleur tout autour du hile et la taille des graines (Fig. 1).

Yêyinou *et al.* (2018), dans leur étude sur la caractérisation de 57 accessions de haricot ont pu observer huit groupes ou morphotypes. L'écart avec nos observations serait lié à la diversité génétique qui serait faible à celle existant dans les génotypes dans cette étude. Lorsque des génotypes sont de faible diversité génétique, ceux-ci tendent à manifester une similarité phénotypique remarquable (Hallauer, 2011).

La répartition des génotypes dans chacun de 14 morphotypes décrits a été envisagée dans le Tableau 2. Cette répartition permet de catégoriser les génotypes en étude dans les différents morphotypes envisagés.

Ce Tableau montre que le morphotype 8 est le plus représenté et que le morphotype 11 est le moins représenté. En effet, ce dernier n'est représenté que par un seul génotype, RW 744.

Par ailleurs, des résultats ont montré que seule la couleur du calice est monomorphique alors que tous les autres caractères ont révélé un certain degré de polymorphisme (Tableau 3). Parmi les génotypes en étude, 44 sont nains alors que les restes sont volubiles. La majeure proportion des génotypes est caractérisée par une couleur verte au niveau des tiges, celle-ci

n'étant d'aucune pigmentation. Les feuilles pour 53.8% des génotypes ont une forme triangulaire. Seuls 4.6% des génotypes ont leurs feuilles vertes alors que d'autres ont des feuilles de couleur verte foncée ou intermédiaire. Une bonne proportion des génotypes sont des corolles de couleur blanche (64.6%), avec les gousses plus ou moins courbées (76.9%). Moins de la moitié des génotypes (43.0%) ont des graines tachetées, la couleur blanche (avec ou sans des tâches) étant la plus représentée (30.76%). La couleur autour de hile est présente pour 63.0% des génotypes pour lesquels presque la totalité des graines (98.46%) sont plus ou moins brillantes. Les graines réniformes et de grosse taille sont les plus représentées (40.0%).

A la lumière de ces résultats, les variétés en étude sont polymorphiques au regard des caractères qualitatifs recueillis, à l'exception de la couleur du calice. En effet, la couleur verte des calices est restée monomorphique. Le polymorphisme des caractères qualitatifs avaient été aussi révélé par Yêyinou *et al.* (2018).

Détermination des clusters. L'analyse des clusters à l'aide du paquet « ward.D » du logiciel R nous a permis de distinguer les 65 génotypes en étude en 12 clusters sur base des données morphologiques recueillies. Ces clusters sont représentés dans un dendrogramme (Fig. 2).

Cette Figure montre un total de 12 clusters différents. Yêyinou *et al.* (2018) dans leur étude sur la caractérisation morphologique de 57 génotypes de haricot au Bénin étaient en mesure d'établir neuf clusters, appelés également types morphologiques, sur base des caractères qualitatifs étudiés. L'écart observé comparativement à cette étude serait dû par le fait que dans notre étude nous avons utilisé 65 variétés mais aussi de diverses origines. Par contre, Yêyinou *et al.* (2018) n'ont utilisé que des collections des génotypes utilisées au Bénin. Pour Acquah (2012), la distance génétique entre des variétés d'un milieu écologique est faible par rapport au cas où les



Morphotype 1:
Tégument: tacheté
Couleur tégument: rouge tacheté
Couleur autour du hile: absente
Taille: grosse



Morphotype 2:
Tégument: non tacheté
Couleur tégument: jaune
Couleur autour du hile: présente
Taille: grosse



Morphotype 3:
Tégument: non tacheté
Couleur tégument: blanche
Couleur autour du hile: absente
Taille: grosse



Morphotype 4:
Tégument: tacheté
Couleur tégument: blanche tachetée de noir
Couleur autour du hile: présente
Taille: grosse



Morphotype 5:
Tégument: tacheté
Couleur tégument: blanche tachetée de rouge
Couleur autour du hile: présente
Taille: grosse



Morphotype 6:
Tégument: tacheté
Couleur tégument: rouge tacheté
Couleur autour du hile: présente
Taille: grosse



Morphotype 7:
Tégument: no tacheté
Couleur tégument: blanche
Couleur autour du hile: absente
Taille: intermédiaire



Morphotype 8:
Tégument: no tacheté
Couleur tégument: brune
Couleur autour du hile: présente
Taille: grosse



Morphotype 9:
Tégument:
Couleur tégument: blanche tachetée de marron
Couleur autour du hile: présente
Taille: petite

**Morphotype 10:**

Tégument: no tacheté
Couleur tégument: kaki
Couleur autour du hile: présente
Taille: petite

**Morphotype 11:**

Tégument: no tacheté
Couleur tégument: pourpre
Couleur autour du hile: absente
Taille: intermédiaire

**Morphotype 12:**

Tégument: no tacheté
Couleur tégument: crème
Couleur autour du hile: présente
Taille: intermédiaire

**Morphotype 13:**

Tégument: no tacheté
Couleur tégument: pourpre foncée
Couleur autour du hile: absente
Taille: grosse

**Morphotype 14:**

Tégument: no tacheté
Couleur tégument: noire avec spots pourpres
Couleur autour du hile: absente
Taille: intermédiaire

Figure 1. Les différents morphotypes décrits.

variétés possèdent diverses origines. On peut donc assumer que la distance génétique existant entre les variétés qu'avaient utilisées. Yéyinou *et al.* (2018) est faible comparativement à celle existant entre les 65 variétés envisagées dans cette étude.

Le cluster 10 (de gauche vers la droite) est en effet le plus représentée avec 9 génotypes tandis que les clusters 2 et 3 sont les moins représentées avec 2 génotypes chacun. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la première classe la dissemblance morphologique devient de plus en plus grande. Le génotype RW 825 est plus éloigné morphologiquement de KAB06F2-8-12.

Les individus appartenant à un même cluster ont des caractères qualitatifs proches ou presque similaires alors que ceux appartenant

à des clusters éloignés ont des caractères de dissemblance importante. Ainsi, les variétés 720/18, 041/1 et 720/12 (cinquième cluster) ont des graines de forme ovale, en revanche les variétés RW 1180, KAB06F2-8-12, G59/1-2 et RWR 1180 (douzième cluster) ont des graines de forme allongée.

Description des caractères quantitatifs des génotypes de haricot. Les données quantitatives recueillies soumises à l'analyse descriptive nous ont permis d'estimer les paramètres quantitatifs. Les résultats issus de cette analyse sont représentés dans le Tableau 4.

Pour tous les paramètres, la variance s'est révélé significative ($P=0.00$). Ceci indique que les génotypes en étude sont différents les uns

TABLEAU 2. Génotypes correspondant à chacun des morphotypes décrits

Morphotypes	Nombre de génotypes	Génotypes
1	5	MBC 23, CODMLV 059, MAC 74, MBC 32 et MAC 49
2	2	ZKA 93-10m/95 et RW 582
3	2	UGK 116 et RWV 3006
4	3	RW 298, RWR 2154 et Namulenga
5	5	RWV 2887, Icyana, UGK 72, NGWIN x CAB2 213111 et RWV 2359
6	3	CAB 2, UBR (92) 25 et RW 805
7	2	Rugandura et Ndimirakaguja
8	14	HP5/1, 730, 042/5, 041/1, 720/12, WH1/12, WH3/76, WH4/84, BR2/11, 938, 720/18, 720/20, BAT 881 et RW 942
9	9	RW 849, RW 880, RW 580, RW 547, RW 439, KALANGITI, RW 806, Demai et Iki nimba
10	6	RW 896, RW 1234, RW 267, RW 801, Ubusosera et RW 693
11	1	RW 744
12	3	RW 1180, G59/1-2 et RWR 1180
13	4	RW 825, MIB 465, Kanimba et Mafutala
14	6	KAB06F2-8-27, HM 21-7, RW 1179, KAB06F2-8-12, CAL 96 et Piramide

TABLEAU 3. Distribution de 65 génotypes de haricot pour les 15 caractères morphologiques

N°	Variable	Observations	Génotypes
1	Pigmentation de la tige	Absente	47
		En bas	6
		En haut et en bas des pétioles	5
		Moyen	4
		Importante	3
2	Couleur de la tige	Verte	49
		Verte avec pigmentation rose	4
		Verte avec pigmentation violette	12
3	Forme de la feuille	Ovale	30
		Triangulaire	35
4	Couleurs des feuilles	Verte	23
		Vert moyen	39
		Vert foncé	3
5	Couleur de la corole	Blanche	42
		Blanche avec rayure carmine	15
		Violette	8

TABLEAU 3. Contd.

N°	Variable	Observations	Génotypes
6	Courbature de la gousse	Droite	15
		Incurvée	37
		Incurvée tachetée	13
7	Forme du tegument	Tachetée	28
		Absence	37
8	Couleur du tegument	Marronne	3
		Crème	7
		Bordeaux	9
		Rouge	11
		Violette	3
		Noire	8
		Jaune	1
		Bleue foncée	1
		Blanche	20
		Grise	2
9	Couleur autour du hile	Présente	41
		Absente	24
10	Brilliance des graines	Opaque	1
		Intermédiaire	29
		Brillante	35
11	Forme des graines	Ovale	11
		Cuboïde	12
		En forme des reins	26
		Tronquée	6
		Longue	10
12	Type	Nain	44
		Volubile	21
13	Couleur du calice	Verte	65
14	Adaptation végétative (vigueur)	Excellente	15
		Bonne	28
		Intermédiaire	11
		Mauvaise	11
15	Taille des graines	Petites graines	22
		Graines moyennes	17
		Grosses graines	26

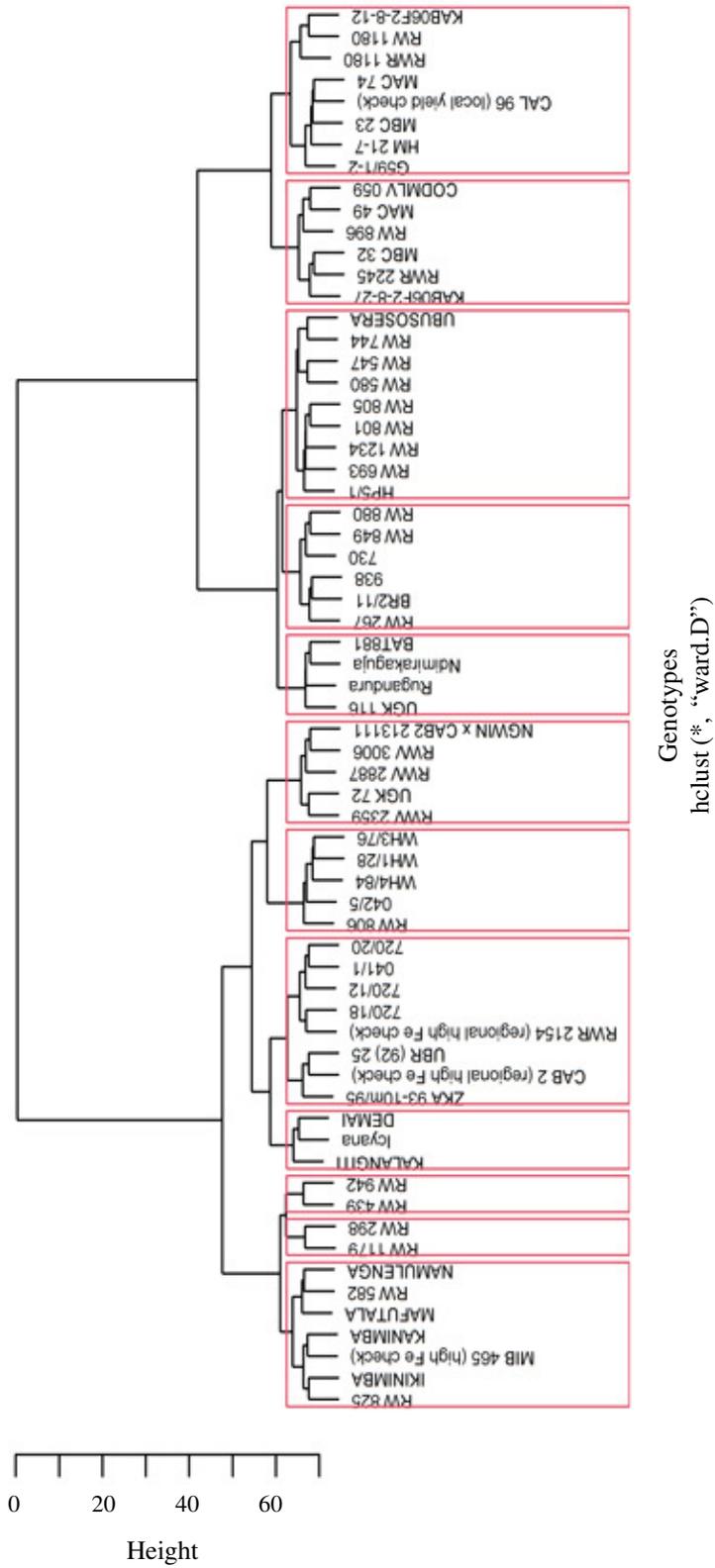


Figure 2. Dendrogramme représentant les différents clusters de 65 variétés de haricot.

TABLEAU 4. Statistique descriptive des caractères quantitatifs de 65 géotypes de haricot

Paramètre	DTF	DTM	Gousses par plant	Graines par gousse	100 SW
Moyenne	48.754	103.12	55.69	4.9178	36.09
SD	5.8897	10.878	36.032	1.0638	15.343
Variance	34.688	118.33	1298.3	1.1317	235.4
SE	0.7305	1.3492	4.4692	0.1319	1.903
C.V. (%)	12.08	10.548	64.701	21.631	42.513
Minimum	39	81	7	2.96	15.6
Maximum	64	127	168.75	7.16	70.73
Intervalle de confiance (95%)	1.469	2.695	8.928	0.2636	3.8017

SD = Déviation standard ; SE = Erreur standard par rapport à la moyenne ; C.V. = coefficient de variation ; DTF = jours jusqu'à 50% de floraison ; DTM = jours jusqu'à 95% de la maturité ; 100 SW = poids de 100 graines

des autres au regard du paramètre envisagé à l'intervalle de confiance de 95%.

La moyenne des jours jusqu'à la floraison est de 48,754 jours et 103,12 jours jusqu'à la maturité. Le géotype IKINIMBA est celui qui a vite fleuri alors que c'est le géotype 720/18 qui a vite atteint la maturité. Ce dernier a en effet mis 81 jours pour murir alors que, avec 127 jours pour atteindre la maturité, le géotype RW 267 est celui qui a murit tardivement. IKINIMBA a mis 39 jours jusqu'à la floraison alors que NAMULENGA est celui qui a fleuri tardivement (64 jours jusqu'à la floraison). Par ailleurs, Lassina (2019), dans son étude d'adaptabilité de 104 variétés de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortifié dans les conditions agropédologiques de Bambeby (Bassin arachidier centre), révèle à travers ses résultats que sur le plan physiologique (floraison et nouaison), le haricot fleurit deux mois après semis et fructifie neuf jours après la floraison. Cependant, les conditions écologiques mais aussi les caractères génétiques influent beaucoup sur ces stades physiologiques. C'est ainsi que Yéyinou *et al.* (2018) avaient réalisé dans leur étude que la maturité prend 88,67 à 128,33 jours selon les variétés en étude. La différence par rapport aux résultats dans cette étude serait liée aux conditions écologiques qui ne seraient les

mêmes mais aussi à la diversité génétique caractéristiques des variétés étudiés.

Le nombre moyen des gousses par plant a été de 55,69 gousses. Le géotype WH4/84 est celui qui a eu moins des gousses soit 7 gousses par plant tandis que le géotype ICYANA est celui qui a eu plus des gousses soit 168,75 gousses par plant. Yéyinou *et al.* (2018) dans leur étude avaient réalisé que le haricot porte en moyenne 35,96 gousses. Walangululu *et al.* (2019) dans leur étude sur l'étude de comportement de sept variétés de haricot volubile à Bukavu à l'est de la RDC avaient réalisé que le nombre de gousses portées par un plant est variable selon les géotypes mais aussi les conditions climatiques. C'est ainsi qu'ils avaient réalisé que pendant la saison B soit celle de septembre le haricot portait plus de gousses que pendant la saison A de mars mais qu'en général le nombre de gousse par plant varie de quatre à 35,4 gousses. Ces résultats sont bien différents par rapport à ceux réalisés dans cette étude. Cette différence serait liée aux variétés mais aussi aux conditions environnementales. Celles-ci seraient plus favorables au Nord-Kivu qu'au Sud-Kivu à l'est de la RDC.

Cependant, le nombre moyen des graines par gousse 4,9178. Le géotype WH4/84 a été le moins représenté avec 2,96 graines par

gousse tandis que le génotype RW 942 a été le plus représenté avec 7,16 graines par gousse. Enfin, le poids moyen de 100 graines a été de 36,090 g. Civava (2013), le poids de graines nécessaires dépend de la densité de semis (poids des graines ha⁻¹). Le génotype 938 est celui qui a eu le poids minimum soit 15,16 g pour 100 graines tandis que le génotype MAC 72 est celui qui en a requis le poids maximal soit 70,73 g.

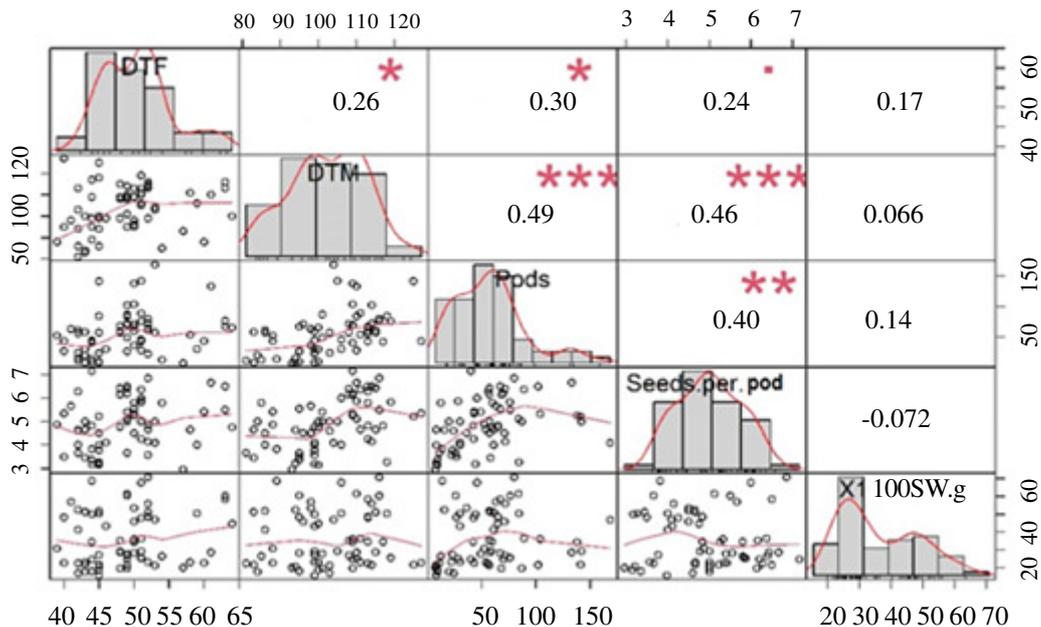
Au regard de coefficients de variation (CV) calculés, les résultats pour tous les paramètres étaient repartis de façon homogène, à l'exception de ceux relatifs au nombre de gousses par plant et le poids de 100 graines pour lesquels le CV est supérieur à 30%.

Ces résultats nous permettent ainsi de confirmer la deuxième hypothèse selon laquelle les caractères quantitatifs révèlent un polymorphisme important.

Corrélations entre les paramètres quantitatifs. Figure 3 met en évidence la corrélation qui existe entre les différents paramètres quantitatifs en étude.

A la lumière des résultats consignés dans cette Figure, on note une corrélation positive significative entre le nombre de jours jusqu'à la floraison et le nombre de jours jusqu'à la maturité à 95% d'intervalle de confiance. Une observation similaire existe entre le nombre de gousses par plant et le nombre de jours jusqu'à la floraison. L'augmentation du nombre de jours jusqu'à la floraison est associée avec l'augmentation du nombre de gousses par plant.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par Setyaningsih *et al.* (2019) qui, dans leur étude portant sur la paléo écologie du riz en Indonésie, ont observé une corrélation positive significative entre le nombre de jours jusqu'à



DTF = jours jusqu'à 50% de floraison ; DTM = jours jusqu'à 95% de la maturité ; 100 SW = poids de 100 graines ; pods = nombre de gousses par plant ; seeds per pod = nombre de graines par gousse
*P<0.05 **P<0.01 ***P<0.001

Figure 3. Corrélations entre les paramètres quantitatifs.

la floraison et le nombre de jours jusqu'à la maturité. Aussi, Lassina (2019) dans son étude avait réalisé une corrélation positive pour la plupart des caractères en étude.

Aussi, une corrélation positive significative est observé entre le nombre de gousses par plant et le nombre de jours jusqu'à la maturité mais aussi entre ce dernier et le nombre de graines par gousse à l'intervalle de confiance de 99.9%. Ceci indique que l'augmentation de nombre de jours jusqu'à la maturité induit une augmentation du nombre de gousses par plant mais aussi du nombre de graines par gousse. Enfin, une corrélation positive significative à l'intervalle de confiance de 99% est observée entre le nombre de gousses par plant et le nombre de graines par gousse suggérant que plus le plant a des gousses, plus il détiendra des graines dans chacune de celles-ci.

Par contre, une corrélation négative est observée entre le poids de 100 graines et le nombre de graines par gousse. Ceci indique que l'augmentation du nombre de graines par gousse est associée avec la diminution du poids

de 100 graines. Cependant, cette corrélation n'est pas significative.

Analyse des composants multiples « Principal Component Analysis, PCA ».

Les résultats relatifs au PCA, représentés sur la Figure 4a, montrent que 64.1% de la variance totale peut être expliquée par le premier (42.3%) et le deuxième axe (21.8%). Cette proportion n'est pas assez importante pour expliquer la variation totale nécessaire pour établir des clusters sur base des données quantitatives recueillies (Fig. 4b).

Yèyinou *et al.* (2018) dans leur étude sur la caractérisation morphologique de 57 génotypes de haricot au Bénin étaient en mesure d'établir, sur base de 12 caractères quantitatifs, quatre clusters. Setyaningsih *et al.* (2019) dans leur étude portant sur la paléoécologie du riz en Indonésie avaient distingués, sur base de 16 caractères quantitatifs, quatre clusters. L'insuffisance à établir des clusters nets et précis serait due au nombre réduits des caractères pour lesquels les données ont été recueillies.

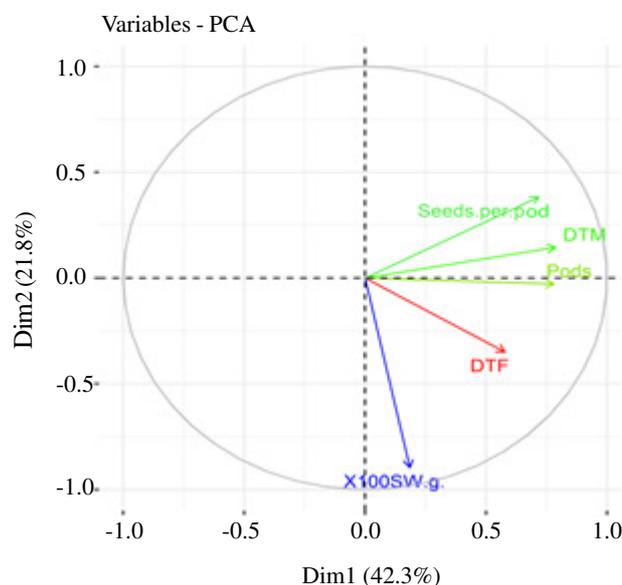


Figure 4a. PCA représentant la contribution des variables au 1^{er} et 2nd axes.

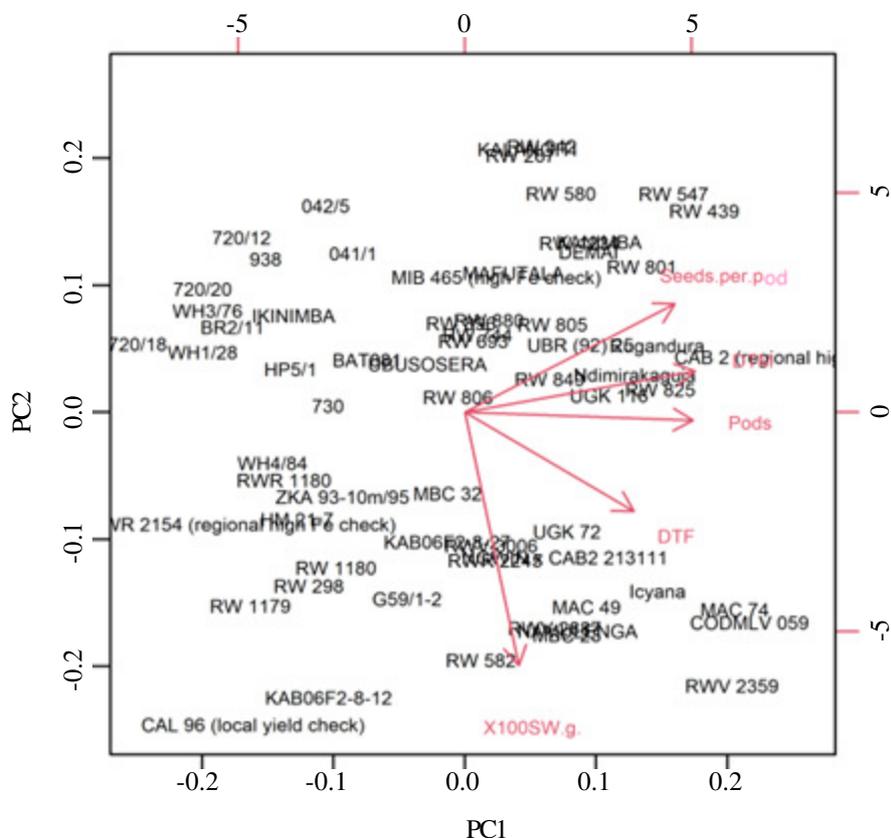


Figure 4b. PCA représentant la répartition des génotypes sur base des données quantitatives.

Figure 4. PCA représentant la contribution des variables au premier et second axes et PCA représentant la répartition des génotypes sur base des données quantitatives.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le CIAT-Uganda, CREA-GB et HarvestPlus Bukavu pour nous avoir accordé les différents génotypes que nous avons pu utiliser dans cette étude.

RÉFÉRENCES

Acquaah, G. 2012. Principles of Plant Genetics and Breeding, 2nd Edition, Bowie State University, Maryland, USA.740pp.
 Amongi, W., Mukankusi, C., Sebuliba, S. and Mukamuhirwa, F. 2018. Iron and zinc grain concentrations diversity and agronomic performance of common bean germplasm collected from east Africa. *African Journal*

of Food, Agriculture, Nutrition and Development 18(3):13717-13742.

Beebe, S., Gonzalez, A.V. and Rengifo, J. 2000. Research on trace minerals in the common bean. *Food and Nutrition Bulletin* 21:387-391.
 Caproni, L., Raggi, L., Talsma, E.F., Wenzl, P. and Negri, V. 2020. European landrace diversity for common bean biofortification: A genome wide association study; *Nature* 10:19775-19787.
 Civava, M. 2013. Amélioration des agrosystèmes intégrant le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) au Sud-Kivu montagneux. Gestion durable des agrosystèmes en milieu tropical humide, 23

- p. <https://www.orbi.uliege.be/handle/2268/164008> consulted 17/4/2018.
- Costa GEA, Queiroz-Monici KS, Reis SMPM, Oliveira AC., 2006. Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94:327-330.
- Ejigu, E., Wassu, M. and Berhanu, A. 2018. Genetic variability, heritability and expected genetic advance of yield and yield related traits in common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) at Abaya and Yabello, Southern Ethiopia. *African Journal of Biotechnology* 17(31):973-980. <https://doi.org/10.5897/ajb2016.15701>
- FAOSTAT, 2021. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, Rome, Italy.
- Freire, W.B. 1997. Strategies of the Pan American Health Organization/World Health Organization for the control of iron deficiency in Latin America. *Nutrition Reviews* 55:183-188.
- Hallauer, A.R. 2011. Evolution of plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 11:197-206.
- Harvestplus, 2009. Le haricot riche en fer ; Progress Briefs. Available at www.HarvestPlus.org ; 16/8/2018
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), 1982. *Phaseolus vulgaris* descriptor list. Secretariat, Rome, Italy. 32pp.
- Katungi, E., Farrow, A. Mutuoki, T., Gebeyehu, S., Karanja, D., Alamayehu, F., Spenling, L., Beebe, E.S., Rubyogo, J.C. and Buruchara, R. 2010. Improving common bean productivity: An analysis of socioeconomic factors in Ethiopia and Eastern Kenya. Baseline Report Tropical Legumes II. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, Cali, Colombia. 119pp.
- Kimani, P.M. and Warsame, A. 2019. Breeding second-generation biofortified bean varieties for Africa. *Food and Energy Security* 8:e00173. <https://doi.org/10.1002/fes3.173>
- Kimani, P.M., Narla, R.D., Ngugi, E., Kairichi, M., Njuguna, S.M., Orende, J. and Musyimi, A. 2012. Advances in marker assisted breeding for multiple disease resistance in common bean in Kenya. Kirkhouse Trust, African Bean Consortium End of Project Meeting, College of Agriculture and Veterinary Science, University of Nairobi. 12 July 2012. 27pp.
- Lassina, D. 2019. Effet de différents modes d'association sur la productivité du maïs (*Zea mays* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* L.Walp) en milieu contrôlé. Mémoire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 54pp.
- Mbikayi, N., Mumba, A.D., Kiman, P.M., Kizungu R. and Mirindi C. 2018. Identification of biofortified beans (*Phaseolus vulgaris* L.) : Case study on genetic diversity, relationship and rates of iron and zinc concentrations in farmer's accession, in eastern DR Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 25(1):131-139
- Mohammed, M.S., Shimelis, H.A. and Laing, M.D. 2016. Phenotypic characterization of diverse Bambara groundnut (*Vigna subterranean* [L.] Verdc) germplasm collections through seed morphology. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63(5):889-899.
- Panzeri, D., Cassani, E., Doria, E., Tagliabue, G., Forti, L., Campion, B., Bollini, R., Brearley, C.A., Pilu, R., Nielsen, E. and Sparvoli, F. 2011. A defective ABC transporter of the MRP family, responsible for the bean *lpa1* mutation, affects the regulation of the phytic acid pathway, reduces seed myo-inositol and alters ABA sensitivity. *New Phytologist* 191:70-83. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03666.x
- Rocha, B.M.L., Cunha, G.J.L., Menezes, and Falcão, L.F. 2018. The burden of iron deficiency in heart failure. *Journal of the American College of Cardiology* 71:782-793.

- Sahani, M.W. 2011. Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo, Nord-Kivu /RDC), thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique. 300pp.
- Scott, A.R., Stephanie, O., Chantelle, A. and Golo, A. 2019. The role of zinc in antiviral immunity. *Advances in Nutrition* 10(4): 696-710. doi:10.1093/advances/nmz013
- Setyaningsih, C.A., Behling, H., Saad, A. Shumilovskikh, L., Sabiham, S. and Biagioni, S. 2019. First palaeoecological evidence of buffalo husbandry and rice cultivation in the Kerinci Seblat National Park in Sumatra, Indonesia. *Vegetation History and Archaeobotany*. doi: 10.1007/s00334-019-00716-7
- Singh, S.P. 1999. Production and utilization. pp. 1-24. In: Singh, S.P. (Ed.). Common bean improvement in the twenty-first century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Vwima, S. 2014. Le rôle du commerce frontalier des produits alimentaires avec le Rwanda dans l'approvisionnement des ménages de la ville de Bukavu (province du Sud Kivu). Thèse universitaire Wallonie-Europe, Université de Liège-Gembloux, Belgique. 195pp.
- Vyakuno, K. 2006. Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse II, France. 294pp.
- Walangululu, M.J., Muhindo, I.D., Baluku, S.P., Cito, M.C., Lyadunga, M.J., Sebakara, S.E. et Mvula, H. 2019. Comportement de 7 variétés de haricot volubile dans trois territoires de la province du Sud Kivu en R. D. Congo et recherche de la meilleure saison de culture. *Journal of Animal and Plant Sciences* 41(3):6989-6999.
- Waluse, K.S. 2012. Determinants of common bean productivity and efficiency: A case of smallholder farmers in eastern Uganda. MSc. thesis, Egerton University, Kenya. 114pp.
- Yéyinou, L.E.L., Orobiyi, A., Adjatin, A., Akpo, J., Toffa, J., Djedatin, G. and Dansi, A. 2018. Morphological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces of Central region of Benin Republic. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 10(11):304-318.