



## Analyse quantitative des antinutriments contenus dans les graines des géotypes de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortifié

Augustin Ngombo-Nzokwani<sup>4</sup>, Blaise Mbala Mavinga<sup>6</sup>, Thierry Mawete Dani, Antoine Lubobo Kanyenga<sup>4,5</sup>, Marcel Muengula-Manyi<sup>2</sup>, Adrien Kalonji-Mbuyi<sup>2,3</sup>.

<sup>(1)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Laboratoire de Génétique et Amélioration des Plantes. BP 117 Kinshasa XI (RDC).

E-mail : ngomboaugustin@gmail.com

<sup>(2)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Laboratoire de Phytopathologie & Défense des végétaux. BP 117 Kinshasa XI (RDC).

<sup>(3)</sup>Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K). Département de Génétique et Amélioration des Plantes. BP 868 Kinshasa XI (RDC).

<sup>(4)</sup>Université de Lubumbashi. Faculté des Sciences Agronomiques. Laboratoire de Génétique et Amélioration des plantes. BP 1825 Lubumbashi (RDC) <sup>(5)</sup> CIAT-HarvestPlus. Représentation et Coordination Nationale. BP 1860 Bukavu (RDC).

<sup>(6)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences. Laboratoire de Chimie. BP 190 Kinshasa XI (RDC).

Reçu le 20 mai 2022, accepté le 07 juillet 2022, publié en ligne le 09 juillet 2022

### RESUME

**Description du sujet.** Le haricot commun biofortifié est une légumineuse riche en protéines peu coûteuse et renfermant beaucoup d'éléments minéraux, des vitamines et des fibres. Il constitue l'une des ressources alimentaires les plus consommées par les populations pauvres. Cependant, il renferme de facteurs antinutritionnels capables d'affecter sa valeur nutritionnelle en perturbant la digestion ou la biodisponibilité des nutriments. C'est dans ce contexte que cette étude a été menée à Kinshasa en République Démocratique du Congo.

**Objectifs.** L'objectif global de cette recherche est de déterminer les teneurs de trois grands groupes d'antinutriments contenus dans les graines de haricot commun biofortifié. Spécifiquement, il s'agit de déterminer les courbes d'étalonnages des dosages des polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins condensés et leurs teneurs en ces antinutriments.

**Méthodes.** Onze géotypes de haricot commun biofortifié et une variété locale couramment consommée à Kinshasa ont été utilisés. Leurs teneurs en antinutriments ont été déterminées par dosage au spectrophotomètre.

**Résultats.** Les résultats ont montré que la teneur en antinutriments n'est pas stable et varie d'un géotype à un autre. Les géotypes Nyiramuhondo et Namulenga se sont avérés riches en polyphénols totaux (262,73 et 262,03 µg EGA/g Ms) et flavonoïdes (4,56 et 3,2 µg EQ/g Ms), tandis que les géotypes Kinure et Bilbil ont montré des teneurs très élevées en tanins condensés (517,59 et 510,02 µg EAT/g Ms). D'autres géotypes se sont révélés aussi riches en antinutriments comme Hm 21-7, Marungi, K 131 et G59/1-2.

**Conclusion.** Les résultats de cette recherche indiquent que le haricot biofortifié contient des quantités importantes d'antinutriments et peuvent être exploitées comme des biopesticides utiles dans l'agriculture durable et dans l'amélioration génétique grâce à leur forte teneur en antinutriments afin d'améliorer la résistance des plantes aux infestations fongiques et bactériennes.

**Mots clés :** Biodisponibilité, biofortification, dosage, géotypes, antinutriments.

### ABSTRACT

#### Quantitative analysis of antinutrients in seeds of biofortified common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes

**Description of the subject.** The biofortified common bean is a legume rich in inexpensive protein and high in minerals, vitamins and fibre. It is one of the most widely consumed food resources by the poor. However, it contains anti-nutritional factors that can affect its nutritional value by disturbing digestion or nutrient bioavailability. It is in this context that this study was conducted in Kinshasa in the Democratic Republic of Congo.

**Objectives.** The overall objective of this research is to determine the levels of three major groups of antinutrients contained in biofortified common bean seeds. Specifically, the aim is to determine the calibration curves for the determination of total polyphenols, total flavonoids, total tannins and their content in these anti-nutrients.

**Methods.** Eleven biofortified common bean genotypes and a local variety commonly consumed in Kinshasa were used. Their antinutrient levels were determined by spectrophotometer assay.

**Results.** The results showed that the content of anti-nutrients is not stable and varies from one genotype to another. The Nyiramuhondo and Namulenga genotypes were found to be rich in total polyphenols (262.73 and 262.03  $\mu\text{g EGA/g Ms}$ ) and flavonoids (4.56 and 3.2  $\mu\text{g EQ/g Ms}$ ), while the Kinure and Bilbil genotypes showed very high tannin contents (517.59 and 510.02  $\mu\text{g EAT/g Ms}$ ). Other genotypes were also found to be rich in antinutrients such as Hm 21-7, Marungi, K 131 and G59/1-2.

**Conclusion.** The results of this research indicate that biofortified beans contain significant amounts of antinutrients and can be exploited as useful biopesticides in sustainable agriculture and in genetic improvement due to their high antinutrient content to improve plant resistance to fungal and bacterial infestations.

**Keywords:** Bioavailability, biofortification, dosage, genotypes, antinutrients.

## 1. INTRODUCTION

Les déficits ou les carences en micronutriments, comme le fer, le zinc et la vitamine A, sont souvent rencontrés dans plusieurs zones des pays du sud. Les enfants de moins de cinq ans et les femmes allaitantes ou enceintes constituent le groupe le plus vulnérable à ces déficits avec des effets néfastes comme un faible développement cognitif chez les enfants, des problèmes d'anémies, la perte d'immunité et une grande mortalité. Cela constitue en effet un véritable problème de santé publique (PAM, 2009).

Les interventions actuelles pour juguler la carence en micronutriments passent par la supplémentation en vitamines et minéraux et la consommation des aliments fortifiés comme le sel iodé et le lait enrichi en vitamines. Ces processus sont souvent onéreux, surtout pour les pays du sud qui connaissent souvent des déficits budgétaires. Grâce à la sélection végétale, les aliments biofortifiés sont devenus une réponse appropriée pour faire face à ce déficit en micronutriments (Bouis, 2003). La biofortification est la nouvelle approche consistant à augmenter les teneurs en micronutriments directement dans les cultures de base dont se nourrissent les populations pauvres grâce à la sélection conventionnelle ou par le génie génétique. Parmi les cultures cibles, il y a le haricot commun, une légumineuse la plus cultivée et très consommée par les ménages des populations des pays en développement (HarvestPlus, 2009).

Sur le plan de la valeur nutritionnelle, les graines de haricot commun biofortifié contiennent des teneurs en protéines de 26,2-43; en glucides de 60-65 ; en lipides de 1-1,9 ; en fibres de 4-5 ; des minéraux de 3,0-4,9 grammes pour 100 grammes de matière sèche (Andriamazaoro, 1994 ; Souci *et al.*, 2000). En ce qui concerne les minéraux et les vitamines, le haricot renferme les vitamines du groupe B (B1, B2, B3 et B9) et E, le potassium, le phosphore, le magnésium, le zinc, le manganèse, le calcium et le fer. Les graines de haricot sont d'un bon apport en

acide folique (vitamine B9), qui aide à réduire le risque d'anomalies du tube neural, comme le spina-bifida chez les nouveau-nés. Leurs teneurs en potassium, bien supérieures (900-1200 mg/100g) à celles des fruits et des légumes, permettent de rétablir facilement l'équilibre sodium/potassium et ainsi de jouer un rôle dans le maintien d'une pression artérielle stable chez les personnes hypertendues. Leurs hautes teneurs en fer font de ces légumineuses des aliments de choix par excellence pouvant prévenir l'anémie ferriprive chez les femmes et les enfants, si ces légumineuses sont accompagnées d'autres aliments riches en vitamine C qui améliorent son absorption (fer) (Champ *et al.*, 2015 ; FAO, 2016).

Cependant, les génotypes de haricot commun biofortifié renferment des antinutriments qui sont des substances présentes dans les plantes et qui interfèrent avec l'absorption des nutriments dans le corps. Quand la plante est dans son environnement, les antinutriments sont des substances assurant leur protection contre les bioagresseurs (Malewiak, 1992). Dans l'organisme, ces antinutriments peuvent freiner la biodisponibilité des micronutriments à une certaine dose. D'où l'intérêt de leur quantification dans les aliments. Certains modifient la perméabilité de la paroi intestinale (lectines) là où cette dernière devait être étanche, d'autres comme les oxalates diminuent l'absorption du calcium et enfin les phytates impactent sur la fixation de certains minéraux comme le fer et le zinc (Bambil et Gade, 1983 ; Elad, 1983).

L'objectif de ce travail consiste à déterminer les teneurs de trois grands groupes d'antinutriments contenus dans les graines de haricot commun biofortifié par un dosage au spectrophotomètre. Spécifiquement, il sera question de déterminer les courbes d'étalonnages des dosages des polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins condensés et leurs teneurs en ces antinutriments.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Zone d'étude

Les analyses des principaux antinutriments ont été réalisées dans la ville de Kinshasa à l'Université de Kinshasa, au laboratoire d'analyse et synthèse organique de la Faculté des Sciences.

### 2.2. Matériel

Le matériel biologique utilisé pour cette étude est constitué de onze génotypes de haricot commun

biofortifié présélectionnées par le Centre International d'Agriculture Tropicale et le Programme HarvestPlus (CIAT- HarvestPlus) et une variété locale couramment consommée à Kinshasa (Bilbil). Ces génotypes sont caractérisés par une grande stabilité et performance ensuite elles ont montré la présence des métabolites secondaires après un screening chimique. Les caractéristiques de ces génotypes sont reprises au tableau 1.

**Tableau 1.** Description des douze génotypes de haricot commun utilisés

Génotypes	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Origine	Pool génétique	Couleurs des graines
Bilbil	ND	ND	VL	ND	Jaune
CODMLV 086	66	33	INERA	MA	Rouge Striée
G 59/1-2	56	23	INERA	MA	Rouge
Hm 21-7	62	33	CIAT	MA	Rouge strié
Kinure	60	32	ISAR	AN	Brun pourpre
K 131	59	23	INERA	MA	Crème tachetée
Lola nain	59	34	INERA	MA	Jaune
MBC 23	81	33	INERA	MA	Jaune
Marungi	51	23	INERA	MA	Jaune
Nabe 4	56	30	INERA	MA	Jaune
Namulenga	75	29	INERA	AN	Zèbre
Nyiramuhondo	63	32	CIAT	AN	Jaune

**Légende :** ND : Non déterminée ; VL : Variété locale

### 2.3. Méthodes

Onze génotypes de haricot commun biofortifié et une variété locale couramment consommée à Kinshasa ont été utilisés. Leurs teneurs en antinutriments (polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins condensés) ont été déterminées par dosage au spectrophotomètre.

#### Dosage des polyphénols totaux

L'estimation de la teneur en phénols totaux des extraits était réalisée selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Vitti, 2005). Cette méthode est basée sur les réactions d'oxydoréduction. Le réactif de Folin-Ciocalteu, acide de couleur jaune, utilisé comme oxydant, est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Lors de l'oxydation des polyphénols, le Folin est réduit en mélange bleu d'oxyde de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ) en présence de carbonate de sodium. L'intensité de la coloration est proportionnelle aux taux des polyphénols présents dans les extraits (Boizot et Charpentier, 2006). De manière pratique, le dosage des phénols totaux avait consisté à mélanger 0,2 ml de chaque extrait avec 1,5 ml de Folin-Ciocalteu (10 %). Le mélange était ensuite incubé pendant 5 minutes. On rajoutait ensuite au mélange 1,5 ml d'une solution de

carbonate de sodium (6 %), puis on laissait incuber le mélange à température ambiante à l'obscurité pendant 5 minutes à 50°C, et la lecture de l'absorbance était faite au spectrophotomètre à 760 nm. L'acide gallique était utilisé comme standard de référence. Les résultats obtenus étaient exprimés en microgramme d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec ( $\mu g$  GAE/g) (Boizot et Charpentier, 2006).

#### Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes des extraits était déterminée selon la méthode décrite par Michel (2011). Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyl (OH) libre en position 5 susceptible de donner, en présence de chlorure d'aluminium, un complexe jaunâtre par chélation de l'ion  $Al^{+3}$ ; la coloration jaune produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait. L'opération avait consisté à additionner 1 ml d'extrait à 1 ml de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) à 2 % (préparé dans le méthanol). Le mélange obtenu était placé à l'obscurité pendant 10 minutes avant la lecture de l'absorbance à 450 nm. Les résultats obtenus étaient exprimés en  $\mu g$  équivalent de quercétine par gramme de matière sèche. Ces concentrations étaient déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec de la quercétine préparée dans le méthanol (200  $\mu g/ml$ ).

### Dosage des tanins condensés

A 1 ml de l'extrait on a ajouté 7,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu et 1 ml de  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$  3,5 %. L'absorbance a été mesurée contre le blanc à une longueur d'onde de 725 nm. La teneur en tanins condensés (exprimée en équivalent d'acide tannique, TAE) a été calculée en utilisant la relation  $Y = 0,443x - 0,264$  ;  $R^2 = 0,720$  (Michel, 2011).

### 2.3. Analyses statistiques des données

Le traitement des données a été réalisé grâce au logiciel Statistix (version 8.0). Les teneurs moyennes en antinutriments des différents génotypes de haricot commun biofortifié ont été

soumises à une analyse de variance. La comparaison des moyennes à posteriori était faite à l'aide de la plus petite différence significative (PPDS).

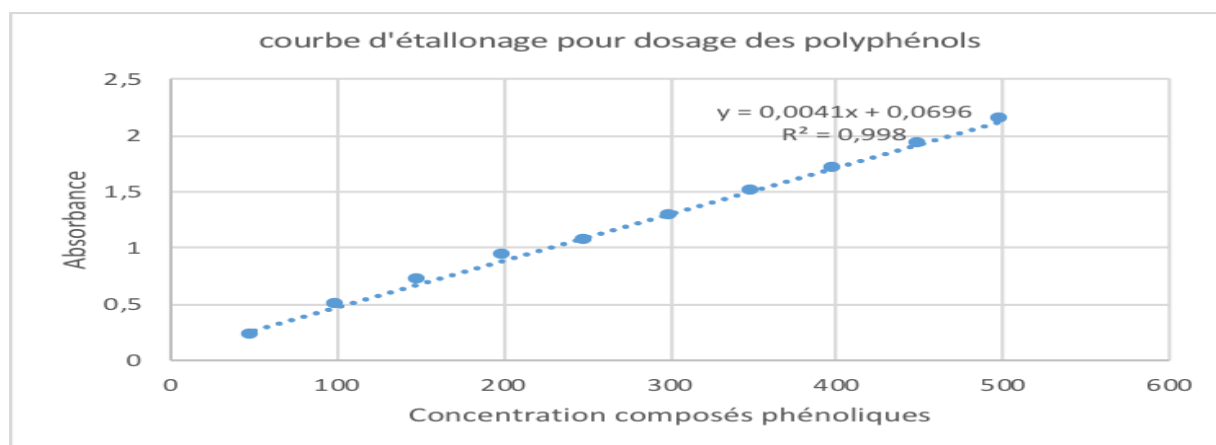
## 3. RESULTATS

Les résultats de cette étude portent sur deux éléments suivants : (i) les courbes d'étalonnages des polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins condensés et (ii) le dosage de ces antinutriments.

### 3.1. Courbes d'étalonnages des dosages des polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins condensés

#### Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux

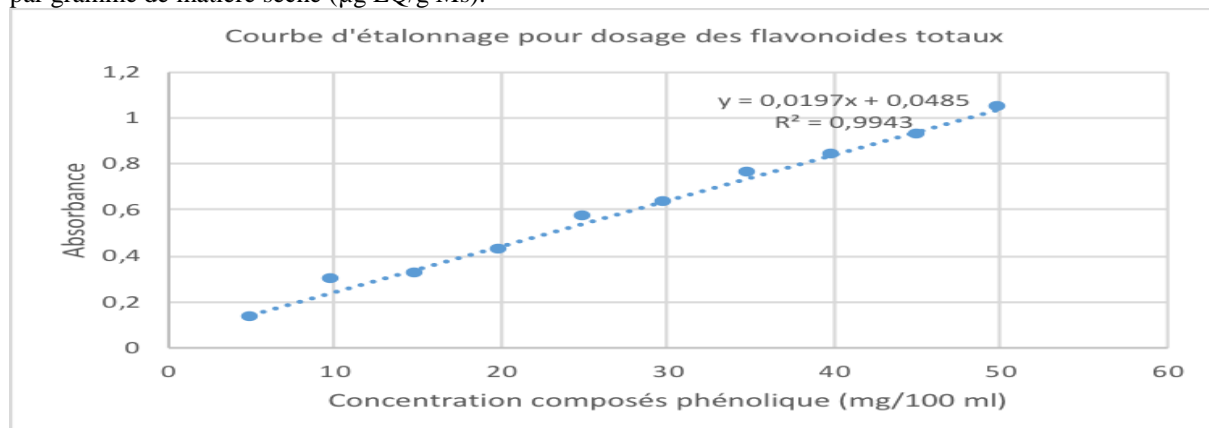
Cette courbe est établie en utilisant l'acide gallique comme référence et les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g}$  équivalent acide gallique par gramme de matière sèche ( $\mu\text{g}$  EGA/g Ms). La courbe d'étalonnage est établie avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,99$  (figure 1).



**Figure 1.** Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux

#### Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes totaux

Le composé de référence utilisé pour l'établissement de cette courbe est la catéchine. La courbe est établie avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,99$  (figure 2). Les résultats obtenus sont exprimés en  $\mu\text{g}$  équivalent catéchine par gramme de matière sèche ( $\mu\text{g}$  EQ/g Ms).



**Figure 2.** Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes totaux

### Courbe d'étalonnage pour le dosage des tanins condensés

La courbe est établie en utilisant l'acide tannique comme référence et les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g}$  équivalent acide tannique par gramme de matière sèche ( $\mu\text{g}$  EAT/g Ms). La courbe d'étalonnage établie avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,99$  (figure 3).

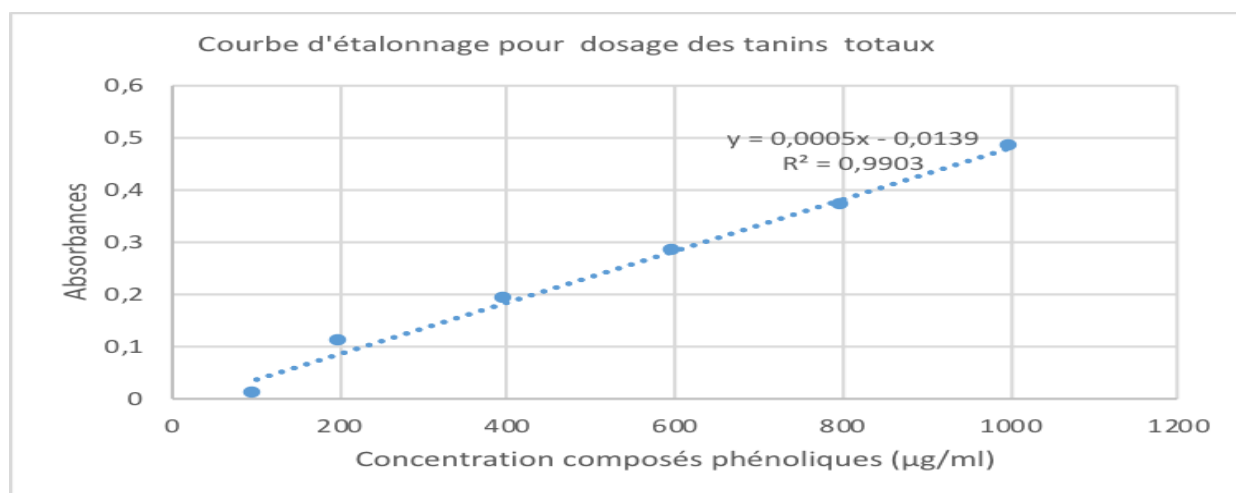


Figure 3. Courbe d'étalonnage pour le dosage des tanins condensés

### 3.2. Dosage des polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins condensés.

Les résultats des analyses quantitatives par spectrophotomètre UV-visible des extraits des différents génotypes sont repris dans le tableau 2.

Tableau 2. Teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés des différents génotypes biofortifiés

Antinutriments Génotypes	Teneur en polyphénols totaux ( $\mu\text{g}$ EGA/g Ms)	Teneur en flavonoïdes ( $\mu\text{g}$ EQ/g Ms)	Teneur en tanins condensés ( $\mu\text{g}$ EAT/g Ms)
Bilbil	122,43 <sup>e</sup>	0,027 <sup>d</sup>	510,02 <sup>a</sup>
CODLMB 086	77,43 <sup>g</sup>	0,091 <sup>cd</sup>	291,29 <sup>e</sup>
G 59/1-2	130,48 <sup>e</sup>	1,176 <sup>cd</sup>	412,53 <sup>c</sup>
Hm 21-7	191,1 <sup>b</sup>	1,863 <sup>c</sup>	335,76 <sup>d</sup>
Kinure	120,97 <sup>e</sup>	0,43 <sup>d</sup>	517,59 <sup>a</sup>
K 131	149,9 <sup>d</sup>	4,95 <sup>a</sup>	465,53 <sup>b</sup>
Lola nain	156,52 <sup>d</sup>	1,44 <sup>cd</sup>	177,57 <sup>g</sup>
MBC 23	145,16 <sup>d</sup>	0,8233 <sup>cd</sup>	174,75 <sup>g</sup>
Marungi	172,16 <sup>c</sup>	0,43 <sup>d</sup>	267,69 <sup>f</sup>
Nabe 4	103,96 <sup>f</sup>	1,037 <sup>cd</sup>	434,31 <sup>c</sup>
Namulenga	262,03 <sup>a</sup>	3,206 <sup>b</sup>	421,99 <sup>c</sup>
Nyiramuhondo	262,73 <sup>a</sup>	4,566 <sup>a</sup>	423,87 <sup>c</sup>
<b>Moyenne générale</b>	<b>157,90</b>	<b>1,66</b>	<b>369,40</b>
<b>PPDS (5 %)</b>	<b>50,22</b>	<b>0,44</b>	<b>75,37</b>
<b>P value</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>

Note : les moyennes, suivies des lettres identiques, ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%.

De l'analyse des données du tableau 2, il ressort que la teneur en polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux et des tanins condensés des différents génotypes a varié respectivement de 77,43 à 262,73  $\mu\text{g}$  EGA/g Ms ; 0,027 à 4,95  $\mu\text{g}$  EQ/g Ms et de 174,75 à 517,59  $\mu\text{g}$  EAT/g Ms. Les

génotypes Nyiramuhondo et Namulenga ont obtenu les concentrations en polyphénols totaux les plus élevées (262,73 et 262,03). Quant à la teneur en flavonoïdes et tanins condensés, les génotypes K 131 et Kinure présentent respectivement des teneurs plus élevées en ces antinutriments. Il est à noter des fortes variations des teneurs en composés phénoliques entre génotypes biofortifiés.

#### 4. DISCUSSION

Les résultats de cette étude (figures 1-3 et tableaux 1-2) ont montré une grande variabilité entre génotypes en ce qui concerne les teneurs en antinutriments. Les différentes teneurs ne sont pas du tout stables, elles varient avec les génotypes. Cette variabilité pourrait s'expliquer par divers facteurs comme les facteurs génétiques, les conditions environnementales, les méthodes d'extraction, la nature du solvant utilisé, la nature du génotype, le milieu d'entreposage, le niveau de maturité à la récolte et la conduite de la culture (Miliauskas *et al.*, 2004 ; Oomah *et al.*, 2005 ; Hegedúsová, 2015).

Les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en tanins condensés des extraits analysés exprimées respectivement en équivalent acide gallique, en quercétine et en acide tannique à partir d'une courbe d'étalonnage à différentes concentrations comme standard, montrent une linéarité de la droite de régression en fonction des diverses concentrations. Ce constat est similaire aux travaux de Bouhezila Nassira (2018) sur les extraits de haricot commun. Il convient de souligner que les teneurs en polyphénols totaux (entre 77,43 et 262,73 µg EGA/g Ms), sont comparables et très proches avec les valeurs de polyphénols totaux (332,98 µg EGA/100g) trouvées par d'autres chercheurs chez le haricot commun (Sreeramuli *et al.*, 2009). Ces concentrations restent cependant supérieures à celles rapportées par plusieurs auteurs ((Dewanto *et al.*, 2002 ; Barkat et Kadri, 2011 ; DJABALI, 2012). Cette différence peut s'expliquer par la nature intrinsèque des génotypes biofortifiés qui se caractérisent par une résistance accrue aux bioagresseurs suite à leurs teneurs élevées en métabolites secondaires comme les polyphénols (Ngombo *et al.*, 2021). Les polyphénols constituent un groupe important de métabolites dans l'organisme si ces derniers se trouvent à une certaine teneur où ils jouent le rôle d'antioxydants ((Singha *et al.*, 2017).

Les teneurs en flavonoïdes totaux (entre 0,027 et 4,95 µg EQ/g Ms) demeurent proches des autres légumineuses mais inférieures à celles trouvées par Xu et Chang (2015) qui avaient trouvé une teneur en flavonoïdes totaux chez la lentille estimée à 5,95 mg EQ/g Ms, et Singha *et al.* (2017) qui avaient trouvé des teneurs de 7,24, 0,09, 173,1 et 1383 EQ/100g Ms respectivement pour la farine, les cotylédons, la graine entière et les téguments du niébé. Les légumineuses contiennent des flavonoïdes qui protègent l'organisme contre les espèces réactives de l'oxygène (Nijveldt *et al.*, 2001) et qui ont un contenu dix fois plus élevé que les oranges (Guggenbühl, 2006).

La quantité de tanins condensés mesurée (174,75 à 517,59 µg EAT/g Ms) reste supérieure à celle trouvée par Zia-Ul-Haq *et al.* (2013) sur le niébé, et Xu et Chang (2007) sur la lentille. Selon Siegenberg *et al.* (1991), la variabilité des teneurs en tanins du haricot commun biofortifié est souvent liée à sa grande diversité morphologique mais particulièrement à la couleur de ses graines.

#### 5. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Les légumineuses, comme le haricot commun biofortifié, contiennent une grande panoplie d'antinutriments en quantité variable. Ces antinutriments jouent un rôle primordial dans la défense des végétaux contre les bioagresseurs lorsque la plante est dans son milieu naturel mais peuvent également interférer dans la biodisponibilité des nutriments en formant des complexes non assimilables avec certains cations bivalents comme le fer, le zinc et les protéines. Nombreux de ces composés ont aussi l'avantage d'être des véritables antioxydants.

Cette étude a été conduite en vue de déterminer les teneurs de trois grands groupes d'antinutriments (les polyphénols totaux, les flavonoïdes et les tanins condensés) contenus dans les graines de haricot commun biofortifié par un dosage au spectrophotomètre. Les résultats en rapport avec le dosage des antinutriments ont montré que leur teneur n'est pas stable, elle diffère d'une variété à une autre, démontrant un effet inter variétal. Les variétés dont les concentrations ont été les plus importantes en antinutriments sont Nyiramuhondo, Namulenga (pour tous les trois groupes d'antinutriments), Marungi, Hm 21-7 (polyphénols totaux), K 131 et Hm 21-7 (flavonoïdes totaux) et Kinure et Bilbil (tanins condensés). Ces variétés peuvent être exploitées comme des biopesticides utiles dans l'agriculture durable, elles peuvent être aussi dans l'amélioration génétique grâce à leur forte teneur en antinutriments afin d'améliorer la résistance des plantes aux infestations fongiques et bactériennes. En ce qui concerne la biodisponibilité des micronutriments, certains traitements technologiques comme la cuisson, le trempage ou soit la torréfaction sont nécessaires pour réduire la teneur des antinutriments à un niveau acceptable ou carrément leur destruction totale. Une attention soutenue devrait être accordée aux génotypes dont les antinutriments persisteraient après ces traitements.

Au regard de leurs propriétés antioxydantes, les valeurs quantitatives en antinutriments de ces génotypes seront utiles pour les nutritionnistes et diététiciens afin de formuler des régimes thérapeutiques riches en antioxydants. D'autres méthodes telles que la spectrophotométrie atomique, la résonance magnétique nucléaire

(RMN) et la chromatographie en phase liquide peuvent être utilisées pour le dosage des antinutriments (HPLC).

## Références

- Andriamazaoro H., 1994. *Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle de 5 variétés de haricot commun (Phaseolus vulgaris)*. Travail de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition. Faculté des sciences, Université d'Antananarivo., 86 p.
- Bambil R. & Gade W., 1985. Plant seed lectin disrupt growth of germination fungal spores. *Physiol. Plant.* 64, 402-408.
- Barkat M. & Kadri F., 2011. Impact de deux modes de cuisson sur la teneur en polyphénols solubles de six légumes. *Revue de génie industriel*, 6, 41-45.
- Boizot N. & Charpentier J. P., 2006. *Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier*. Cahier des Techniques de l'INRA, 79-82.
- Bouis H.E., 2003. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *Proc. Nutr. Soc.* 62, 403-411. Doi : 10.1079/PNS200 3262.
- Bouhezila N., 2018. *Impact du traitement thermique sur les variations quantitatives et qualitatives des composés phénoliques des haricots secs*. Université Mohamed Seddik Benyahia JIJEL, 68p.
- Champ M.A., Magrini M.B., Simon N. & Le Guillou C., 2015. *Les légumineuses pour l'alimentation humaine: apports nutritionnels et effets santé, usages et perspectives*. In : Schneider A and Huyghe C. 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Editions Quae., p 615.
- Dewanto V., Wu X. & Liu R. H., 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 50(17), 4959-4964.
- Djabali Saliha, 2012. *Effet des polyphénols sur la résistance à l'infestation fongique dans les graines de haricot sec*. Mémoire du Diplôme de Magister en Sciences Alimentaires, Option : Biotechnologie Alimentaire. Université Mentouri-Constantine, République d'Algérie, 2012.
- Elad Y., 1983. Possible role of lectins in mycoparasitism. *J. Bacteriol.*, 41, 579-589.
- FAO., 2016. *Les avantages nutritionnels des légumineuses*. Nutrition., p 2.
- Guggenbuhl N., 2006. Les antioxydants à la source. *Bull. Soc. Belge Ophtalmol*, 301, 41-45.
- HarvestPlus. 2009. *Améliorer les cultures pour une meilleure alimentation*. HarvestPlus, 4 p.
- Hegedüsová, A., Mezeyová, I., Timoracká, M., Šlosár, M., Musilová, J. & Juríková, T., 2015. Total polyphenol content and antioxidant capacity changes in dependence on chosen garden pea varieties. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 9(1), 1-8.
- Malewiak M, 1992. Aliments et Nutriments In : Dupin H ; CUQ J-L ; MALEWIAK M. I. *Alimentation et nutrition humains*. Paris, ESF éditeur, 85-192.
- Michel T., 2011. *Nouvelles méthodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification : application aux molécules bioactives de l'argousier (Hippophae rhamnoides)*. Alimentation et Nutrition. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 289 p.
- Miliauskas G., Venskutonis P-R. & Van Beek T-A., 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extract. *Food chemistry*, 85, 231-237.
- Ngombo A., Muengula M., Kalonji A. & Lubobo A., 2017. Identification des champignons transmis par les semences biofortifiées au Kongo Central en République Démocratique du Congo. *Afrique Science* 13(6), 1-11.
- Nijveldt R. J., Van Nood E. L. S., Van Hoorn D. E., Boelens P. G., Van Norren K. & Van Leeuwen P. A., 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74(4), 418-425.
- Oomah B-D., Cardador-Martinez A. & Loarca-Pina G., 2005. Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 935-942.
- PAM/UNICEF/INSAE, 2009. *Analyse globale de la vulnérabilité, de la sécurité alimentaire, de l'alimentation et de la nutrition (AGVSAN)*. Service de l'Analyse de la sécurité alimentaire du Programme Alimentaire Mondiale, Mai 2009, 148 p.
- Siegenberg D., Baynes R.D., Bothwell T.H., Macfarlane B.J., Lamparelli R.D., Car N.G., Macphail P., Schmidt U., Tal A. & Mayet F., 1991. Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53, 537-541.
- Singh B., Singh J. P., Kaur A. & Singh N., 2017. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food research international*, 101, 1-16.
- Souci S.W., Fachmann W & Kraut H. 2000. Cereal and cereal flours. In: Garching B. 2000. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie- München, Food composition and nutrition tables*. 6<sup>th</sup> edition, Stuttgart: Medpharm Scientific Publishers., pp, 523-597.
- Sreeramulu D., Reddy C. & Raghunath M., 2009. Antioxidant activity of commonly consumed cereals, millets, pulses and legumes in India. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 46, 112- 115.
- Vitti DM, Abdalla AL, Bueno ICS, Silva Filho JC, Costa C, Bueno MS, Nozella EF, Longo C, Vieira EQ, Cabral Filho SLS, Godoy PB & Mueller-Harvey I., 2005. Do all tannins have similar nutritional effects. A comparison of three brazilian fodder legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119(3-4), 345-361. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2004.06.00.
- Xu B. J. & Chang S. K. C., 2015. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as

affected by extraction solvents. *Journal of food science*, 72(2), S159-S166.

Xu B. J. & Chang SK., 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxydant activities of legumes as affected by extraction solvents. *National library of medicine* 72(2), 59-66.

Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Amarowicz R. & De Feo V., 2013. Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) cultivars commonly consumed in Pakistan. *Molecules. Journal of Food Lipids*, 18(2), 2005-2017.