

Compositions phytochimique et nutritive des farines résiduelles issues des tubercules dégraissés de *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae)

Alloka Gbaka Alice épouse Kouamé*, Baguia-Broune F. Diane Micheline, N'gaman-Kouassi K. Christelle Chantal, Mamyrbekova-Békro Janat Akhanovna, Békro Yves-Alain

Laboratoire de Chimie Bio Organique et de Substances Naturelles (www.lablcbosn.com)
UFR-SFA/Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Reçu : 29 Mars 2024 / Reçu sous sa forme révisée : 06 Juillet 2024 / Accepté : 02 Octobre 2024

Résumé :

Cyperus esculentus communément appelé souchet ou carex à noix jaune, est une plante comestible. La présente étude a porté sur ses tubercules qui sont de couleur brune ou jaune. Les farines résiduelles obtenues après extraction de l'huile qu'ils contiennent sont peu caractérisées. L'objectif de ce travail a été de déterminer les compositions minérale, phénolique, nutritive ainsi que l'activité antioxydante des farines résiduelles issues de tubercules récoltés dans trois localités du nord de la Côte d'Ivoire. La composition minérale a été déterminée à l'aide de la méthode ICP-ES. L'analyse quantitative des phytoconstituants (phénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins hydrolysables et condensés) et l'évaluation de l'activité antioxydante ont été réalisées par spectrophotométrie. La composition nutritive a été déterminée par titrage colorimétrique, par spectrophotométrie UV-visible et par HPLC. Les résultats obtenus ont montré que les farines résiduelles contiennent des éléments minéraux essentiels avec d'importantes teneurs en potassium (670,07-820,51 mg/100 g), en phosphore (155,52-357,11 mg/100 g) et en magnésium (119,07-122,95 mg/100 g). Les teneurs en vitamine C (167,0-356,9 mg/100 g), en glucides totaux et les valeurs énergétiques des farines sont appréciables. Quant aux teneurs en phénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins hydrolysables et condensés, elles varient respectivement de 3740,52 à 4570,00 µg EAG/g MS ; de 6,00 à 8,10 µg EAG/g MS ; de 0,233 à 0,358 µg EAG/g MS et de 110,98 à 242,50 µg EC/g MS. Les farines ont présenté un bon profil antioxydant. De plus, elles contiennent des protéines et des sucres, par conséquent elles peuvent être introduites dans l'alimentation humaine.

Mots-clés : *Cyperus esculentus* ; Poudres résiduelles ; Phytocomposés ; Nutriments essentiels ; Activité antioxydante.

*Auteur correspondant:

Adresse e-mail : kouamealicegbaka@gmail.com (K.A.G. Alloka)

<https://doi.org/10.70974/mat08224003>

Abstract:

Cyperus esculentus, commonly known as tiger nut or yellow nut sedge, is an edible plant. This study focused on the tubers of *Cyperus esculentus*, which exhibit brown or yellow coloration. After extracting the tuber oil, the resulting flours have been characterized. The primary objective of this investigation was to analyze the mineral, phenolic, and nutritional compositions of the flour obtained from tubers harvested in three localities in the northern region of Côte d'Ivoire. The mineral composition was determined using the ICP-ES method. Quantitative analysis of phytoconstituents (total phenols, total flavonoids, hydrolysable and condensed tannins) and the assessment of antioxidant activity were performed using spectrophotometric techniques. Subsequently, the nutritional composition was then determined by colorimetric titration, UV-visible spectrophotometry and HPLC. The results showed that the flours contain essential minerals, with high levels of potassium (670.07-820.51 mg/100 g), phosphorus (155.52-357.11 mg/100 g) and magnesium (119.07-122.95 mg/100 g). Furthermore, the flour's vitamin C content (167.0-356.9 mg/100 g), total carbohydrate content and energy values are also good. Total phenols, total flavonoids, hydrolysable tannins and condensed tannins contents varied from 3740.52 to 4570.00 µg EAG/g SM; from 6.00 to 8.10 µg EAG/g SM and from 0.233 to 0.358 µg EAG/g SM and from 110.98 to 242.50 µg EC/g MS, respectively. The flours showed a good antioxidant profile. In addition, they contain proteins and sugars, therefore they can be used in human food.

Keywords: *Cyperus esculentus* ; Residual powders ; Phytocompounds ; Essential nutrients ; Antioxidant activity.

1 Introduction

L'espèce *Cyperus esculentus* est une plante vivace de la famille des Cyperaceae. Elle est originaire de la région méditerranéenne mais se cultive aujourd'hui dans le monde entier, notamment dans les zones tropicales [1, 2]. Cette plante produit des tubercules très appréciés pour leur goût et leurs qualités nutritives [3, 4]. Ces tubercules sont couramment appelés "souchet comestible" en français [5], "tigernut" en anglais [4] et "tchongon" dans les langues ivoiriennes telles que le dida, le malinké et le baoulé [6]. Les tubercules broyés et trempés dans l'eau sont consommés en boisson lactée appelée "Horchata de Chufa" en Égypte et en Espagne [7]. En Espagne, l'huile extraite traditionnellement de ces

tubercules est utilisée pour l'alimentation [2] et est également reconnue comme une nouvelle huile de soin de santé [8]. En Côte d'Ivoire, ces tubercules sont consommés frais ou séchés comme aliments de grignotage. Une étude réalisée par Adejuyitan [9] a mis en lumière les vertus thérapeutiques du tubercule, bénéfique pour les personnes souffrant de gastro-entérite ou d'autres troubles digestifs (flatulence, indigestion, diarrhée, dysenterie, constipation, douleurs abdominales) [9]. Un autre auteur a mentionné que ce tubercule pourrait améliorer la circulation sanguine, aider à perdre du poids, et réduire les risques de cancer colorectal et de diabète [2]. De plus,

il est recommandé pour le traitement des maladies cardiaques et la thrombose [9, 10]. Les paramètres nutritifs d'un aliment sont essentiels pour maintenir la santé et le bien-être. Ils comprennent les macronutriments (protéines, glucides, lipides) et les micronutriments (vitamines, minéraux). Comprendre les bienfaits de ces éléments est crucial pour élaborer une alimentation équilibrée. Concernant ces paramètres et la composition phytochimique, le tubercule de *Cyperus esculentus* a été largement étudié [11-15], y compris dans nos travaux antérieurs [16, 17]. Ces études ont révélé que le tubercule est riche en minéraux, principalement en phosphore et potassium [16, 18], ainsi qu'en vitamines C et E [18]. Par ailleurs, la composition chimique de l'huile extraite du tubercule, selon divers auteurs, contient des acides oléique, palmitique, arachidonique et linoléique, avec des valeurs respectives de 65,8% ; 15,4% ; 6,1% et 5,5% [19] ; et 51,04-82,83% ; 6,29-14,87% ; 0,04-0,09%, et 4,47-8,96% [17]. Le tubercule renferme divers métabolites secondaires, notamment des alcaloïdes, des anthraquinones, des flavonoïdes, des glycosides cyanogènes et cardiotoniques, des saponines, des stérols, des tanins et des terpénoïdes. Les analyses ont conduit aux concentrations de certains métabolites dans les tubercules frais et séchés : alcaloïdes (1,8 et 4,0%), flavonoïdes (12,2 et 32,0%), tanins (0,63-2,63 mg/l) ; phénols (1,0-1,4%) et glycosides (0,75-0,54%) [20]. Dans nos précédents travaux [16], nous avons quantifié les polyphénols totaux (4215,52-5106,36 µg EAG/g MS), les flavonoïdes totaux (10,796-14,680 µg EAG/g MS), les tanins hydrolysables (0,165-4,555 µg EAG/g MS) et les tanins condensés (525,33-1486,25 µg EC/g MS). Sur le plan nutritionnel, la consommation de ce

tubercule pourrait aider à lutter contre la malnutrition qui touche 3 milliards de personnes dans le monde, dont 57% en Afrique subsaharienne [21]. Cependant, la farine résiduelle après extraction de la matière grasse du tubercule n'est pas suffisamment valorisée. Dans le but de promouvoir cette farine auprès des populations et de garantir une gestion durable pour l'industrie agroalimentaire, nous avons concentré notre étude sur cette farine. Cette recherche vise donc à déterminer sa composition chimique, nutritive et son potentiel antioxydant.

2 Matériel et méthodes

2.1 Matériel végétal

Les tubercules de *Cyperus esculentus* ont été récoltés dans les localités de Sinématiali (village de Klokakaha, 9° 35' N, 5° 23' O), Korhogo (village de Lélékaha, 9° 27' 41" N, 5° 38' 19" O) et Dabakala (village de Sokala-Sobara, 8° 21' N, 4° 31' O), situées dans la région nord de la Côte d'Ivoire, principale zone de production des tubercules de *Cyperus esculentus*. La plante *Cyperus esculentus* et ses tubercules ont été authentifiés par le Centre National de Floristique (CNF) de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (herbier N°UCJ004623).

Les tubercules ont été lavés à l'eau potable, séchés à 50 °C pendant 24 heures dans une étuve, puis broyés à l'aide d'un broyeur électrique.

2.2 Méthodes

2.2.1 Préparation de la farine résiduelle

Les farines résiduelles sont obtenues après l'extraction de l'huile de la poudre des tubercules de *Cyperus esculentus*, et désignées sous les noms de FRS, FRK et FRD. Pour cela, une cartouche de Whatman remplie de 15 g de tubercules broyés est introduite dans la chambre d'extraction d'un Soxhlet, connectée par le haut à un réfrigérant et par le bas à un ballon à col rodé contenant 130 ml de n-hexane. Le Soxhlet est chauffé à reflux dans une calotte chauffante pendant 2 h [22]. Après l'extraction de l'huile des tubercules par l'hexane, la farine résiduelle dans la chambre d'extraction est laissée à sécher sous une hotte, puis maintenue dans une étuve (50 °C) pendant 2 h avant d'être pesée [23]. Ces opérations sont répétées deux fois. Le taux de farine résiduelle est donné par l'équation (1).

$$\text{FR (\%)} = \frac{m_0}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

m_0 : masse de la farine obtenue (g); m_1 :
masse initiale de la poudre (g).

2.2.2 Analyse de la composition minérale des farines résiduelles

2.2.2.1 Détermination des teneurs en cendres

Suivant la norme AFNOR, 1984 [24], les farines résiduelles (0,4 g) FRS, FRK et FRD sont incinérées pendant 8 h dans un four à moufle (Nabertherm, 30-3000 °C) réglé à 600 °C jusqu'à l'obtention de cendres blanches de masse constante (m').

2.2.2.2 Dosage des éléments minéraux

La quantification des éléments minéraux a été réalisée par spectroscopie d'émission plasma à couplage inductif (ICP-ES), conformément au protocole décrit dans la méthode IP501 [25]. Une prise d'essai (4 g de chaque farine résiduelle) a été enflammée et brûlée sur un bec Bunsen puis le carbone résiduel est éliminé dans un four à moufle (Nabertherm, 30-3000 °C) réglé à 550 °C jusqu'à l'obtention de la cendre. Les cendres de farine résiduelle obtenues après incinération sont mélangées à 0,4 g d'un flux de tétraborate de dilithium ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). L'ensemble est fondu à 925 °C dans un four à moufle pendant 5 min, puis 10 min. Après refroidissement du mélange à la température ambiante, les cristaux obtenus sont digérés sans ébullition (chauffage modéré) avec 50 ml d'une solution d'acide tartrique et d'acide chlorhydrique pendant 30 min sous agitation. La solution obtenue est ensuite transvasée dans une fiole (100 ml), puis complétée à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Un échantillon (10 μl) est prélevé, ensuite injecté dans un spectromètre d'émission à plasma d'argon (VARIAN). La lumière émise par l'élément d'intérêt est détectée et mesurée. Par la suite, son intensité est comparée à une courbe d'étalonnage établie à partir d'une solution du même élément chimique préparée à différentes concentrations (25, 10, 5, 1 mg/kg). Les résultats obtenus sont la moyenne des répétitions de l'opération exprimés en ppm (mg/kg).

2.2.3 Analyse de la composition nutritive des farines résiduelles

2.2.3.1 Détermination des taux d'humidité et de matière sèche

Les taux d'humidité (TH) et de matière sèche (MS) sont déterminés suivant la norme AOAC, 1990 [26]. Chaque farine (10 g) (m_1) est séchée dans une étuve (103 °C), puis pesée jusqu'à l'obtention d'une masse constante m_2 . Le pourcentage de MS est calculé après 2 répétitions de l'opération.

2.2.3.2 Quantification des sucres des farines résiduelles

- Préparation de l'extrait glucidique

Chaque farine (2 g) est macérée à température ambiante dans 10 ml d'éthanol (80%) sous agitation pendant 15 min. L'ensemble est centrifugé à 3000 tours/min pendant 5 min, à trois reprises. Au surnageant recueilli à l'aide de pipette pasteur, sont additionnés 2 ml d'acétate de plomb (10%). Le mélange est à nouveau centrifugé (2000 tours/min pendant 10 min). Au surnageant obtenu sont ajoutés 2 ml d'acide oxalique (10%). L'ensemble a été centrifugé à 2000 tours/min pendant 5 min. Le surnageant recueilli est réduit jusqu'à l'obtention d'une solution visqueuse à laquelle est additionnée 25 ml d'eau distillée [27, 28].

- Détermination des teneurs en sucres totaux (ST)

A chaque extrait glucidique (150 μ l) est additionné 1 ml de phénol (5%) et 5 ml de H_2SO_4 (97%). La masse réactionnelle homogénéisée est refroidie et l'absorbance est lue au spectrophotomètre (UV spectro JASCO 530) à 490 nm contre un témoin.

L'opération est répétée 2 fois. Les teneurs en ST sont déterminées à partir de la droite d'étalonnage du glucose (de 0,067 à 1 mg/ml) préparée dans les mêmes conditions que l'extrait [29].

- Détermination des teneurs en sucres réducteurs (SR)

A chaque extrait glucidique (150 μ l) sont ajoutés 300 μ l d'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS). Le mélange est incubé pendant 5 min au bain-marie bouillant, et refroidi avec l'ajout de 2 ml d'eau distillée. L'absorbance du mélange est lue à 540 nm au spectrophotomètre (UV spectro JASCO 530). L'essai est répété 2 fois. Les teneurs en SR sont déterminées à partir de la droite d'étalonnage du glucose (de 0,067 à 1 mg/ml) [30].

2.2.3.3 Détermination des teneurs en protéines des farines résiduelles

Les teneurs en protéines sont quantifiées par la méthode de Kjeldahl selon la norme AOAC, 2016 [28, 31]. Dans un minéralisateur, à chaque farine (0,2 g) sont additionnés 25 ml de H_2SO_4 (96%). Le mélange homogénéisé est porté à ébullition pendant 1 h, ensuite refroidi, puis placé dans un auto-distillateur. Au minéralisât, 20 ml de NaOH (0,5 N) et 10 ml d' H_2O sont ajoutés pour former de l'ammoniac qui est ensuite entraîné par la vapeur d'eau. Par la suite, le condensât est recueilli dans un erlenmeyer contenant 20 ml de NaOH (0,5 N). Le mélange obtenu est titré avec une solution de HCl (1 N) en présence de phénolphthaléine. L'essai est répété 2 fois.

2.2.3.4 Détermination des glucides totaux (GT) et de la valeur énergétique (VE)

Les teneurs en glucides totaux (GT) et les valeurs énergétiques (VE) des farines ont été déterminées respectivement à l'aide des équations (2) et (3) [32] :

$$\text{GT}(\%) = 100 - [\text{Cendres}(\%) + \text{Protéines}(\%) + \text{Lipides}(\%) + \text{Humidité}(\%)] \quad (2)$$

$$\text{VE}(\text{kcal}/100 \text{ g}) = [(\% \text{ Glucides} \times 4) + (\% \text{ Protéines} \times 4) + (\% \text{ Lipides} \times 9)] \quad (3)$$

2.2.3.5 Détermination des teneurs en fibres brutes

Les teneurs en fibres brutes sont quantifiées selon la norme AOAC, 1990 [26]. Chaque farine (2 g) (M_c) est chauffée à reflux dans 50 ml d'acide sulfurique (0,25 N) pendant 30 min. Après filtration et lavage avec 50 ml d'eau distillée, le résidu est séché et à nouveau soumis à ébullition pendant 30 min dans 50 ml de NaOH (0,31 N). Le mélange obtenu est filtré et le résidu soigneusement lavé à l'eau chaude jusqu'à élimination complète de l'alcali. Le résidu (M_1), séché pendant 8 h à l'étuve (105 °C) puis au dessiccateur, est incinéré dans un four à moufle (Nabertherm, 30-3000 °C) réglé à 550 °C pendant 3 h. Cette opération a été répétée 2 fois.

2.2.3.6 Détermination des phytates des farines résiduelles

Chaque farine (1 g) est reprise dans 20 ml de HCl (0,65 N) sous agitation permanente pendant 2 h. L'ensemble est centrifugé (3000 tours/min) pendant 10 min. À 0,5 ml de surnageant, sont ajoutés 3 ml de réactif de Rose de Wade (0,03% $[\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}]$ et 0,3% d'acide sulfosalicy-

lique). Le mélange réactionnel est maintenu pendant 20 min à l'obscurité. L'absorbance est lue à 490 nm au spectrophotomètre contre un blanc. Une droite d'étalonnage réalisée avec l'acide phytique (de 0 à 10 mg/ml) permet de déterminer la teneur en phytates en mg équivalent d'acide phytique (EAP)/100 g de matière sèche (MS) [33, 34].

2.2.3.7 Détermination des teneurs en oxalates des farines résiduelles

Les teneurs en oxalates sont déterminées selon les méthodes décrites dans la littérature [35, 36]. À 2 g de farine on ajoute 75 ml de H_2SO_4 (3 M). L'ensemble est agité pendant 1 h à température ambiante et filtré. 25 ml de filtrat sont titrés avec une solution KMnO_4 (0,05 M) jusqu'à ce que la solution violette vire au rose. La teneur en oxalates obtenue après 2 répétitions de l'opération, exprimée en mg/100 g de matière sèche est calculée selon l'équation (4) :

$$\text{Teneurs en oxalates (mg/100g)} = \frac{(2,2 \times V_{eq} \times 100)}{m_e} \quad (4)$$

V_{eq} : volume de KMnO_4 utilisé pour le titrage (ml) ; m_e : masse de l'échantillon (g).

2.2.3.8 Détermination de la teneur en vitamine C des farines résiduelles

- Préparation de la vitamine C (standard)

Dans une fiole, 25 mg de vitamine C (acide L-ascorbique) sont soigneusement mélangés à 50 ml d'une solution aqueuse d'acide oxalique à 2%. Plusieurs dilutions (0,04 ; 0,05 et 0,06 mg/ml) sont préparées à partir de la solution mère [37].

- Préparation et analyse de l'échantillon

À 4 g de farine sont additionnés 40 ml de H₂SO₄ (2,5 mM). Après 30 min d'agitation, le mélange est centrifugé (4000 tours/min) pendant 20 min, puis filtré. 20 µl de surnageant prélevés sont injectés dans un système CLHP (Waters Alliance) équipé d'une colonne à phase inversée C18 PLRP-S (5 µm × 150 mm × 4,6 mm) et d'un système isocratique. La phase mobile est constituée du mélange acide acétique (2 N) et acétonitrile avec un débit de 1,3 ml/min. La détection de la vitamine C est réalisée à 270 nm et les essais sont réalisés en triple. La teneur en vitamine C est déduite de la droite d'étalonnage de la vitamine C (de 0,04 à 0,06 mg/ml). L'identification est basée sur la comparaison des temps de rétention des pics du chromatogramme de l'échantillon avec ceux de l'étalon [37]. Les résultats sont exprimés en mg/100 g suivant l'équation (5) :

$$\text{Taux Vit C (mg/100 g)} = \frac{AE}{AT} \times \frac{Pt}{Vt} \times \frac{10}{100} \times \frac{t}{100} \times \frac{Vd}{PE} \quad (5)$$

AE : Aire de l'essai, AT : Aire du témoin, Pt : masse du témoin, Vt : Volume de dilution du témoin, t : Titre du témoin 99,21%, Vd : Volume de dilution de l'échantillon et PE : masse de l'échantillon

2.2.4 Quantification des métabolites secondaires des farines résiduelles

2.2.4.1 Extraction des composés phénoliques

Une masse (5 g) de chaque farine est macérée dans 60 ml de MeOH (80%). L'opération est répétée 2 fois. Les macérats

rassemblés sont concentrés à l'aide d'un évaporateur rotatif (Heidolph) puis séchés dans une étuve à 50 °C. Les concentrés secs ont servi à déterminer les teneurs en composés phénoliques.

2.2.4.2 Détermination des teneurs en polyphénols totaux (PT)

Le concentré sec (0,05 g) est repris dans 10 ml d'eau distillée. À 1 ml de ce mélange dilué au 1/10^{ème} sont ajoutés 1,5 ml de Na₂CO₃ (17%, m/v) et 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (0,5 N). L'ensemble est incubé à 37 °C pendant 30 min et l'absorbance est lue à 760 nm contre un blanc au spectrophotomètre (Aqualytic A1800). Les teneurs en polyphénols totaux sont déduites de la droite d'étalonnage de l'acide gallique (0 à 1000 µg/ml) préparée dans les mêmes conditions que les extraits et exprimés en microgramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (µg EAG/g MS) [38, 39].

2.2.4.3 Détermination des flavonoïdes totaux (FT)

Une masse de 0,05 g d'extrait est dissoute dans 10 ml d'eau distillée. À 2 ml de ce mélange sont ajoutés 100 µl du réactif de Neu. L'absorbance du mélange est lue à 404 nm au spectrophotomètre (Aqualytic A1800) et les pourcentages des FT calculés en équivalent quercétine (0,05 mg/ml) selon l'équation (6) [40].

$$\text{FT(\%)} = \frac{0,05 \frac{A_{\text{ext}}}{A_{\text{q}}}}{C_{\text{ext}}} \times 100 \quad (6)$$

A_{ext} : Absorbance extrait ; A_q : Absorbance quercétine ; C_{ext} : Concentration extrait (mg/ml).

2.2.4.4. Détermination des teneurs en tanins hydrolysables (TH)

L'extrait sec (0,05 g) est repris dans 10 ml d'éthanol (80%). À 1 ml de la solution obtenue sont additionnés 3,5 ml d'une solution de FeCl₃ (0,01 M dans HCl 0,001 M). L'absorbance du mélange est lue à 660 nm au spectrophotomètre (Aqualytic Al800) [41]. La teneur en TH est exprimée à l'aide de l'équation (7) :

$$\text{TH (\%)} = \frac{\text{Abs} \times \text{M} \times \text{V}}{\text{E mole} \times \text{m}} \quad (7)$$

Abs : absorbance, E mole : 2169 de l'acide gallique (constante en mole), M : masse = 300 g/mol, V : volume de l'extrait utilisé, m : masse de l'échantillon.

2.2.4.5. Détermination des teneurs en tanins condensés (TC)

Dans 10 ml d'eau distillée est dissout 0,05 g d'extrait. À 400 µl du mélange, 3 ml de solution de vanilline méthanolique (4%) et 1,5 ml de HCl concentré sont ajoutés. La masse réactionnelle est incubée pendant 15 min et l'absorbance lue à 500 nm au spectrophotomètre (Aqualytic Al800). Les teneurs en TC sont déduites de la droite d'étalonnage de la catéchine (0-300 µg/ml), et exprimées en microgrammes d'équivalent catéchine par gramme d'extrait (µg CE/g) [42, 43].

2.2.5 Evaluation de l'activité antioxydante des farines résiduelles

2.2.5.1 Méthode DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

Dans des tubes à essai secs et stériles sont introduits 2 ml d'extrait et 1 ml de la solution éthanolique de DPPH•. Le mélange est agité et incubé pendant 30 min à l'obscurité. Après incubation, l'absorbance de la masse réactionnelle est lue à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (Aqualytic Al800) contre un blanc constitué de 2 ml d'éthanol pur et 1 ml de la solution de DPPH•. La quercétine et la catéchine ont été utilisés comme témoins positifs [44]. Le pourcentage de réduction (PR) du radical DPPH• est calculé à l'aide de l'équation (8) :

$$\text{PR} = \frac{(\text{Ab} - \text{Ae})}{\text{Ab}} \times 100 \quad (8)$$

PR : pourcentage de réduction ; Ab : absorbance du blanc ; Ae : absorbance de l'échantillon.

La concentration médiane (CR₅₀) de l'échantillon traduit son efficacité et correspond à la concentration nécessaire pour réduire 50% de la concentration initiale du radical DPPH•. Elle est déterminée à l'aide du logiciel Graphpad Prism 5.

2.2.5.2. Méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Le réactif utilisé est un mélange composé de tampon acétate de sodium (300 mM, pH= 3,6), de TPTZ (2, 4, 6-Tri (2-pyridyl)-s-triazine) à 10 mM, préparé dans une solution de HCl à 40 mM et de FeCl₃ (20 mM) dans un rapport volumique 10 : 1 : 1. Après incubation à 37 °C pendant 15 min dans un bain-marie, 4,35 ml du réactif TPTZ sont ajoutés à 0,15 ml de chaque extrait (2 mg/ml). Après 4 min d'incubation, l'absorbance du complexe

(TPTZ-Fe³⁺) est lue à 593 nm à l'aide du spectrophotomètre. Les concentrations de réduction du cation Fe³⁺ en Fe²⁺ sont obtenues à partir de la droite d'étalonnage d'un extrait standard FeSO₄·H₂O à différentes concentrations (1,563 ; 3,125 ; 6,25 ; 12,5 ; 25 mM) préparé dans les mêmes conditions que les extraits [45, 46]. Les résultats sont exprimés en micromole équivalent de sulfate de fer par gramme de matière sèche (µMEFE/g MS).

3 Résultats et discussion

3.1 Rendement des farines résiduelles après extraction des matières grasses

Après avoir extrait les matières grasses des tubercules, les pourcentages de farines résiduelles obtenus sont : 75,15% (FRS) pour les tubercules provenant de la ville de Sinematiali ; 73,81% (FRK) pour ceux de Korhogo et 70,53% (FRD) pour ceux de Dabakala (Figure 1). Ces valeurs montrent des pourcentages élevés et supérieurs à 70%. Par ailleurs, la macération des farines résiduelles (FRS, FRK et FRD) dans le méthanol (MeOH, 80%) a donné des extraits bruts avec les rendements suivants: 22,26% pour FRS, 24,37% pour FRK et 25,70% pour FRD (Figure 2). Ces rendements élevés indiquent que les farines résiduelles renferment des phytocomposés.

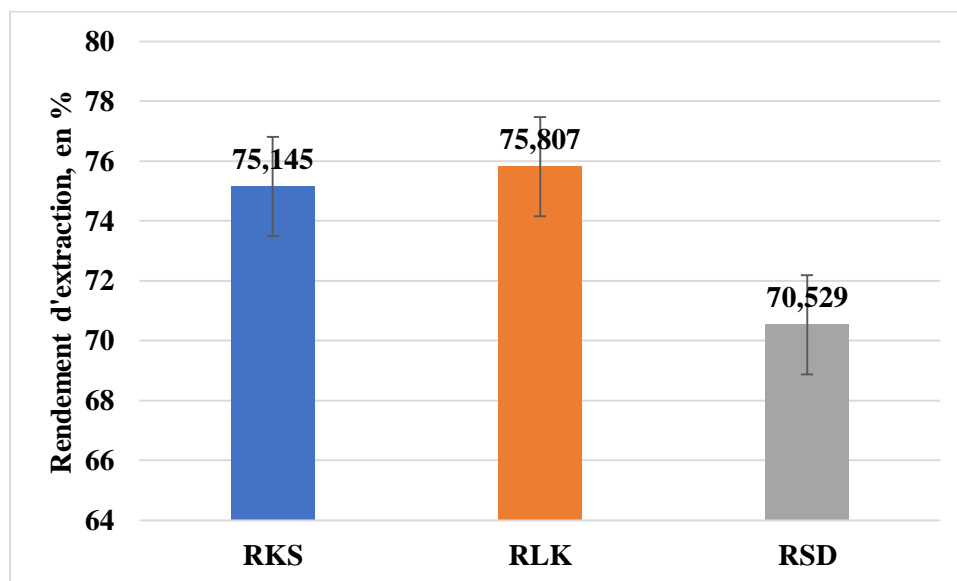


Fig. 1. Rendement des farines résiduelles.

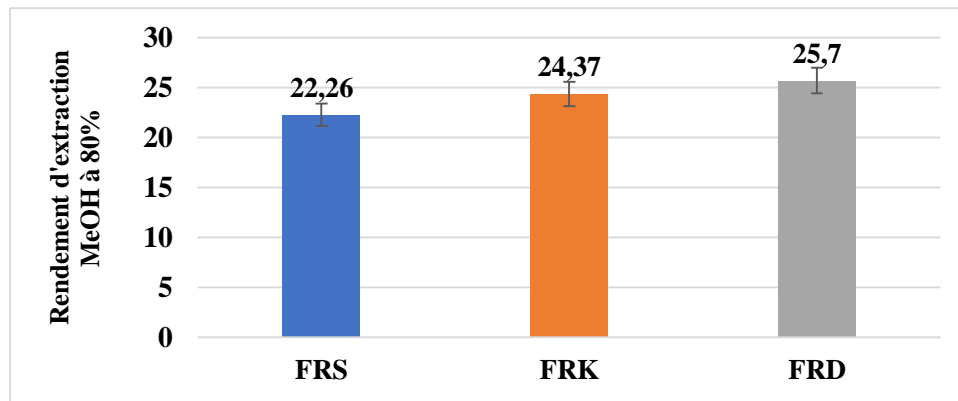


Fig. 2. Rendement des extraits bruts.

3.2 Composition chimique des farines résiduelles

3.2.1 Composition minérale

Les résultats de l'analyse minérale des farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* ont mis en évidence la présence d'une part de macroéléments (Tableau 1) au nombre desquels le sodium (Na), le magnésium (Mg), le phosphore (P), le potassium (K) et le calcium (Ca), et d'autre part, des oligoéléments (Tableau 2) tels que le silicium (Si), le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le nickel (Ni). Parmi ces éléments minéraux 2 catégories se dégagent, et ce, au regard de leur action physiologique. En effet, Ca et P sont essentiels pour la constitution et le maintien des tissus alors que Ca, K, P, Mg, Fe, Zn et Cu interviennent dans la régulation du métabolisme. De plus, d'autres éléments minéraux tels que le vanadium (V), le chrome (Cr) et le plomb (Pb) sont également détectés (Tableau 2). La coexistence de ces minéraux

(Na, K, P, Mg, Fe, Zn, Cu et Ca) permet de considérer les farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* comme des sources alimentaires nutritives [47]. Cependant, une comparaison avec les données de la littérature (Tableau 3) concernant la composition minérale d'autres farines de graines oléagineuses révèle que la farine du tubercule de *Cyperus esculentus* présente une teneur en macroéléments relativement faible. Ainsi, la teneur moyenne en K (731 mg/100 g) dans la farine de souchet est 1,3 fois inférieure à celle des tourteaux de tournesol et de colza ; et 1,7 fois inférieure à celle du lin (Tableau 3). Quant au Ca (19,32-21,20 mg/100 g), la farine de souchet en contient très peu par rapport aux tourteaux d'autres graines de plantes oléagineuses (Tableau 3). Cependant, la teneur en Mg (120 mg/100 g) est quasiment la même dans les tourteaux de tournesol et de caméline (Tableau 3).

Les farines résiduelles des tubercules de souchet se distinguent par une forte teneur en Fe (16,33 et 15,60 mg/100 g dans FRS et FRK, respectivement), dans lesquelles il est 2 fois plus élevé que dans le tourteau de tournesol (Tableau 3).

Tableau 1Teneurs en macroéléments des farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* (mg/100 g).

	Na	Mg	Si	P	K	Ca
FRS	3,6 ± 0,6	123 ± 11	193 ± 1	357 ± 2	670 ± 6	21,20 ± 0,01
FRK	3,2 ± 0,5	119 ± 4	234 ± 19	285 ± 16	704,7 ± 0,8	19 ± 1
FRD	3,1 ± 0,2	119 ± 5	167 ± 6	255 ± 13	820 ± 17	21 ± 2
*Références						
nutritionnelles (mg/j) [43]	110-2300	25-380	-	100-640	400-4000	200-2500

FRS : farine résiduelle des tubercules provenant de Sinématiali ; FRK : farine résiduelle des tubercules provenant de Korhogo ; FRD : Farine résiduelle des tubercules provenant de Dabakala, Ca : Calcium, K : Potassium, Mg : Magnésium, Na : Sodium, P : Phosphore, Si : Silicium.

Tableau 2Teneurs en oligoéléments des farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* (mg/100 g).

	Al	Fe	Cu	Ni	Zn	Cr	Pb	V
FRS	31,1 ± 0,8	16,3 ± 0,6	1,00 ± 0,01	0,5 ± 0,1	2,9 ± 0,9	0,15 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,040 ± 0,001
FRK	32 ± 2	15,6 ± 0,9	1,02 ± 0,01	0,48 ± 0,06	2,88 ± 0,07	0,14 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01
FRD	16,0 ± 0,5	8,6 ± 0,3	0,49 ± 0,01	0,6 ± 0,9	2,13 ± 0,08	0,22 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,02 ± 0,01
*Références								
nutritionnelles (mg/j) [48]		0,3-16			2-25	170-2300		

FRS : farine résiduelle des tubercules provenant de Sinématiali ; FRK : farine résiduelle des tubercules provenant de Korhogo ; FRD : Farine résiduelle des tubercules provenant de Dabakala, Al : Aluminium, Cr : Chrome, Cu : Cuivre, Fe : Fer Ni : Nickel, Pb : Plomb, V : Vanadium, Zn : Zinc.

Tableau 3

Composition minérale de la farine de quelques oléagineux (mg/100 g).

Elément	Tournesol [49]	Colza [49]	Lin [50]	Caméline [50]	Arachide [51]	Coton [51]
Ca	340	650	330	350	150	150
P	630	840	840	770	600	1000
K	910	980	1370	1140	-	-
Na	20	20	70	-	-	-
Mg	130	150	160	130	-	-
Fe	8,49	13,2	18,23	32,99	-	-
Mn	1,7	3,46	3,06	2,27	-	-
Cu	2,08	0,53	1,19	0,85	-	-
Zn	5,66	4,03	6,57	5,12	-	-

Ca : Calcium ; Cu : Cuivre ; Fe : Fer ; K : Potassium ; Mg : Magnésium ; Na : Sodium ; P : Phosphore ; Zn: Zinc; Mn: Manganèse.

3.2.2 Teneurs en nutriments essentiels

L'analyse chimique montre que le taux d'humidité des farines résiduelles obtenues est pratiquement identique, variant de 7,33 à 7,60%. Cette plage se situe dans l'intervalle normal [52] pour les farines résiduelles obtenues lors de l'extraction de la matière grasse à l'aide d'un solvant organique (Tableau 4). Il est bon de noter que la farine FRS est plus riche en protéines (11,9%) que les farines FRK (11,24%) et FRD (5,45). Ces faibles valeurs trouvées dans cette étude sont conformes aux valeurs (5,45-11,24%) rapportées dans la littérature pour les farines à base de souchet. En outre, ces teneurs en protéines sont relativement faibles comparées à celles des tourteaux de colza (38,5%), de tournesol (35,9%) [49], de l'arachide (44,21%) et de la noix de cajou (47,00%) [51]. De plus, les pourcentages de cendres dans les farines FRD, FRK et FRS sont respectivement de 2,29 ; 2,89 et 3,11%, ce qui indique que ces farines constituent d'importantes sources de minéraux pour l'alimentation. En ce qui concerne les sucres totaux, les teneurs sont de 13,80, 16,17 et 18,88% respectivement pour FRS, FRD et FRK. La moitié de ces métabolites glucidiques contenus dans FRS et dans FRD, ainsi qu'un tiers mis en évidence dans FRK, sont des sucres réducteurs. Les teneurs en glucides (GT) sont élevées dans toutes les farines résiduelles analysées avec des valeurs de 77,30 ; 77,86 et 84,30% respectivement pour FRS, FRK et FRD. De plus, les teneurs en GT de la farine de souchet sont presque deux fois plus élevées que celles du colza (41%) et du tournesol (39,6%) [49]. Enfin, la valeur énergétique de la farine résiduelle de souchet (360,23 ;

360,09 et 364,30 kcal/100 g) est inférieure à celle issue de la matière connue oléagineuse telle que l'arachide ($530,2 \pm 0,6$ kcal/100 g) et la noix de cajou ($529,5 \pm 0,6$ kcal/100 g), dont la valeur est liée à leur richesse en protéines (47 et 44%) et MG (31,91 et 31,14%) [51].

De manière générale, la farine résiduelle des oléagineux présente des substances antinutritionnelles telles que les fibres, les phytates et les oxalates. Bien que les fibres soient bénéfiques pour le microbiote intestinal humain, leur forte présence dans les farines réduit leur valeur énergétique, c'est-à-dire leur digestibilité [52]. Les phytates, quant à eux, se lient aux minéraux alimentaires, diminuant leur biodisponibilité, et peuvent altérer les protéines en affectant leur fonctionnalité [53, 54]. Cependant, certaines études suggèrent que la consommation prolongée d'aliments riches en acide phytique pourrait renforcer la densité osseuse [55]. Les farines résiduelles de souchet contiennent des teneurs en phytates (31,68 - 59,56 mg/100 g) (Tableau 4) bien plus élevées que celles des tourteaux de souchet cultivé en Espagne (8,9%) [56]. Les teneurs en fibres (9,32-9,81%) et en oxalates (0,050-0,055 mg/100 g) sont similaires à celles des tourteaux des graines de *Ricinodendron heudelotii* (10,98%) et *Tetracarpidium conophorum* (9,76%), deux plantes oléagineuses d'Afrique. Le tourteau de *T. conophorum* facilite la digestibilité protéique des rats [23]. Les farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* contiennent de faibles niveaux de fibres et de phytates, ce qui ne pose pas de problème majeur en raison de leurs propriétés antinutritionnelles.

Tableau 4

Composition nutritive des farines résiduelles.

Paramètres	Echantillons		
	FRS	FRK	FRD
Humidité (%)	7,3 ± 0,2	7,6 ± 0,3	7,4 ± 0,2
Farine résiduelle (%)	75,2 ± 0,2	73,8 ± 0,5	70,6 ± 0,7
Cendres (%)	3,11 ± 0,07	2,89 ± 0,06	2,29±0,07
Sucres totaux ST (g/100g)	13,8 ± 0,6	18,9 ± 0,6	16 ± 1
Sucres réducteurs SR (g/100 g)	7,3 ± 0,6	5,3 ± 0,6	8,3 ± 0,6
Protéines (%)	11,9 ± 0,2	11,2 ± 0,1	5,45 ± 0,08
Glucides GT (%)	77,3 ± 0,3	77,9 ± 0,4	84,3 ± 0,1
Valeur énergétique (kcal/100 g)	360 ± 1	360 ± 1	364,3 ± 0,5
Fibres (%)	9,3 ± 0,2	9,5 ± 0,8	9,8 ± 0,2
Oxalates (mg/100 g)	0,055±0,008	0,050±0,005	0,055±0,008
Phytates (mg/100 g)	53,1±0,8	32 ± 1	59,6±0,8

3.2.3 Teneur en vitamine C

Les chromatogrammes des extraits des farines résiduelles FRS, FRK et FRD sont présentés aux figures 3 à 5. Ils révèlent la présence de la vitamine C dans toutes les farines résiduelles analysées, avec un temps de rétention de 1,242 min.

Le tableau 5 montre les teneurs en vitamines C déterminées. Les teneurs les plus élevées sont trouvées chez FRS (356,9 mg/100 g), suivie de FRK (265,1 mg/100 g) et FRD (167,0 mg/100 g). La vitamine

C est une substance organique indispensable, dépourvue de valeur énergétique, qui joue un rôle physiologique dans le métabolisme humain. Aussi renforce-t-elle les défenses immunitaires de l'organisme et le rend plus résistant aux infections [47]. Cette vitamine est également un antioxydant par excellence. Ainsi, la présence de la vitamine C dans les farines résiduelles de souchet permettrait à ces dernières de couvrir les apports journaliers indispensables.

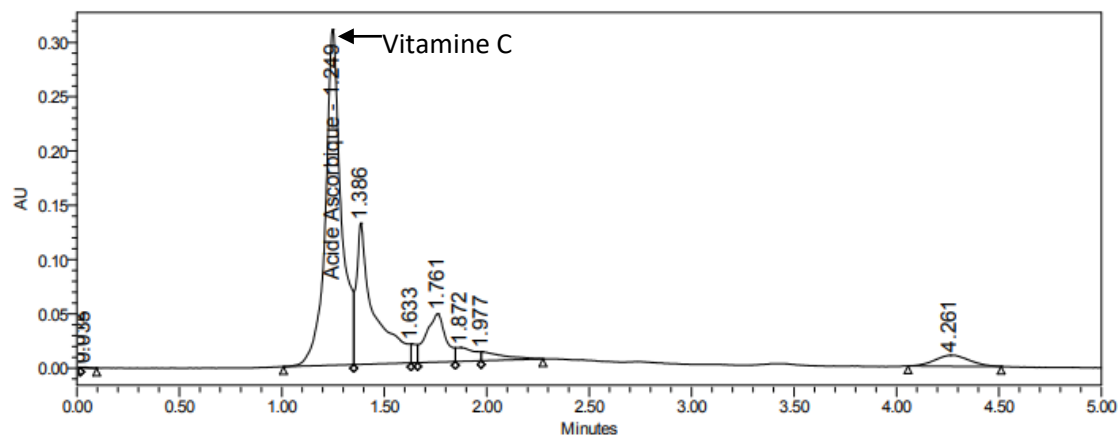


Fig. 3. Chromatogramme de FRS.

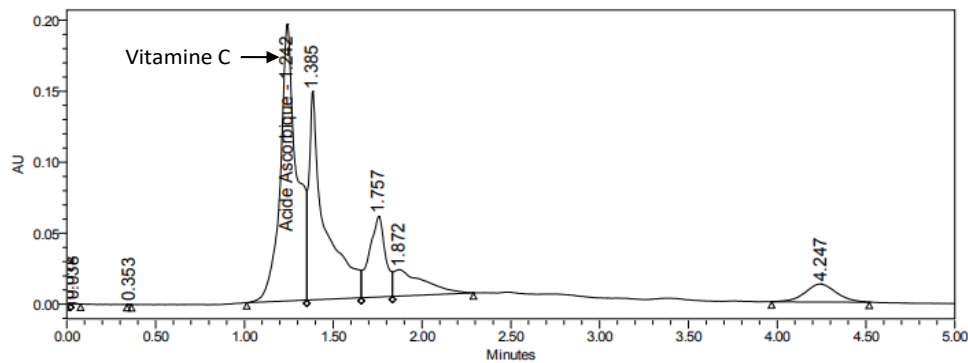


Fig. 4. Chromatogramme de FRK.

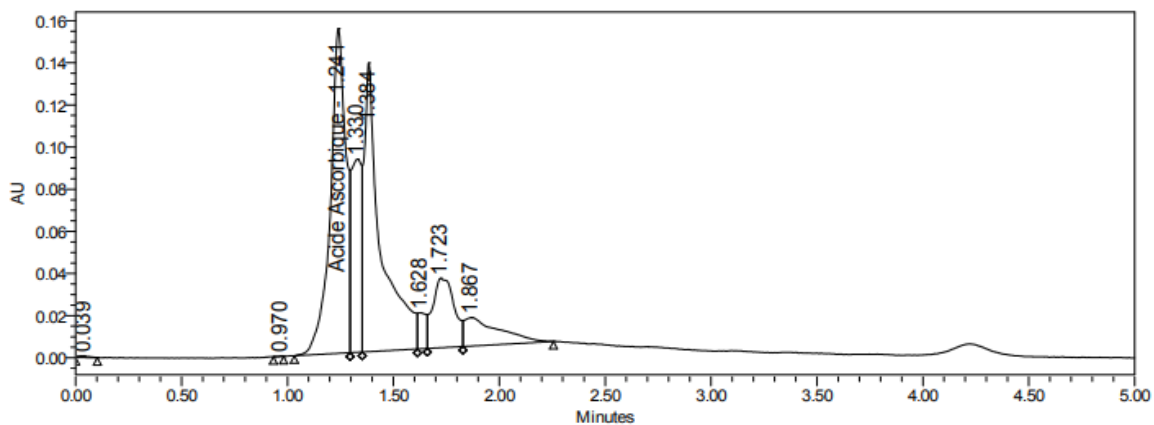


Fig. 5. Chromatogramme de FRD.

Tableau 5

Teneur en vitamine C dans les farines résiduelles (en mg/100 g).

Echantillons	Surface obtenue	Teneur
FRS	1680842	356,90 ± 0,03
FRK	1248693	265,100 ± 0,007
FRD	786620	167,000 ± 0,008

3.2.4 Teneurs en composés phénoliques

Le tableau 6 montre que les teneurs en polyphénols totaux (PT) et en flavonoïdes totaux (FT), en tanins condensés (TC) et hydrolysables (TH) sont variables selon les échantillons. Les résultats montrent que la teneur la plus élevée en PT est enregistrée dans FRK (4570±6 µg EAG/g MS), tandis que la teneur en TC est la plus élevée dans FRS (1111±20 µg EC/g MS). Les teneurs les plus basses en PT et en TC sont relevées dans FRS (3741±15 µg EAG/g MS) et FRD (242,50 µg EC/g MS). Notons qu'il

existe une différence manifeste entre les teneurs en PT trouvées et celle du tourteau de colza. En effet, la teneur en PT du tourteau de colza est plus élevée (16300 µg d'EAS/g MS) [57] par rapport aux résultats obtenus dans notre étude. Par contre, les valeurs en TC obtenues sont conformes à celle déterminée dans les tourteaux de colza (1400 µg EC/g MS) [58]. Les teneurs en TH sont pratiquement les mêmes pour tous les échantillons, mais inférieures à celles en TC (Tableau 6), ce qui indique que les tanins de souchet sont principalement des tanins condensés.

Tableau 6

Teneurs en phytophénols dans les farines résiduelles.

	FRS	FRK	FRD
PT (μg EAG/g MS)	3741 ± 15	4570 ± 6	4061 ± 12
FT (μg AG/g MS)	$8,104 \pm 0,002$	$5,997 \pm 0,004$	$7,929 \pm 0,001$
TH (μg EAG/g MS)	$0,233 \pm 0,006$	$0,348 \pm 0,002$	$0,272 \pm 0,002$
TC (μg EC/g MS)	1111 ± 20	927 ± 21	242 ± 11

PT : phénols totaux ; FT : flavonoïdes totaux ; TH : tanins hydrolysables ; TC : tanins condensés.

3.3 Activités antioxydantes des farines résiduelles

Les activités antioxydantes des farines résiduelles de tubercules de *Cyperus esculentus* ont été évaluées par spectrophotométrie selon 2 protocoles expérimentaux *in vitro* à savoir les tests DPPH et FRAP.

3.3.1 Profils DPPH

Le tableau 7 présente les profils antioxydants des farines résiduelles, et ce, en comparaison à deux antioxydants de référence à savoir la catéchine et la quercétine. La réduction du DPPH \cdot par les farines résiduelles est concentration-dépendant (Tableau 7). Les PR augmentent avec la concentration des échantillons testés de 0,36 à 73,29%. Par ailleurs, pour apprécier l'efficacité antioxydante des farines résiduelles, la concentration qui réduit 50% du DPPH \cdot (CR_{50}) a été déterminée par le logiciel Graphpad Prism 5 (Tableau 8). Plus la CR_{50} est faible, plus l'efficacité antioxydante est prononcée [59]. Les valeurs de CR_{50} des farines résiduelles FRK, FRS et FRD sont respectivement de 1,15 ; 1,25 et 1,70 mg/ml (Tableau 8). Au regard des valeurs des CR_{50} et comparativement aux antioxydants de

référence, nous pouvons déduire que les farines résiduelles présentent une efficacité antioxydante non négligeable, laquelle serait due à la coprésence des composés phénoliques et de la vitamine C. En effet, la farine FRK qui s'est révélée être le plus antioxydant contient plus de polyphénols (Tableau 6).

3.3.2 Profils FRAP

Parmi les échantillons testés, FRS présente la meilleure activité antioxydante ($15,04 \mu\text{mol EFe}^{2+}/\text{g MS}$), suivie de FRK ($10,48 \mu\text{mol EFe}^{2+}/\text{g MS}$) et de FRS ($9,19 \mu\text{mol EFe}^{2+}/\text{g MS}$) (Figure 6). Cette activité antioxydante peut être attribuée à la présence de phytoconstituants réducteurs que renferment les farines résiduelles. En sus, notons que la farine résiduelle FRS affiche la teneur la plus élevée en vitamine C (Tableau 5).

Les farines résiduelles ont montré une capacité réductrice élevée par rapport à un antioxydant naturel comme le ginseng ($7,39 \mu\text{mol EFe}^{2+}/\text{g MS}$) [60]. Cependant, les valeurs obtenues dans cette étude sont inférieures à celle de la vitamine C ($3078 \mu\text{mol EF}^{2+}/\text{g MS}$), utilisée comme référence.

Tableau 7

Pourcentages de réduction du DPPH• par les farines résiduelles et des antioxydants de références.

Concentration d'extraits (mg/ml)	Pourcentages de réduction (%)				
	FRS	FRK	FRD	Catéchine	Quercétine
0,00048829	-	-	-	17,18±0,01	28,91±0,01
0,00097658	-	-	-	37,80±0,02	36,37±0,01
0,00195315	-	-	-	56,64±0,01	55,8±0,2
0,0039063	-	-	-	81,52±0,01	83,8±0,2
0,0078126	-	-	-	83,2±0,3	85,2±0,2
0,015625	0,5±0,2	0,5±0,2	0,36±0,01	83,8±0,2	85,78±0,01
0,03125	1,6±0,2	1,440±0,001	1,0±0,2	84,36±0,01	86,14±0,01
0,0625	2,17±0,01	4,4±0,2	1,9±0,2	85,41±0,01	86,3±0,7
0,125	12,0±0,2	10,2±0,2	3,7±0,4	-	88,9±0,2
0,25	17,69±0,01	16,1±0,4	10,2±0,2	-	89,4±0,4
0,5	29,96±0,01	26,35±0,01	19,0±0,2	-	-
1	53,79±0,01	52,2±0,2	34,4±0,2	-	-
2	72,1±0,4	73,3±0,4	56,6±0,2	-	-

FRS, FRK et FRD : farines résiduelles des tubercules provenant de Sinématiali, de Korhogo et de Dabakala.

Tableau 8

CR₅₀ (mg/ml) des farines résiduelles et des antioxydants de référence.

Echantillons	Farines résiduelles			Catéchine	Quercétine
	FRS	FRK	FRD		
CR ₅₀	1,25	1,15	1,70	0,00174	0,00169

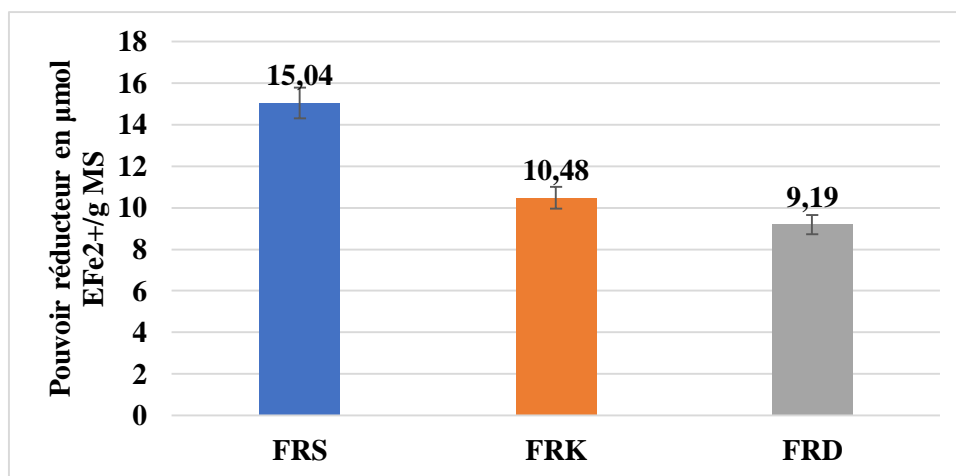


Fig. 6. Pouvoir de réduction des ions Fe³⁺ en Fe²⁺ par les farines résiduelles.

4 Conclusion

L'analyse minérale et nutritive de la farine résiduelle des tubercules de *Cyperus esculentus* a révélé des quantités significatives de minéraux, de glucides et de vitamine C, qui renforcent les défenses immunitaires et la résistance aux infections. L'étude phytochimique des extraits de farines résiduelles a mis en évidence la présence de phytoconstitués (phénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins hydrolysables et tanins condensés) et un potentiel antioxydant non négligeables (0,36 à 73,29%), faisant du souchet un complément bénéfique pour l'organisme humain. De plus, les compositions nutritive et minérale des farines résiduelles des tubercules de *Cyperus esculentus* ont été démontrées. Les résultats obtenus dans ce travail montrent que la farine résiduelle des tubercules de *Cyperus esculentus* peut être considérée comme un aliment naturellement riche en nutriments et serait donc bénéfique pour la santé. L'étude des farines obtenues selon le protocole usuel d'extraction de l'huile est en perspective.

Références bibliographiques

- [1] R. Oderinde, O.A. Tairu, *Evaluation of the properties of yellow nutsedge (Cyperus esculentus) tuber oil*, Food Chemistry 28(3) (1988) 233-237.
- [2] E. Sánchez-Zapata, J. Fernandez-Lopez, J.A. Perez-Alvarez, *Tiger Nut (C. esculentus) commercialization: health aspects, composition, properties and food applications*, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 11(4) (2012) 366-377.
- [3] J.J.L. Bezerra, B.F. Feitosa, P.C. Souto, A.A.V. Pinheiro, *Cyperus esculentus L. (Cyperaceae): Agronomic aspects, food applications, ethnomedicinal uses, biological activities, phytochemistry and toxicity*, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 47 (2023) 102-606.
- [4] Y. Yu, X. Lu, T. Zhang, C. Zhao, S. Guan, Y. Pu, F. Gao, *Tiger nut (Cyperus esculentus L.): nutrition, processing, function and applications*, Foods 11(4) (2022) 601.
- [5] C. Bohren, J. Wirth, *Souchet comestible (Cyperus esculentus L.): situation actuelle en Suisse*, Recherche agronomique Suisse 4(11-12) (2013) 360-467.
- [6] Ban-Koffi, G.J. Nemlin, S. Lefevre, A. Kamenan, *Caractérisation physico-chimique et potentialités thérapeutiques du pois sucré (C. esculentus L. (Cyperaceae))*, Agronomie Africaine 17(1) (2005) 63-71.
- [7] J.P.H. Linssen, G.M. Kielmann, Cozijnsen and Pilnik, *Comparison of Chufa and Olive oils*, Food Chemistry 28 (1988) 279-285.
- [8] S. Jing, W. Ouyang, Z. Ren, H. Xiang, Z. Ma, *The in vitro and in vivo antioxidant properties of Cyperus esculentus oil from Xinjiang, China*, Journal of the Science of Food and Agriculture 93(6) (2013) 1505-1509.
- [9] J.A. Adejuyitan, *Tigernut processing: its food uses and health benefits*, American Journal of Food Technology 6(3) (2011) 197-201.
- [10] E.I. Bamishaiye, O.M. Bamishaiye, *Tiger nut: as a plant, its derivatives and benefits*, African Journal of Food,

- Agriculture, Nutrition and Development 11(5) (2011) 5157–5170.
- [11] S. Bado, B. Patrice, S. Gouyahali, T. K. Moe, P. F. Brian, N. Stephan, M. L. Anne, O. Amadé, H.N.B. Ismael, *Physicochemical Characteristics and Composition of Three Morphotypes of C. esculentus Tubers and Tuber Oils*, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Analytical Methods in Chemistry (2015) 1- 8.
- [12] J.A Ayo, O.E. Adedeji, G. Ishaya, *Phytochemical composition and functional by properties of flour produced from two varieties of tigernut (C. esculentus)*, FUW Trends in Science & Technology Journal 1(1) (2016) 261-266.
- [13] A.K. Oladele, J.O. Aina, *Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (C.esculentus)*, African Journal of Biotechnology 6(21) (2007) 2473- 2476.
- [14] D. Djomdi, B. Hamadou, O Gibert, T. Tran, C. Delattre, G. Pierre, P. Michaud, R. Ejoh, R. Ndjouenkeu, *Innovation in Tigernut (C. esculentus L.) Milk Production: In Situ Hydrolysis of Starch*, Polymers 12(6) (2020) 1404.
- [15] B. Ndiaye, Contribution à la valorisation des tubercules de souchet (C. esculentus) : apport nutritionnel, itinéraires technologiques et propriétés galactogènes, Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal) (2021).
- [16] K.G.A. Alloka, B.F.D.M. Baguia, K.K.C.C. N’Gaman, B.J.A. Mamyrbekova, Y-A. Békro, *Phytochemical and nutritional composition of Cyperus esculentus L. (Cyperaceae) whole tubers and Defatted Flour*, American Journal of Pharm Tech Research 12(02) (2022).
- [17] K.G.A. Alloka, B.F.D.M. Baguia, K.K.C.C. N’Gaman, B.J.A. Mamyrbekova, Y-A. Békro, *Physicochemical Analysis and Characterization of the Lipid Fraction of the Tubers of Cyperus esculentus L. var. Sativus from Côte d’Ivoire*, International Journal of Biochemistry Research & Review 31(4) (2022) 33-46.
- [18] A. Gambo, A. Da’u, *Tiger nut (C. esculentus): composition, products, uses and health benefits - a review*. Bayero, Journal of Pure and Applied Sciences 7(1) (2014) 56-61.
- [19] E.A. El-Naggar, *Physicochemical Characteristics of Tiger Nut Tuber (C. esculentus Lam) Oil*, Middle East Journal of Applied Sciences 06(04) (2016) 1003-1011.
- [20] V. Ikpe, A. Uchechukwu, *Comparative Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of Ethanol Extracts of Fresh and Dried C. esculentus*, International Journal of Science and Advanced Innovative Research 4(2) (2019) 2536-7323.
- [21] FAO, FIDA, UNICEF, PAM & OMS, Résumé de l’état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Transformer les systèmes alimentaires pour une alimentation saine et abordable, Rome, FAO (2020), <https://doi.org/10.4060/ca9699fr>.
- [22] S. Bamba, B.J.A. Mamyrbekova, D. Virieux, G.R.M. Kabran, J.L. Pira., Y-A. Békro, *Analysis of a Rutaceae fat*

- matter from Côte d'Ivoire, Der chemical Sinica 6 (4) (2015) 47-50.
- [23] L.B.M. Kenfack, Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines de tourteaux, de concentrats et d'isolats de ricinodendron heudelotii (bail.) pierre ex pax et de Tetracarpidium conophorum (Müll. Arg), Thèse doctorale de l'Institut National Polytechnique de Lorraine / France (2010).
- [24] AFNOR (Association française de normalisation), *graines oléagineuses, produits dérivés*, Dans "Recueil des normes françaises des corps gras", 3^{ème} édition (1984).
- [25] EI IP 501, Determination of aluminium, silicon, vanadium, nickel, iron, sodium, calcium, zinc and phosphorus in residual fuel oil by ashing, fusion and inductively coupled plasma emission spectrometry. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/ei.501.2005>.
- [26] A.O.A.C., Official Methods of Analysis, 15th édition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC (1990).
- [27] N.G. Agbo, M. Uebersax, G. Hosfield, *An efficient extraction technique of sugars from dry edible beans (Phaseolus vulgaris L.) estimation and H.P.L.C.* Université de Côte d'Ivoire, Annals Series C Sciences, 21 (1985)169-184.
- [28] N.M.T. Kouamé, K. Soro, A. Mangara, N. Diarrassouba, A.V. Koulibaly, N.K.M. Boraud, *Étude physico-chimique de sept (7) plantes spontanées alimentaires du centre-ouest de la Côte d'Ivoire*, Journal of Applied Biosciences 90 (2015) 8450-8463.
- [29] A.B. Alaoui, Nature des polysaccharides issus du process d'extraction du saccharose à partir de la betterave, Thèse doctorale de l'Institut National Polytechnique de Lorraine / France (1993).
- [30] K.A. Yao, D.M. Koffi, S.H. Blei, Z. Irié Bi, S.L. Niamké, *Propriétés biochimiques et organoleptiques de trois mets traditionnels ivoiriens (attiéké, placali, attoukpou) à base de granulés de manioc natifs*, International Journal of Biological and Chemical Sciences 9(3) (2015) 1341-1353.
- [31] G.W. Latimer, Official Methods of Analysis, 20th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA (2016).
- [32] C.A. Koko, M. Diomandé, B.K. Kouamé, E.S.S. Yapou, J.N. Kouassi, *Caractérisation chimique des graines de quatorze variétés de Niébé (Vigna unguiculata L. Walp) de Côte d'Ivoire*, International Journal of Innovation and Applied Studies 17(2) (2016) 496-505.
- [33] M. Latta, M. Eskin, *A simple and rapid colorimetric method for phytate determination*, Journal of Agricultural and Food Chemistry 28(6) (1980) 1313-1315.
- [34] P. Kwanyuen, J.W. Burton, *A Simple and Rapid Procedure for Phytate Determination in Soybeans and Soy Products*, Journal of the American Oil Chemists Society 82(2) (2005) 81-85.
- [35] R.A. Day, A.L. Underwood, Quantitative Analysis, 5th Edition, Prentice Hall Publication, Upper Saddle River (1986).
- [36] P.O. Agbaire, *Nutritional and Antinutritional Levels of Some Local*

- Vegetables (Vernonia anydalira, Manihot esculenta, Teiferia occidentalis, Talinum triangulare, Amaranthus spinosus) from Delta State, Nigeria*, Journal of Applied Science and Environmental Management 15(4) (2011) 625-628.
- [37] V. Bansal, R. Malviya, O.P. Pal, P.K. Sharma, *Liquide Haute Performance Chromatographie : une courte révision*, Journal of Global Pharma Technology 2(5) (2010) 22-26.
- [38] V.L. Singleton, R. Ortofer, R.M. Lamuela-Raventos, Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Packer L (ed) Methods in enzymology, Orlando Academic Press London 299 (1999) 152-78.
- [39] K. Konan, Étude chimique et évaluation de l'activité antioxydante de quatre plantes médicinales de Côte d'Ivoire, Thèse unique de doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire) (2010).
- [40] E.B. Hariri, G. Sallé, C. Andary, *Involvement of flavonoids in the resistance of two poplar cultivars to mistletoe (Viscum album L.)*, Protoplasma 162(1) (1991) 20-26.
- [41] M.M. Dif, H. Benchiha, Z. Mehdadi, F. Benali-Toumi, M. Benyahia, K. Bouterfas, *Étude quantitative des polyphénols dans les différents organes de l'espèce Papaver rhoeas L.*, Phytothérapie 13(5) (2015) 324-319.
- [42] P. Schofield, D. Mbugua, A. Pell, *Analysis of condensed tannins: a review*, Animal feed science and technology 91(2) (2001) 21-40.
- [43] D. Heilmer, P. Vignini, M. G. Dini, F. F. Vinceri, A. Romani, *Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties*, Food chemistry 99(3) (2006) 464-469.
- [44] S.M. Savatovic, G.S. Četkovic, J.M. Čanadonovic-Brunet, S.M. Djilas, *Kinetic behavior of the DPPH radical-scavenging activity of tomato waste extracts*, Journal of the Serbian Chemical Society 77(10) (2012) 1381-1389.
- [45] I.F.F. Benzie, J.J. Strain, *The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP Assay*, Analytical biochemistry 239 (1996) 70-76.
- [46] J. Gong, J. Huang, G. Xiao, F. Chen, B. Lee, Y. You, S. Liu, Y. Zhang, *Antioxidant Capacities of Fractions of Bamboo Shaving Extract and Their Antioxidant Components*, Molecules 2(996) (2016) 1-14.
- [47] Les minéraux.
<https://www.anses.fr/fr/content/les-min%C3%A9raux> (Consulté le 22 juin 2024).
- [48] ANSES, Les références nutritionnelles en vitamines et minéraux. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort, 14 rue Pierre et Marie Curie (France) (2021).
- [49] O. Laguna, Valorisation des composés phénoliques de colza et de tournesol : du fractionnement des matières premières à la synthèse de molécules multifonctionnelles, Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier (France) (2019).
- [50] M.A. Proskurnya, L.V. Burlakova, I. A. Loshkoinshov, *Propriétés biologi-*

- ques des fibres alimentaires obtenues à partir du tourteau d'oléagineux de la collection sibérienne, Bulletin agraire de l'Oural 4 (2008) 48-50.
- [51] M. Diomandé, K.B. Kouamé, A.C. Koko, *Comparaison des propriétés chimiques de l'huile et tourteaux d'arachide et de noix de cajou vendus sur les marchés de Daloa, Côte d'Ivoire*, International Journal of Engineering and Applied Sciences 4(11) (2017) 28-320.
- [52] M. Naczk, R. Amarowicz, A. Sullivan, F. Shahidi, *Current research developments on polyphenolics of rapeseed/canola: a review*, Food Chemistry 62 (1998) 489-502.
- [53] S. González-Pérez, J.M. Vereijken, *Sunflower proteins: overview of their physicochemical, structural and functional properties*, Journal of the Science of Food and Agriculture 87 (2007) 2173-2191.
- [54] D.V.D. Haar, K. Müller, S. Bader-Mittermaier, P. Eisner, *Rapeseed proteins— Production methods and possible application ranges*, Oilseeds and fats, Crops and Lipids, D104, 21(1) (2014) 1-8.
- [55] A.A. López-González, F. Grases, N. Monroy, B. Marí, M.T. Vicente-Herrero, F. Tur, J. Perelló, *Protective effect of myo-inositol hexaphosphate (phytate) on bone mass loss in postmenopausal women*, European Journal of Nutrition 52 (2013) 717-726.
- [56] L. Bosch, M.A. Dea-Ayuela, H. Rico, J.M. Soriano, *Organic and conventional tiger nut (C. esculentus): Differences in nutritional, antioxidant and microbiological proper Ties*, Emirates Journal of Food and Agriculture 32(10) (2020) 756-761.
- [57] R. Khattab, M. Eskin, M. Aliani, U. Thiyam, *Determination of Sinapic Acid Derivatives in Canola Extracts Using High-Performance Liquid Chromatography*, Journal of the American Oil Chemists' Society 87 (2010) 147–155.
- [58] R. Amarowicz, M. Naczk, F. Shahidi, *Antioxidant activity of crude tannins of canola and rapeseed hulls*, Journal of the American Oil Chemists' Society 77 (2000) 957–961.
- [59] D.S. Etekpo, C.C. N'Gaman-Kouassi, J.A. Mamyrbekova-Békro, Y-A. Békro, *Antioxidant profiles of alcoholic tinctures from Heterotis rodundifolia (SM.) Jacq. Fél. (Melastomaceae) by DPPH radical trapping*, European Journal of Biomedical and Pharmaceutical sciences 10(5) (2022) 39-45.
- [60] G-F. Deng, C. Shen, X-R. Xu, R-D. Kuang, Y-J. Guo, L.S. Zeng, L-L. Gao, X. Lin, J-F. Xie, E-Q. Xia, S. Li, S. Wu, F. Chen, W. H. Ling, H-B. Li, *Lipotent of fruit wastes as natural resources of bioactive compounds*, International Journal of molecular Sciences 13 (2012) 8308-8323.