

Étude des comportements chimiques, fonctionnels et rhéologiques de mélanges de farines de blé (*Triticum aestivum*), amande de cajou (*Anacardium occidentale L*) et de banane plantain (*Musa paradisiaca*)

Sylvain Dogo BADJE^{1*}, Doudjo SORO², Giles Léonce NIAMKETCHI³
et Ernest Kouadio KOFFI¹

¹ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Biochimie et Sciences des Aliments (LaBSA), BP 01 Abidjan 34, Côte d'Ivoire

² Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), UMRI Sciences des Procédés Alimentaires, chimiques et Environnementaux, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³ Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Institut de Recherches pour les Huiles Oléagineux (IRHO) LAME, BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : badjesylvain@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est d'apprécier l'effet de la substitution des farines d'amande de cajou et de plantain sur le comportement nutritif et technologique de la farine composée blé / amande de cajou / plantain. A cet effet, les propriétés biochimiques et rhéologiques des mélanges de farines de blé avec 5 %, 10 %, 15 %, et 20 % d'incorporation de farine de cajou et de plantain ont été déterminées. L'étude montre qu'une substitution de la farine de blé par les farines locales induit une augmentation de certains paramètres biochimiques en l'occurrence les teneurs en protéines (8,83 - 12,43 %), cendres (0,66 - 1,42 %), fibres (2,03 - 3,3 %), matières grasses (1,8 - 7,59 %) et de la valeur énergétique (365,55 - 395,6 kcal) des mélanges tandis que le taux de glucide baisse de 76,50 à 70,51 %. S'agissant des données alvéographiques de la pâte à base de ces formulations, la substitution entraîne une diminution de la force boulangère (W), de l'extensibilité (L), de l'indice de gonflement (G) et une augmentation de la ténacité (P) et du rapport de configuration (P/L). En somme cette étude permet de mettre en place des farines boulangères de qualité du point de vu nutritionnel et acceptable technologiquement malgré la baisse de leurs paramètres rhéologiques suite à la substitution des farines locales.

Mots-clés : amande de cajou, plantain, farine de blé, substitution, propriétés biochimiques et rhéologiques.

Abstract

Study of chemical, functional and rheological behavior of mixtures of wheat flour (*Triticum aestivum*), cashew kernel (*Anacardium occidentale L*) and plantain (*Musa paradisiaca*)

The purpose of this study is to appreciate the effect of the substitution of cashew kernels and plantains on the nutritive and technological behavior of wheat / cashew kernel / plantain composite flour. For this purpose, the biochemical and rheological properties of wheat flour mixtures with 5 %, 10 %, 15 %, and 20 % incorporation of cashew and plantain flour were determined. The study shows that a substitution of wheat flour by the local flours induces an increase the biochemical parameters in this case the protein

(8,83 - 12,43 %), ash (0,66 - 1,42 %), fiber (2,03 - 3,3 %), fat (1,8 - 7,59 %) contents and energy value (365,55 - 395,6 kcal) of blends; while the carbohydrate rate drops from 76,50 to 70,51 %. As regards the alveographic data of the dough based on these formulations, the substitution causes a decrease in the baking strength (W), the extensibility (L), the swelling index (G) and an increase in the toughness (P) and configuration ratio (P/L). In short, this study makes it possible to set up baking flours of nutritional and technologically acceptable quality despite the drop in their rheological parameters following the substitution of local flours.

Keywords : *cashew kernel, plantain, wheat flour, substitution, rheological, biochemical and rheological properties.*

1. Introduction

Durant ces vingt dernières années dans les pays en voie de développement, d'importants espoirs ont été placés dans l'utilisation des farines composites en boulangerie [1]. En effet, ces pays engloutissent d'énormes devises dans l'importation du blé. Cette stratégie préconisée par la FAO depuis les années 1960 encourage l'utilisation des ressources locales, disponibles pour la substitution partielle ou totale de la farine de blé en vue de réduire la dépendance aux importations de cette céréale [2, 3]. Nombreux sont les auteurs qui ont travaillé sur le développement de farines, de gâteaux et de pains composites dans lesquelles une partie de la farine de blé est substituée par des farines issues des produits locaux [4, 5]. Parmi les produits substituants le blé, figurent le manioc, la patate, l'amande de cajou, la banane plantain, etc. C'est dans cet ordre d'idée que cette étude s'inscrit afin de limiter l'utilisation du blé dans la fabrication de produits de boulangerie, à travers l'addition de farines d'amande de cajou et de banane plantain à la farine de blé. L'amande de cajou est issue de l'anacarde (*Anacardium occidentale L.*), une culture d'une importance économique en Côte d'Ivoire puisqu'il occupe le 1^{er} rang mondial de producteur de noix de cajou brute avec une production estimée à 761 317 tonnes [6]. L'amande de cajou est une bonne source de protéines (20 à 24 %), d'acides linoléique, oléique (20 % et 60 % de la matière grasse), et des quantités appréciables de micronutriments [7]. Quant à la banane plantain (*Musa paradisiaca*), elle est un fruit amylicé de grande consommation au plan mondial, de par son importance alimentaire et socio-économique.

Elle est une excellente source d'énergie et de nutriments (Mg, K, Ca, P, etc.) et contribue significativement à la sécurité nutritionnelle en Afrique Subsaharienne [8]. Les pays en voie de développement engloutissent d'énormes devises dans l'importation du blé. Cette tendance pourrait diminuer si des sources disponibles sur place ou sous les tropiques, comme les farines de manioc étaient trouvées, pour remplacer partiellement voire totalement la farine de blé dans les industries boulangères. L'utilisation des farines locales pour substituer à la farine de blé constitue un enjeu important en termes d'économie, de valeur ajoutée aux ressources locales et de qualités nutritives pour les produits de boulangerie. A cela s'ajoute la réduction des problèmes de santé liée à la consommation du blé telle que la maladie cœliaque [9]. Les phases d'évolution de la farine en pain sont fonction du comportement rhéologique de la pâte depuis le pétrissage jusqu'à la cuisson, afin de générer une texture associant une mie alvéolaire ductile et une croûte dense fragile, acceptable pour le consommateur. Or, la pâte, constituée d'un réseau de gluten enchâssant des grains d'amidon, a un comportement évolutif complexe que l'addition des farines locales pourrait modifier énormément [9]. A côté des propriétés rhéologiques et technologiques des pâtes, la substitution bouleverse aussi les composants biochimiques des farines. L'objectif de la présente étude est d'évaluer les variations du comportement biochimique et rhéologique des farines que pourrait engendrer l'addition de farine de cajou et de plantain.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel biologique

Notre étude porte sur différentes farines composites produites à partir de farine de blé, de bananes plantains vertes (*Mussa paradisiaca*) et d'amande de cajou (*Anacardium occidentale L*). Les fruits de bananes plantains (cultivars Affoto, faux cornes) et la farine de blé utilisés pour nos essais proviennent du marché local de la ville de Yamoussoukro, chef-lieu de la région des lacs (6°48 latitude Nord et 5°16 longitude Ouest dans le centre de la Côte d'Ivoire). Les amandes de cajou sont issues du traitement des noix de cajou, collectées dans l'entreprise CAJOU du FASSOU, située à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire).

2-2. Méthodes

2-2-1. Production de farine d'amande de cajou déshuilée

Pour la production de poudre d'amande de cajou, la méthode de [10] modifiée, a été utilisée. Les amandes de cajou, une fois obtenues, sont concassées à l'aide d'un moulin à marteau. Les flocons obtenus sont déshuilés deux fois de suite au moyen d'un solvant (hexane) en utilisant le rapport 1/1 (p : p), dans une cuve en inox par macération continue pendant 30 min. La cuve hermétiquement fermée, est portée à ébullition pendant 50 minutes sur une plaque chauffante. Après 24 heures d'incubation, le surnageant, contenant l'huile et l'hexane, est retiré et les tourteaux sont collectés dans un tissu blanc en coton et mis sous presse pendant 24 heures. Les tourteaux dégraissés sont ensuite séchés à l'étuve (MEMMERT, Allemagne) pendant 12 heures à 65°C, pour éliminer les traces de solvant. Les tourteaux dégraissés et séchés sont broyés pour obtenir la poudre (*Figure 1*).

2-2-2. Production de la farine de banane plantain

La farine de banane plantain est obtenue selon la méthode décrite par [11], suivie de quelques modifications. Après réception des fruits de plantains verts, frais et matures, ils sont lavés à l'eau de robinet pour éliminer toutes les impuretés, puis précuits avec la peau dans une casserole à 100°C pendant 15 minutes jusqu'à tendreté. Les bananes précuites sont ensuite pelées puis découpées en cossettes à une épaisseur moyenne de 1 cm à l'aide d'un couteau de cuisine. Les cossettes obtenues, sont séchées à l'étuve (MEMMERT, Allemagne) à 60°C pendant 24 heures. Après déshydratation, les cossettes sont broyées pour donner place à la farine de banane plantain conservée dans des sachets stériles en polyéthylène jusqu'à leur utilisation (*Figure 1*).

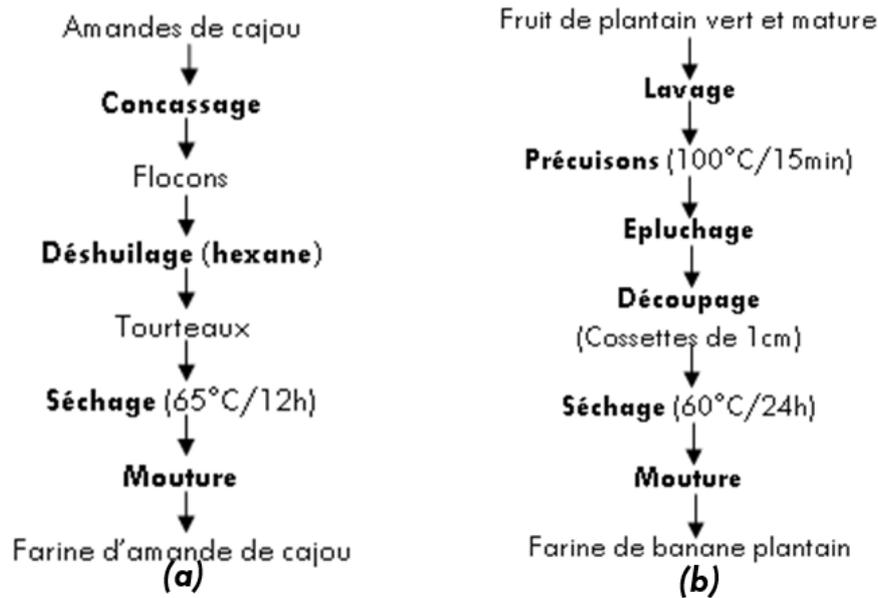


Figure 1 : Diagramme de production de farine d'amande de cajou (a) et de farine de plantain (b)

2-2-3. Formulation des farines composées et leurs abréviations

Le mélange de la farine blé avec les produits végétaux traités précédemment a été réalisé à l'aide d'un mixeur Philips (HR2811 model). On obtient ainsi des farines composées à base de farine de blé (100, 90, 80, 70 et 60 %), d'amande de cajou et de plantain (0, 5, 10, 15 et 20 %). Les différentes farines formulées ont été codifiées comme ci-dessous :

- FB : Farine de blé
- F1 : Farine composé de blé (90 %) + amande de cajou (5 %) + banane plantain (5 %)
- F2 : Farine composé de blé (80 %) + amande de cajou (10 %) + banane plantain (10 %)
- F3 : Farine composé de blé (70 %) + amande de cajou (15 %) + banane plantain (15 %)
- F4 : Farine composé de blé (60 %) + amande de cajou (20 %) + banane plantain (20 %)

2-2-4. Caractérisations physico-chimiques

Le taux d'humidité a été obtenu par séchage des échantillons dans une étuve (Memmert, Allemagne) à 105°C jusqu'à poids constant [12]. Le poids perdu dans chaque cas représente la teneur en eau des échantillons. La teneur en protéines a été déterminée selon la méthode [12]. L'azote total a été dosé selon la méthode de Kjeldahl après minéralisation sulfurique en présence de catalyseur au sélénium. La teneur en azote a été multipliée par le coefficient de conversion de l'azote en protéines (6,25). Les lipides ont été extraits par l'hexane à l'aide d'un extracteur de type Soxhlet (Unid Tecator, System HT2 1045, Suède). Après évaporation du solvant et séchage de la capsule à l'étuve à 105 °C pendant 30 minutes ; la différence de poids a donné la teneur en lipides de l'échantillon [12]. Les cendres des farines ont été déterminées selon la méthode de [13]. Celle-ci consiste à calciner 5g d'échantillons dans un four à moufle (Nabertherm GmbH Bahnhofstr, Germany) oxydant à 550°C pendant 8 heures. La teneur en fibres des échantillons est déterminée selon la méthode [14]. Une double hydrolyse acide (H₂SO₄ à 0,225 N) et alcaline (NaOH à 0,3 N) à chaud détruisant les protéines et les glucides digestibles contenus dans 3g d'échantillon a été effectuée, puis l'hydrolysate a été dégraissé à l'acétone. Le résidu est séché et pesé. Après calcination, le poids des cendres est retranché. Les glucides totaux et la valeur énergétique sont obtenus par calcul selon les méthodes respectives [15, 16].

- Glucides = $100 - (\% \text{ d'humidité} + \% \text{ de protéines} + \% \text{ de lipides} + \% \text{ de cendres})$.
- Valeur énergétique = $(\% \text{ de protéines} \times 4) + (\% \text{ de glucides} \times 4) + (\% \text{ de lipides} \times 9)$.

2-2-5. Analyse des propriétés fonctionnelles

La capacité d'absorption d'eau (CAE) est déterminée suivant la méthode de [17]. Pour ce fait, un 1g (m_0) de farine est dispersé dans 10 mL d'eau distillée. Après agitation pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur KS10, le mélange est centrifugé à 4500 trs/min pendant 10 minutes. Le culot humide recueilli (m_2) est pesé puis séché à 105 °C jusqu'à poids constant (m_1) puis la capacité d'absorption en eau (CAE) a été déterminée. La méthode utilisée pour déterminer la capacité d'absorption en huile (CAH) est celle décrite par [18]. Un gramme (1g) (m_0) de farine est dispersée dans 7 mL d'huile de palme raffinée puis le tout est agité pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur KS10 et centrifugé à 4500 trs/min pendant 10 minutes à l'aide d'une centrifugeuse (ALRESA, Espagne). Le culot récupéré est pesé (m_1) et la capacité d'absorption d'huile est déterminée.

2-2-6. Analyse rhéologique des farines

Les tests déterminés au moyen de l'alvéographe CHOPIN sont réalisés pour apprécier la valeur boulangère ou les propriétés plastiques des pâtes destinées à la panification. Ces tests font l'objet de la norme NF ISO 5530-4 : 2002.

2-2-6-1. Principe

La méthode consiste à faire passer progressivement sous l'influence d'un courant d'air, un fragment de pâte de masse sous forme de disque de l'état jusqu'à la limite naturelle de l'extension de la pâte où se produit une rupture. L'enregistrement d'une courbe sur un cylindre enregistreur, permet d'apprécier la caractéristique boulangère de la farine [19].

2-2-6-2. Essais alvéographiques

On ajoute à 250 g de farines 2,5 % d'eau salée, puis le tout est malaxé pendant 2 minutes. La pâte obtenue est pétrie dans le pétrin de l'alvéographe Chopin (8 min, 60 trs/min). Après son extraction, celle-ci est laminée à l'aide d'un rouleau par des mouvements de « va et vient », sur un plateau en verre. La pâte est ensuite lubrifiée avec de l'huile de paraffine et découpée en 5 pâtons à l'aide d'un emporte-pièce et laissés au repos (14 min, 25°C) dans la chambre de relaxation de l'alvéographe. Chaque pâton est inséré ensuite entre deux plaques métalliques et la soupape à air ouverte permet d'apporter une pression atmosphérique à la pâte. Une courbe est tracée à partir des enregistrements des cinq pâtons et les paramètres alvéographiques déterminés sont la ténacité (P), l'extensibilité (L), le travail de déformation (W) et l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité (P/L) de la pâte.

2-2-7. Analyses statistiques

Les analyses sont réalisées en triple et les résultats sont exprimés sur la base de la matière sèche. Les données sont ensuite soumises à une analyse de variance (ANOVA) effectuée avec le logiciel Stastica 7.1 en vue de comparer les moyennes. En cas de différence significative, le test de Newman-Keuls a permis d'identifier les moyennes responsables de la différence observée au seuil de 5 %.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physico-chimiques des farines

Le **Tableau 1** résume les propriétés physicochimiques des farines de blé et des farines composées blé/amande/plantain. La substitution de la farine de blé par la farine d'amande de cajou et de banane plantain entraîne une augmentation des teneurs en protéines, lipides, fibres, cendres et de la valeur énergétique des farines composées au fur et à mesure que le taux de substitution augmente (0 - 20 %). Les valeurs obtenues varient respectivement de 8,83 % FB à 12,43 % F4, de 1,80 % FB à 7,59 % F4, de 0,66 % FB à 1,42 % F4, de 2,03 % FB à 3,30 % F4 et de 365,55 Kcal/100 g FB à 395,66 Kcal/100 g F4. Cependant, le taux de glucides et d'humidité des farines diminuent suite à la substitution accrue des farines de cajou et de banane plantain dans les formulations. Ces taux évoluent respectivement de 76,50 % (FB) à 69,4 % (F4), et de 12,22 % (FB) à 9,02 % (F4). Une analyse de variance a permis de mettre en évidence une différence significative ($P < 0,05$) entre les échantillons en ce qui concerne les paramètres analysés.

3-2. Propriétés fonctionnelles des farines

La farine de plantain présente les plus grandes valeurs de CAE (180,29 %) par rapport aux autres farines. Cependant, pour la CAH (125,67 %), la teneur la plus élevée est obtenue respectivement par la farine de cajou (**Tableau 2**). En observant l'effet de la substitution, les résultats obtenus montrent une augmentation significative ($P < 0,05$) de la capacité d'absorption en eau et en huile avec l'augmentation de la farine de cajou et de la banane plantain dans les formulations. Ces valeurs varient de 115,62 % (F1) à 132,75 % (F4), et de 95,53 % (F1) à 107,21 % (F4) respectivement pour la CAE et la CAH et sont tous supérieures à celles du blé.

3-3. Caractéristiques rhéologiques

Les courbes de la **Figure 2** présentent l'effet de la substitution partielle de la farine de blé par celles de l'amande de cajou et de la banane plantain sur les propriétés rhéologiques de la farine de blé. En observant ces résultats, il ressort des modifications des paramètres alvéographiques. Lorsque le taux de substitution augmente dans les formulations, le travail de déformation (W), l'extensibilité (L) et l'indice de gonflement (G) diminuent. Ces valeurs varient respectivement de 213.10^{-4} J (F1) à 153.10^{-4} J (F4), de 85 mm (F1) à 26 mm (F4), et de 20,5 mm (F1) à 11,3 mm (F4). Cependant, elles sont inférieures à celles du blé. Quant à la ténacité P et au rapport P/L, ils augmentent avec le taux d'incorporation. La formulation F4 a eu les valeurs les plus élevées, qui sont de 134 mm H₂O et 5,15 respectivement pour la ténacité et le rapport P/L. Les plus faibles valeurs concernant ces paramètres sont obtenues par la farine de blé.

Tableau 1 : Compositions physico-chimiques de farines blé/amande cajou/plantain

Paramètres (%)	Echantillons						
	FB	FC	FBa	F1	F2	F3	F4
Humidité	12,22 ± 0,05 ^a	4,2 ± 0,08 ^a	4,35 ± 1,08 ^f	11,41 ± 2,67 ^b	10,60 ± 0,03 ^c	9,81 ± 3,05 ^d	9,02 ± 3,11 ^e
Lipides	1,80 ± 0,01 ^a	25,50 ± 0,01 ^a	2,02 ± 0,03 ^f	3,8 ± 0,03 ^e	5,18 ± 1,03 ^d	6,50 ± 0,88 ^c	7,59 ± 2,45 ^b
Protéines	8,83 ± 0,02 ^f	28,03 ± 0,10 ^a	2,70 ± 0,06 ^g	10,5 ± 0,30 ^e	11,14 ± 1,25 ^d	11,84 ± 0,61 ^c	12,43 ± 1,77 ^b
Glucides totaux	76,50 ± 0,03 ^b	38,55 ± 0,01 ^a	89,25 ± 3,76 ^a	73,30 ± 5,21 ^c	72,05 ± 0,79 ^d	70,51 ± 4,41 ^e	69,4 ± 0,81 ^f
Cendres	0,66 ± 0,01 ^a	3,67 ± 0,43 ^a	1,62 ± 0,04 ^b	0,81 ± 0,04 ^f	0,92 ± 0,02 ^e	1,2 ± 0,07 ^d	1,42 ± 0,05 ^c
Fibres totaux	2,03 ± 0,03 ^d	6,67 ± 0,60 ^a	3,53 ± 0,15 ^b	2,33 ± 0,44 ^d	2,76 ± 0,23 ^c	2,97 ± 0,43 ^c	3,30 ± 0,25 ^b
Energie (Kcal/100g)	365,55 ± 0,01 ^a	496,16 ± 0,02 ^a	386,07 ± 3,05 ^d	369,43 ± 0,15 ^f	378,73 ± 3,28 ^e	387,94 ± 5,8 ^c	395,66 ± 3,17 ^b

Les valeurs sont les moyennes ± écart type de trois essais (n = 3). Les valeurs portant les mêmes lettres dans la ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. FB : farine de blé ; FC : farine d'amande de cajou ; FBa : farine de plantain ; F1 : 90 % farine de blé + 5 % (farine de cajou et de plantain) ; F2 : 80 % farine de blé + 10% (farine de cajou et de plantain) ; F3 : 70 % farine de blé + 15 % (farine de cajou et de plantain) ; F4 : 60 % farine de blé + 20 % (farine de cajou et de plantain).

Tableau 2 : Propriétés fonctionnelles de farines blé/amande cajou/plantain

Paramètres	Echantillons						
	FB	FC	FBa	F1	F2	F3	F4
CAE (%)	109,31 ± 0,76 ^a	144,03 ± 0,35 ^b	180,29 ± 1,46 ^a	115,62 ± 2,12 ^f	121,54 ± 1,49 ^e	127,37 ± 2,67 ^d	132,73 ± 0,98 ^c
CAH (%)	89,67 ± 1,15 ^e	125,67 ± 1,15 ^a	104,38 ± 4,2 ^c	95,53 ± 2,19 ^d	98,30 ± 1,00 ^d	103,50 ± 2,34 ^c	107,21 ± 0,6 ^b

Les valeurs sont les moyennes ± écart type de trois essais (n= 3). Les valeurs portant les mêmes lettres dans la ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. FB : farine de blé ; FC : farine d'amande de cajou ; FBa : farine de plantain ; F1 : 90 % farine de blé + 5 % (farine de cajou et de plantain) ; F2 : 80 % farine de blé + 10% (farine de cajou et de plantain) ; F3 : 70 % farine de blé + 15 % (farine de cajou et de plantain) ; F4 : 60 % farine de blé + 20 % (farine de cajou et de plantain) ; CAE : capacité d'absorption en eau ; CAH : capacité d'absorption en huile.

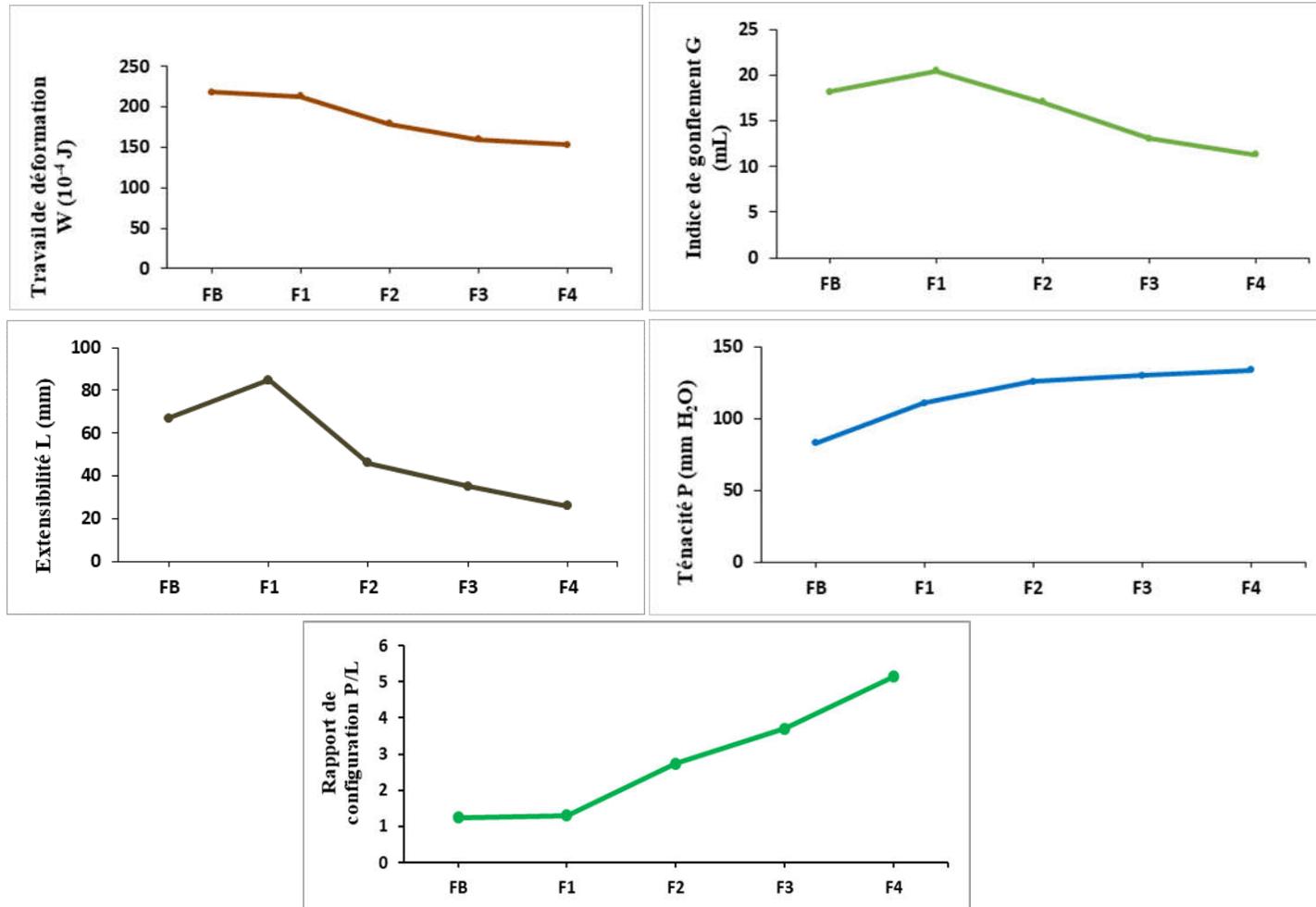


Figure 2 : Variation des paramètres rhéologiques des farines en fonction du taux de substitution

4. Discussion

Les résultats de la composition chimique montrent que la substitution croissante de la farine de blé par celles de l'amande de cajou et de la banane plantain a accru de façon significative ($P < 0,05$) les teneurs en protéines, en fibres, en lipides et en cendres et la valeur énergétique des farines composites. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus lors d'une étude effectuée sur des biscuits composés blé/orge malté [20]. Concernant les teneurs en protéines des farines, elles augmentent de 10,5 (F1) à 12,43 % (F4). Cette augmentation pourrait être attribuée à la richesse en protéines (28,03 %) de la farine d'amande de cajou. Le même constat est fait par [20], lorsqu'ils incorporent la farine d'orge à la farine de blé pour fabriquer des biscuits. Les teneurs en protéines de nos formulations restent appréciables puisqu'elles demeurent dans la gamme acceptable de 10,5 à 14 % qui est la valeur recommandée pour une farine à pain [21]. Cette amélioration protéique est d'une importance dans la mesure où les protéines interviennent dans la défense de l'organisme et permettent le renouvellement des tissus, la synthèse d'enzymes et d'hormones de certains composés impliqués dans le bon fonctionnement de l'organisme [22]. L'augmentation significative ($P < 0,05$) des teneurs en fibres (2,33-3,30 %) pourrait s'expliquer par l'ajout croissant des farines d'anacarde et de plantain riche en fibres, dans nos formulations.

Toutefois, les quantités obtenues par nos farines composites restent conformes à la norme (≤ 5 g/100 g) recommandée [23]. L'utilisation de ces farines comme ingrédients en boulangerie et pâtisserie pourrait améliorer la qualité nutritive des produits finis et par conséquent, être bénéfique à l'organisme. En effet, ces fibres sont des nutriments qui régulent le transit intestinal et facilitent l'hydratation de fèces [24]. Selon ces auteurs, les fibres jouent aussi un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires, du cancer de colon et du diabète, car, elles ont la possibilité de capter une partie des lipides et des glucides, ce qui permet de réguler en partie le taux de sucre sanguin et d'éviter l'excès de cholestérol. De plus, il est admis que les fibres, en absorbant facilement l'eau à chaud et à froid acquièrent des propriétés épaississantes et contribuent à donner des gels assez résistants. Les caractéristiques visqueuses de ces gels interviennent sur la tenue, l'extensibilité et l'aptitude au développement des pâtes en stabilisant les alvéoles gazeuses [25]. Ces composés limitent également la diffusion du gaz carbonique et participent ainsi à un meilleur développement du pain [25]. En ce qui concerne la teneur en cendres d'un aliment, elle rend compte de la quantité des minéraux des produits alimentaires. Les teneurs en cendres des échantillons, dans notre étude, augmentent considérablement ($P < 0,05$) avec le niveau de substitution dans les formulations.

Cette observation a été faite lors d'une étude réalisée sur un gâteau composé de blé et de purée de banane plantain [4]. Les valeurs obtenues (2,63 - 3,02 %) par ces auteurs sont supérieures à celles obtenues dans nos travaux (0,81 - 1,42 %). Les teneurs en lipides augmentent également de 3,8 % (F1) à 7,59 % (F4) mais restent inférieures aux valeurs (3,94 - 12,52 %) obtenues sur les pains composés blé/amande de cajou [5]. Ces résultats sont différents de ceux de [20], lors d'une étude faite sur des biscuits préparés à partir de farines composées de blé et d'orge (11,95 - 8,81 %). Malgré cette croissance significative, nos valeurs déterminées demeurent relativement faibles par rapport à la valeur (8 %) recommandée [23]. Une telle teneur permet une meilleure conservation des farines, en empêchant le développement d'une senteur de rance occasionnée par les acides gras libérés au cours du stockage [26]. En effet, les lipides sont essentiels pour le bon fonctionnement de l'organisme, de par leur implication dans l'absorption des vitamines liposolubles [27]. De même, ils interviennent dans le processus de panification, en formant un complexe avec les protéines aux interfaces eau / air, ces molécules participent à la formation et à la stabilité des alvéoles de gaz dans la pâte [25]. Le taux d'humidité des farines composites (9,02 - 11,41 %) est inférieur à 12 %, qui représentent la limite maximale pour une bonne conservation des denrées alimentaires [28]. Ce faible taux d'humidité permet une longue durée de conservation sans risque de prolifération microbienne et d'altération de l'aliment. En effet, la multiplication des micro-organismes provoque l'hydrolyse enzymatique de l'amidon et l'acidification des farines [29]. Concernant les teneurs en glucides, elles diminuent

significativement ($P < 0,05$) avec le taux de substitution. Un effet semblable est rapporté sur des gâteaux produits à partir d'une combinaison de farine de blé et de purée de banane plantain [4]. Cette diminution serait imputable à la faible teneur en glucides de la farine d'amande de cajou (26,8 %). Malgré cette baisse, les valeurs obtenues (73,30 % à 69,40 %) dans cette étude sont légèrement supérieures à la valeur (68 %) recommandée [23]. Cette différence pourrait s'expliquer par la présence de la farine de plantain qui est un produit fortement amylicé (89,25 %). Les glucides pourraient jouer un rôle important en panification car, ceux-ci contribuent de manière active à la formation de la pâte en formant des liaisons avec les protéines de gluten [25]. Les propriétés fonctionnelles représentent une autre voie pour évaluer la qualité des farines. Celles-ci modifient le comportement des farines lors du processus industriel. Dans cette étude, la substitution entraîne une augmentation significative ($P < 0,05$) de la capacité d'absorption en eau (CAE) et en huile (CAH) avec le niveau de substitution. Ces données sont identiques à celles d'une étude effectuée sur du pain composé de blé et de voandzou [1].

Selon [30], l'augmentation de la CAE des farines composées serait due à la différence de teneur en protéines et en glucides apportés respectivement par la farine d'amande de cajou et celle de la banane. L'augmentation de la capacité d'absorption d'eau due à cette substitution suggère que les farines composées blé/amande de cajou/banane plantain pourraient être utilisées dans la panification qui requiert beaucoup d'eau pour améliorer les caractéristiques usuelles de la pâte boulangère. En ce qui concerne la capacité d'absorption en huile (CAH), elle constitue une caractéristique majeure dans les formulations alimentaires car elle permet de retenir la saveur et de rehausser la sensation en bouche [31]. L'augmentation de CAH a été rapportée sur des farines composites à base de blé et de voandzou [1]. Celle-ci est due aux farines d'amande de cajou et de plantain, car elles sont riches en protéines, en fibres et en glucides. En effet, [30] rapportent que la capacité d'absorption en huile est liée à la nature et à la teneur en protéines, fibres et en amidon. L'accroissement de cette capacité dans les formulations suggère l'utilisation de ces farines en pâtisserie et en viennoiserie. L'approche de la valeur boulangère d'une pâte et la prédiction de ses propriétés panifiables peut se faire à travers la mesure de leurs forces d'expansion par l'Alvéographe Chopin [25]. Ainsi, la substitution croissante des farines d'amande de cajou et de banane plantain dans la farine de blé a induit une modification au niveau des paramètres alvéographiques des farines composées.

Les paramètres tels que le travail de déformation (W), l'extensibilité (L), et de gonflement (G) des farines composées baissent significativement ($P < 0,05$) tandis que la ténacité (P) et rapports P/L augmentent considérablement. Les travaux effectués sur les farines composites blé/sorgho ont rapporté des résultats similaires [32]. En ce qui concerne le travail de déformation (W), il est plus utilisé dans les transactions commerciales [25]. Les résultats obtenus diminuent et sont semblables aux observations faites sur le pain à base de blé et de fruit à pain [33]. Cette baisse s'explique par le fait que les farines locales ne contiennent pas de gluten donc ne sont pas panifiables. En effet, la résistance du gluten à l'origine de la force boulangère a baissé suite à l'incorporation croissante des farines de cajou et de plantain. Dans cette étude, les formulations F1 et F2 se caractérisent par un travail de déformation (W) respectif de $213 \cdot 10^{-4}$ J et $180 \cdot 10^{-4}$ J, se classant ainsi dans le groupe des farines de bonne force boulangère selon les normes françaises (180 à $220 \cdot 10^{-4}$ J) [25]. Quant aux échantillons F3 ($160 \cdot 10^{-4}$ J) et F4 ($153 \cdot 10^{-4}$ J), ils ont des forces insuffisantes au vue des recommandations françaises. Par ailleurs, ils sont aptes à la panification algérienne si on se réfère à l'intervalle (130 - $180 \cdot 10^{-4}$ J) recommandé par [25]. L'analyse selon laquelle le gonflement (G) est en baisse a été faite par [33] lors d'une étude effectuée sur du pain composé de blé et de fruit à pain. De toutes les farines composites, seule la farine F1 (20,5 ml) a obtenu une valeur qui s'inscrit dans l'intervalle (20 - 24 mL) recommandée pour une farine panifiable [34]. Cependant, avec un indice de 17,1 mL, la formulation F2 est sensiblement proche de la limite (20 mL) pour une farine apte à la panification. Selon ces infirmations, les farines F1 et F2 présentent un bon gonflement. L'indice de gonflement est un paramètre de qualité qui permet d'apprécier la capacité du réseau de gluten de maintenir le gaz carbonique dans la pâte et de

s'informer sur son extensibilité [35]. Ainsi, la baisse de l'indice de gonflement observée pourrait prévenir de l'absence de protéines de gluten dans les farines locales utilisées. Quant à l'extensibilité « L » des farines, elle diminue avec l'augmentation du taux de substitution, ce qui confirme les mauvaises propriétés de gonflement des pâtes composées. Dans cette étude, les valeurs (111 - 130 mm) de la ténacité « P » des farines composées sont supérieures à la norme (60 - 80 mm) pour les farines de bonne ténacité [34]. Selon cette information, nos farines ont une mauvaise ténacité. En ce qui concerne le rapport de configuration « P/L », il augmente avec le taux de substitution et varie de 1,3 (F1) à 5,15 (F4). Si on se réfère à [25], seule la formulation F1 est adaptée pour la panification car le rapport P/L est compris entre 0,8 et 2, l'intervalle idéal pour la panification.

5. Conclusion

La substitution partielle de la farine de blé par les farines d'amande de cajou et de banane plantain induit clairement une augmentation considérable dans la composition biochimique des farines composées, notamment en protéines, en lipides, en cendres, en fibres, et en énergie. De plus, cette substitution permet d'améliorer certaines propriétés fonctionnelles (CAE et CAH). Par ailleurs, cette étude a évoqué une chute au niveau des caractéristiques rhéologiques, en l'occurrence, la force boulangère « W » et l'indice de gonflement « G ». Malgré cette évolution, les formulations F1 et F2 ont obtenues des valeurs acceptables au vue de la norme algérienne et française. Ces farines pourront servir ainsi, d'ingrédients en boulangerie. L'utilisation de ces farines locales permettra non seulement d'accroître la valeur ajoutée de ces ressources locales mais aussi de limiter l'importation de blé.

Références

- [1] - S. K. DIALLO, D. SORO, K. Y. KONE, N. E. ASSIDJO, K. B. YAO et D. GNAKRI, Fortification et substitution de la farine de blé par la farine de Voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc) dans la production des produits de boulangerie. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 18 (2) (2015) 434 - 443 p.
- [2] - O. O. ONABANJO and A. I. DICKSON, Nutritional, functional and sensory properties of biscuit produced from wheat-sweet potato composite. *Journal of Food Technology Research*, 1 (2) (2014) 111 - 121 p.
- [3] - E. ERIKSSON, K. KOCH, C. TORTOE, P. T. AKONOR and C. ODURO-YEBOAH, Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Bread Produced from Three Varieties of Cassava and Wheat Composite Flours. *Food and Public Health*, 4 (5) (2014) 214 - 222
- [4] - A. K. YAO, D. M. KOFFI, Z. B. IRIÉ et S. L. NIAMKE, Effet de la substitution partielle de la farine de blé par la purée de banane plantain (*Musa AAB*) bien mûre sur la qualité des produits de pâtisserie. *Journal of Applied Biosciences*, 82 (2014) 7436 - 7448 p.
- [5] - D. S. BADJE, D. SORO, M. A. YEO and E. K. KOFFI, Physico-Chemical, Functional and Sensory Properties of Composite Bread prepared from Wheat and defatted Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Kernel Flour. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 4 (2018) 88 - 98 p.
- [6] - CCA, Conseil Coton Anacarde, Tonnage de noix de cajou : Rapport annuel. Côte d'Ivoire. (2017) 35 p.
- [7] - A. N. NASCIMENTO, J. NAOZUKA and P. V. OLIVEIRA, In vitro evaluation of Cu and Fe bioavailability in cashew nuts by off-line coupled SEC-UV and SIMAAS. *Microchemical Journal*, 96 (2010) 58 - 63 p.
- [8] - M. M. WALL, Ascorbic acid, vitamin A and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) varieties grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (2006) 434 - 445
- [9] - IKPEME, C. A. EMMANUEL, N. C. OSUCHUKWU and L. OSHIELE, Functional and sensory properties of

- wheat (*Aestium triticum*) and taro flour (*Colocasia esculenta*) composite bread. *African Journal of Food Science*, 4 (5) (2010) 248 - 253 p.
- [10] - K. W. C. SZE-TAO and S. K. SATHE, Functional properties and in-vitro digestibility of Almond (*Prunus dulcis* L) protein isolate. *Food chem.*, 69 (2004) 153 - 160 p.
- [11] - E. PÉREZ-SIRA, Characterization of starch isolated from plantain (*Musa paradisiaca normalis*). *Starch/Stärke*, 49 (1997) 45 - 49 p.
- [12] - AOAC, Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis". 15th edition, Washington D.C. USA, (1990)
- [13] - BIPEA, Bureau Inter Professionnel d'Etudes Analytiques, Recueil des Méthodes d'Analyse des Communautés Européennes. Genevillier. France, (1976) 51 - 52 p.
- [14] - P. S. VAN SOEST, Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II- A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of Association of Official Analytical Chemistry*, 46 (1963) 829 - 835 p.
- [15] - FAO, Traditional food plant, Food and Nutrition Paper. Rome, (1998) 87 p.
- [16] - W. ATWATER and E. ROSA, A new respiratory calorimeter and the conservation of energy in human body. *Physical Review*, 9 (1899) 214 - 251 p.
- [17] - R. D. PHILIPS, M. S. CHINNAN, A. L. BRANCH, J. MILLER and K. H. MCWATTERS, Effects of pretreatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. *Journal of Food Science*, 53 (1988) 805 - 809 p.
- [18] - F. W. SOSULSKI, The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, 39 (1962) 344 - 350 p.
- [19] - B. TAUPIER-LETAGE, La qualité des blés panifiables en agriculture Biologique. *Edit Alter Agri.*, 71 (2005) 10 - 14 p.
- [20] - D. S. IKUOMOLA, O. L. OTUTU and D. D. OLUNIRAN, Quality assessment of cookies produced from wheat flour and malted barley (*Hordeum vulgare*) bran blends. *Food science & technology*, 3 (2017) 1 - 12 p.
- [21] - H. KERAN, M. SALKIĆ, A. ODOBAŠIĆ, M. JAŠIĆ, N. AHMETOVIĆ and I. ŠESTAN, The importance of determination of some physicalchemical properties of wheat and flour. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74 (3) (2009) 197 - 200 p.
- [22] - S. SGUERA, Spirulina plantesis et ses constituants, intérêts nutritionnels et thérapeutiques, Thèse, université Henri Poincaré, Nancy, (2008)
- [23] - FAO/OMS, Programme mixte sur les normes alimentaires, Rapport de la vingt-septième session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime (2006) 105 p.
- [24] - O. O. DOSUMU, O. O. OLUWANIYI, G. V. AWOLOLA and O. O. OYEDEJI, Nutritional composition and antimicrobial properties of three Nigerian condiments. *Nigerian Food Journal*, 30 (1) (2012) 43 - 52 p.
- [25] - S. BOULEMKAHEL, Panification sans gluten à base de riz et féverole : effet améliorant d'une adjonction combinée HPMC-Xanthane, Magister en Sciences Alimentaires, Université Constantine-1, Algérie, (2014) 101 p.
- [26] - I. KACED, R. C. HOSENEY and E. VARRIANO-MARSTON, Factors affecting rancidity in ground pearl millet *Pennisetum americanum* L Leeke. *Cereal Chemistry*, 61 (1984) 187 - 192 p.
- [27] - A. N. SAIDU and N. G. JIDEOBI, The Proximate and Elemental Analysis of some Leafy Vegetables Grown in Minna and Environs. *J. Appl. Sci. Environ.*, 13 (4) (2009) 21 - 22 p.
- [28] - RDA, Recommended dietary allowance of vitamin and other nutrients, January (2008), <http://www.anyvitamins-com/rda.htm>
- [29] - K. SALL, Contrôle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Sénégal, Thèse de doctorat en pharmacie, Université Cheick Anta Diop, Dakar, (1998) 118 p.
- [30] - D. INDRANI, MILIND, S. D. SAKHARE and A. A. INAMDAR, Rheological, physico-sensory, nutritional and storage characteristics of bread enriched with roller milled fractions of black gram (*phaseolus mungo* l). *Journal of food science technology*, (2014) 3 p.

- [31] - N. S. YADAHALLY, B. S. VADAKKOOT, M. P. VISHWAS and S. VASUDEVA, Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour : Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131 (2012) 462 - 468 p.
- [32] - M. SAMBE, L. S. TOUNKARA, M. J. F. S. LOPY et Y. N'DIAYE, Etude des comportements rhéologiques des mélanges de farine blé/sorgho sans tanins issue de trois nouvelles variétés cultivées au Sénégal et mise au point de pains à base de farines composées (blé/sorgho). *Agronomie Africaine*, 29 (1) (2017) 69 - 74 p.
- [33] - A. H. BAKARE, O. F. OSUNDAHUNSI and J. O. OLUSANYA, Rheological, baking, and sensory properties of composite bread dough with breadfruit (*Artocarpus communis* Forst) and wheat flours. *Food Science & Nutrition*
- [34] - P. ROUSSEL et H. CHIRION, Les pains français : évolution, qualité, production, Science et technologie des métiers de bouche, *ISSM*, (2005) 1297 - 2606
- [35] - N. SAKR et E. H. MOUSSA, Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et destinées à la préparation du pain libanais. *Lebanese science journal*, 8 (2) (2007) 87 - 103 p.