

## DÉVELOPPEMENT D'UN PAIN COMPOSITE

BENLEMMANE Samira<sup>1\*</sup>, EL HADI Djamel<sup>2</sup>, AOUEBED Ali<sup>2</sup>

1. Université de Blida1. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département Agroalimentaire. Laboratoire d'analyse fonctionnelle des procédés chimiques, B.P. 270, route de Soumaa, Blida 09000,

2. Université de Blida1, Faculté de technologie. Département Génie des procédés. Laboratoire d'analyse fonctionnelle des procédés chimiques, B.P.270, route de Soumaa, Blida 09000,

*Reçu le 07/03/2018, Révisé le 06/06/2018, Accepté le 08/06/2018*

### Résumé

**Description du sujet.** Le remplacement partiel de la farine de blé par des farines produites localement réduit la dépendance de la farine de blé pour la fabrication du pain.

**Objectifs.** L'objectif principal de cette étude est d'optimiser la formulation d'un pain composé de farine de blé tendre (A), blé dur (B) et farine complète d'orge (C).

**Méthodes.** Les propriétés chimiques et rhéologiques des farines composées ont été évaluées à l'aide de la méthode des plans d'expériences. Les propriétés sensorielles du pain optimum ont été estimées en comparaison avec le pain témoin.

**Résultats.** Les modèles obtenus étaient significatifs avec une bonne performance de prédiction. Les résultats du test sensoriel ont montrés que le pain optimum avait une bonne acceptabilité globale en comparaison avec le pain témoin.

**Conclusion.** Le mélange de 77% de farine de blé tendre, 17% de farine de blé dur, et 6% de farine complète d'orge présente un bon potentiel dans la préparation du pain.

**Mots clés:** farines composées ; paramètres rhéologiques ; optimisation ; panification ; test sensoriel.

## DEVELOPMENT OF COMPOSITE BREAD

### Abstract

**Description of the subject.** Partial replacement of wheat flour with local flours reduces dependence on wheat flour for manufacturing of bread.

**Objective.** The main objective of this study is to optimize a composite bread product formulation with soft wheat (A), durum wheat (B) and whole barley flour (C).

**Methods.** Chemicals and rheological properties of composite flours were evaluated using experience design methodology. The sensorial proprieties of optimized bread were estimated comparing with bread control.

**Results.** The models obtained are significant and offer good performances of predictability. The results of sensorial test showed that optimized bread had a good acceptability comparing to control bread.

**Conclusion.** The mixture of 77% soft wheat flour, 17% durum wheat flour, and 6% whole barely flour have a good potential in the preparation of bread.

**Keywords:** composites flours ; rheological parameters ; optimization ; bread making ; sensory test.

\* Auteur correspondant: Benlemmane Samira, E-mail : [mailto:agroble2017@gmail.com](mailto:mailto:agroble2017@gmail.com)

## INTRODUCTION

Ces dernières années, la sécurité alimentaire est devenue une préoccupation mondiale suite au changement climatique qui constitue l'un des principaux facteurs de la hausse des prix internationaux des produits alimentaires [1]. Le pain constitue un aliment de base en Algérie, cependant la production de blé dans le pays est insuffisante [2]. L'Algérie est fortement dépendante des importations de blé, pour cette raison, le gouvernement algérien encourage l'utilisation de la farine de blé dur pour remplacer une partie de la farine de blé tendre dans la fabrication du pain.. Cependant, d'autres farines de céréales peuvent également être utilisées dans la fabrication du pain par exemple l'orge, qui a un bon potentiel pour la fabrication du pain en raison de sa valeur nutritionnelle [3]. Aussi l'incorporation de la farine d'orge à la farine de blé a un effet positif sur la qualité du pain en retardant le rassissement [4]. Le blé dur est probablement l'une des plus anciennes cultures au monde, en méditerranée, cette culture est essentiellement pluviale avec des précipitations variant entre 200 et 800 mm [5].

En Algérie, la production du blé dur progresse au même rythme que du blé tendre (+47% entre les moyennes quinquennales 2000-2004 et 2008-2012), contre +84% pour l'orge, qui reste plus importante que le blé tendre, à plus de 13 millions de quintaux en 2008-2012, contre 8 pour le blé tendre et 19 pour le blé dur [6]. De ce fait, mélanger la farine de blé panifiable avec la farine de blé dur et la farine d'orge complète contribue non seulement à la sécurité alimentaire des Algériens mais aussi à préserver leur santé [7].

Cependant le maintien des propriétés rhéologiques de la pâte et les caractéristiques sensorielles du pain pourrait constituer un grand défi. Pour relever ce défi, la méthode des plans d'expériences a été adoptée, ce sont des techniques qui permettent de quantifier les effets de divers facteurs sur les réponses et de les optimiser dans des domaines expérimentaux bien déterminés.

L'objectif principal de cette recherche est de valoriser la farine de blé dur et la farine d'orge dans la préparation d'un pain composé enrichi en protéines et fibres.

Pour atteindre cet objectif principal, ce travail donne les sous objectifs suivants : l'évaluation et la modélisation des effets de la farine de blé tendre (A), de blé dur (B) et d'orge complète (C) sur les propriétés chimiques et rhéologiques des farines composées par l'élaboration d'équations de régression polynomiales en utilisant la méthodologie des plans d'expériences, l'optimisation des propriétés rhéologiques à l'aide de la méthode d'optimisation multicritères (désirabilité) et enfin l'évaluation des propriétés sensorielles du pain fabriqué à partir de la farine optimale et les comparer à la farine 100% blé tendre.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Matériel végétal

Les farines de blé dur (*Triticum aestivum.L.*) et de blé dur (*Triticum durum Desf.*) ont été fournies par une entreprise algérienne. L'orge (*Hordeum vulgare. L.*) de la variété algérienne (Saida 183) avec un poids de mille grains et un poids à l'hectolitre de 44,50 gr et 54,60 Kg/hl respectivement a été procurée par L'ITGC (Institut technique des grandes cultures). La farine complète d'orge a été préparée à l'aide d'un moulin d'essai de marque Brabender (taille des particules de 0,150 mm de diamètre). Les autres ingrédients comme le sel, la levure sèche instantanée et l'acide ascorbique ont été achetés au marché.

### 2. Préparation des farines

Les farines de blé tendre, de blé dur et la farine complète d'orge ont été mélangées à l'aide d'un mixeur pour constituer 14 échantillons de farines composées à différentes proportions selon le plan de mélange centré (tableau 1) et entreposées dans des contenants hermétiques.

### 3. Plan d'expérience et analyse statistique

Le logiciel Expert-Design 7.0.7 trial software (Stat-Ease Inc. Minneapolis, MN, USA) est utilisé pour réaliser le plan de mélange et analyser les résultats obtenus. Les plans de mélanges (plans centrés, plans lattice simplex, plans optimaux) conçus surtout pour des mélanges de constituants.

Ces constituants ne sont pas indépendants les uns des autres. Leur somme doit être toujours égale à 100% ou à l'unité. Les réponses sont fonction de la proportion de chaque constituant. Le plan centré permettant d'étudier trois constituants comprend : (i) Les produits purs ; (ii) Les mélanges moitié –moitié de deux produits purs, (iii) Le mélange contenant un tiers de chaque produit pur (point central) [8]. Dans notre étude, le plan de mélange centré à 03 composants a été adopté pour déterminer la formulation optimale de la farine composée utilisée dans la fabrication du pain. Les variables (contrôlées) sont les farines du blé tendre (A), de blé dur (B) et la farine complète d'orge (C), et les réponses sont les paramètres chimiques : l'humidité, les cendres, les lipides, les fibres, les protéines, les glucides et les paramètres rhéologiques : le travail de déformation de la pâte (W) et le ratio de configuration de la courbe (P/L). Les facteurs significatifs (probabilité inférieure à 5%) ont été déterminés en réalisant une analyse de variance (ANOVA) sur les résultats expérimentaux obtenus. Dans notre étude on a :

$$\begin{aligned} 0,00 \leq A:\text{farine de blé tendre} &\leq 100 \\ 0,00 \leq B:\text{farine de blé dur} &\leq 100 \\ 0,00 \leq C:\text{farine complète d'orge} &\leq 100 \\ A+B+C &= 100 \quad (1). \end{aligned}$$

La matrice des essais du plan de mélange est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1: Matrice plan de mélange centré

| N° Essai | A%    | B%    | C%    |
|----------|-------|-------|-------|
| 1        | 66,67 | 16,67 | 16,67 |
| 2        | 50,00 | 50,00 | 0     |
| 3        | 16,67 | 16,67 | 66,67 |
| 4        | 0     | 50,00 | 50,00 |
| 5        | 50,00 | 0     | 50,00 |
| 6        | 0     | 100   | 0     |
| 7        | 0     | 50,00 | 50,00 |
| 8        | 0     | 0     | 100   |
| 9        | 0     | 100   | 0     |
| 10       | 16,67 | 66,67 | 16,67 |
| 11       | 100   | 0     | 0     |
| 12       | 100   | 0     | 0     |
| 13       | 33,33 | 33,33 | 33,33 |
| 14       | 0     | 0     | 100   |

A: farine de blé tendre, B: farine de blé dur, C: farine complète d'orge

## 4. Méthodes d'analyses

### 4.1. Analyses technologiques des farines

La mesure de l'indice de chute des farines est réalisée selon la méthode décrite par Barr *et al.* [9], le principe de la méthode repose sur la gélification rapide d'une suspension aqueuse de mouture intégrale ou de farine de céréales dans un bain d'eau bouillante, et mesure de la liquéfaction par l'alpha-amylase de l'emploi d'amidon contenu dans l'échantillon. Le taux d'affleurement a été déterminé selon la méthode décrite par Feillet [10], par tamisage de 100 grammes de farine à travers un tamis spécifique (193  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille) dans un plansichter qui fonctionne à une vitesse constante de 200 tr/min. Les tamis sont en bronze phosphoreux d'une surface utile de 283  $\text{cm}^2$ . Le dégomme est assuré par 4 billes de caoutchouc de 15 cm de diamètre. Le tamisage dure 5 min et le refus du tamis est pesé à 0,01g. L'appréciation de la quantité et de la qualité de gluten est réalisée selon la méthode décrite par Barr *et al.* [9]. Le principe de cette méthode repose sur l'extraction du gluten par malaxage mécanique et lavage d'un mélange de mouture avec une solution d'eau salée à 2%. On mesure les caractéristiques viscoélastiques du gluten par centrifugation à travers une grille perforée et par mesure du pourcentage restant sur le tamis à la fin de l'opération. D'après Godon et Loisel [11], la détermination de la capacité d'hydratation se fait par la relation (2). Toutes les mesures ont été répétées trois fois.

$$\text{CH} = ((\text{GH} - \text{GS})/\text{GH}) * 100 \quad (2)$$

GH: Gluten Humide, GS: Gluten Sec, CH %: Capacité Hydratation.

### 4.2. Analyses chimiques des farines

Les analyses de la teneur en eau, des cendres, des lipides, et des protéines ont été effectuées selon les normes éditées par AFNOR [12]. La détermination de la teneur en eau des farines composées a été effectuée selon la norme AFNOR NF V 03-707 par séchage du produit à une température de 130°C pendant 2 heures.

La détermination des cendres a été réalisée selon la norme AFNOR NF V 03-720 par incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante, à une température de  $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  jusqu'à combustion complète de la matière organique, et pesée du résidu obtenu. Les lipides totaux ont été déterminés selon la méthode d'extraction à l'éther (norme AFNOR NF V 03-713). La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl selon la norme AFNOR NF V 03-05 en transformant l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud, en présence d'un catalyseur approprié. Le taux de protéines a été obtenu en multipliant la teneur en azote total par un facteur de convention de 5,70 pour le blé et 6,00 pour l'orge. Les teneurs en fibres brutes des échantillons de farines ont été déterminées par la méthode de Weende (citée par Wolff, 1968) [13]. Pour cela, 1g de farine est porté à ébullition dans 50 ml d'acide sulfurique (0,25 N) et ensuite dans 50 ml de soude (0,31 N) pendant 1h. Le résidu obtenu est séché à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 8 h puis incinéré à  $550^{\circ}\text{C}$  pendant 3 h. La teneur en glucides a été évaluée par la méthode de différence en soustrayant la somme du pourcentage d'humidité, cendres, protéines, lipides et fibres du contenu 100 % de farine selon la méthode (AOAC, 2005) [14].

#### 4.3. Analyses alvéographiques des farines

Les données alvéographiques des farines ont été déterminées à l'alvéographe Chopin selon la méthode rapportée par [9]. Le principe de la mesure repose sur l'étude du comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'un mélange de farine et d'eau salée lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant. Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus au moins volumineuse selon son extensibilité et éclate. Les paramètres suivants peuvent être évalués : La hauteur P correspond à la pression maximale, exprimée en millimètres, enregistrée avant que le disque commence à gonfler.

P est en relation avec la ténacité de la pâte, La longueur L, mesurée en millimètres, correspond au gonflement maximum de la bulle est en rapport avec l'extensibilité de la pâte, Le rapport P/L ou ratio de configuration de la courbe donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte et la surface de l'alvéogramme W représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine. W s'exprime en  $10^{-4}$  Joules rapporté à un gramme de pâte à 5 unités près.

#### 5. Validation des modèles et étude de l'optimisation

Après l'étape d'ajustement du modèle, des courbes iso-réponses sont établies sur toute la plage expérimentale. Ces courbes représentent des plans pour surfaces de réponses, c'est-à-dire la représentation graphique des résultats (modèle estimé) pour pouvoir en tirer des optimums [15]. Ensuite, pour optimiser la formulation des farines composées sur le plan rhéologique en respectant les critères imposés sur les réponses d'intérêt : la déformation de la pâte (W) et le ratio de configuration P/L, nous utilisons la fonction « Désirabilité ». La fonction désirabilité est très utile quand il faut trouver le meilleur compromis entre plusieurs réponses [8]. Cette fonction qui permet de donner un mélange optimal exact varie entre 0 et 1. En effet, la valeur 0 est attribuée lorsque les facteurs conduisent à une réponse inacceptable (non désirable) et celle de 1 lorsque la réponse représente la performance maximale désirée pour les facteurs considérés [16].

#### 6. Vérification de la prédictibilité des modèles

Pour la validation des modèles mathématiques obtenus, les valeurs expérimentales des réponses étudiées ont été comparées avec les valeurs prédites et l'erreur relative (%) calculée à l'aide de l'équation suivante (3) :

$$\text{Erreur relative (\%)} = (\text{valeur prédite} - \text{valeur expérimentale}) / \text{valeur prédite} * 100. \quad (3)$$

## 7. Essai de panification

Les pains ont été préparés selon la méthode officielle AACC [17], appelée méthode de la pâte droite avec quelques modifications. La recette de préparation des pains à partir de la farine de 100 % blé tendre et la farine composée optimale est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2: La formulation des pain témoin et pain optimum

| Ingrédients      | Pain témoin | Pain optimum |
|------------------|-------------|--------------|
| Farine           | 500gr       | 500gr        |
| Sel              | 2%          | 2%           |
| Levure           | 2%          | 2%           |
| Acide ascorbique | 0.5%        | 0.5%         |
| Eau              | 60%         | 66%          |

Les ingrédients ont été soigneusement malaxés dans un pétrin à une vitesse lente pendant 5 minutes, puis à vitesse rapide pendant 5 minutes. Après le pétrissage, la pâte est laissée au repos pendant 25 minutes. La pâte a été divisée en pâtons de 100 g arrondi à la main et laisser au repos pour une détente de 25 min, après la détente on a fait la mise en forme des pâtons suivi d'une fermentation de 90 minutes à 30 °C dans une chambre de fermentation. La cuisson des pains est réalisée à 220 °C pendant 20 minutes dans un four électrique.

## 8. Évaluation sensorielle des pains

Les pains préparés à partir de farine 100% blé (pains témoins) et farine composée optimale ont été jugés sur leur texture, goût, croûte, mie et leur acceptabilité globale.

Les échantillons de pains ont été jugés par 20 panelistes composés du personnel et d'étudiants du département agro- alimentaire sur une échelle hédonistique de 9 points : 9 (j'aime extrêmement) à 1 (je n'aime pas) comme décrit par Koko *et al.* [18].

## 9. Analyse statistique

Les résultats obtenus des analyses technologiques des farines et l'évaluation sensorielle des pains ont été soumis à une analyse de la variance (ANOVA), la signification des tests statistiques est déterminée au seuil de 5%. Les moyennes sont comparées avec le test de Duncan.

## RÉSULTATS

### 1. Paramètres technologiques des farines

Les résultats de l'évaluation des paramètres technologiques des farines matières premières sont exposés dans le tableau 3. Les résultats montrent que les farines de blé tendre (A) et blé dur (B) présentent une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) concernant les taux de Gluten Humide (GH)%, du Gluten sec (GS) % et Gluten index (GI) %, quant à la capacité d'hydratation (CH) % il n'existe pas de différence significative entre les deux farines (A) et (B) ( $p \geq 0,05$ ). Les résultats montrent aussi qu'il y'a une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) pour l'indice et le taux d'affleurement des farines de blé tendre (A), blé dur (B) et farine complète d'orge (C).

Tableau 3: Résultats de détermination des paramètres technologiques des farines

| Paramètres                                 | Farine de blé tendre (A) | Farine de blé dur (B) | Farine complète d'orge (C) |
|--|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Indice de chute (S)                        | 304,500 ± 6,500 a        | 480 ± 4,000 b         | 222,5 ± 2,500 c            |
| Taux d'affleurement % (refus tamis 193 µm) | 0,350 ± 0,050 a          | 0,600 ± 0,100 b       | 4,435 ± 0,015 c            |
| Gluten Humide (GH) %                       | 24,920 ± 0,250 a         | 27,030 ± 0,860 b      | -                          |
| Gluten sec (GS)%                           | 8,935 ± 0,175 a          | 9,550 ± 0,320 b       | -                          |
| Gluten index (GI)%                         | 50,955 ± 0,635 a         | 49,125 ± 0,595 b      | -                          |
| Capacité d'hydratation (CH) %              | 64,145 ± 0,345 a         | 64,670 ± 0,060 a      | -                          |

a, b, c : Il n'y a pas de différence significative ( $p \geq 0,05$ ) entre deux moyennes ± écart-type à l'intérieur de la même ligne indiquées par la même lettre

2. Paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées

D'après les résultats d'analyses des paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées (tableau 4) on constate que la teneur en eau de la série des 14 essais varie entre 11,56% et 11,94%, la teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 12

$$\text{Humidité \%} = 11.92A + 11.58B + 11.77C - 0.086AB + 0.097AC + 3.686E - 003BC \quad (4)$$

La teneur en cendres de la série des 14 essais varie entre 0,74% et 2,21%, la teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 14 (échantillon 100% farine complète d'orge) alors que la plus faible teneur a été relevée dans l'essai 11 (échantillon 100% farine de blé tendre).

(échantillon 100% farine de blé tendre) alors que la plus faible teneur a été relevée dans l'essai 6 (échantillon 100% farine de blé dur). Les courbes d'iso-réponses montrées dans la figure 1a, générées par le modèle adopté indiquent les interactions entre les variables (A, B, C) et l'humidité. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

Les courbes d'iso-réponses présentées dans la figure 1b; et engendrées par le modèle validé montrent les interactions entre les variables (A, B, C) et le taux de cendres. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Cendres \%} = 0,76A + 1,72B + 2,19C + 0,20AB + 0,04AC - 0,018BC \quad (5)$$

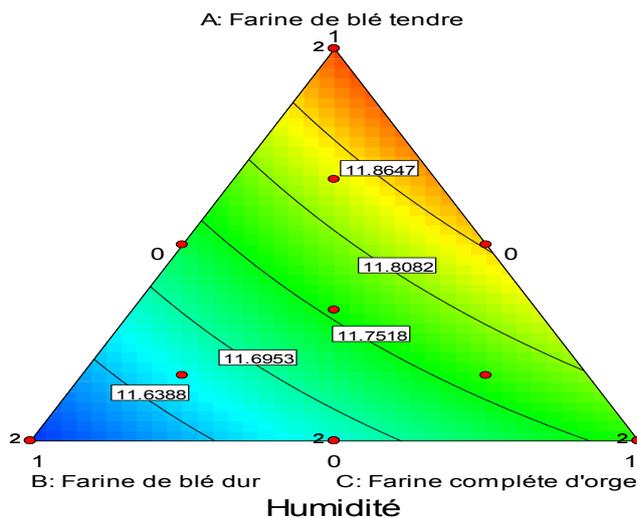


Figure 1a : Courbes iso-réponses de la teneur en eau en fonction des trois mélanges

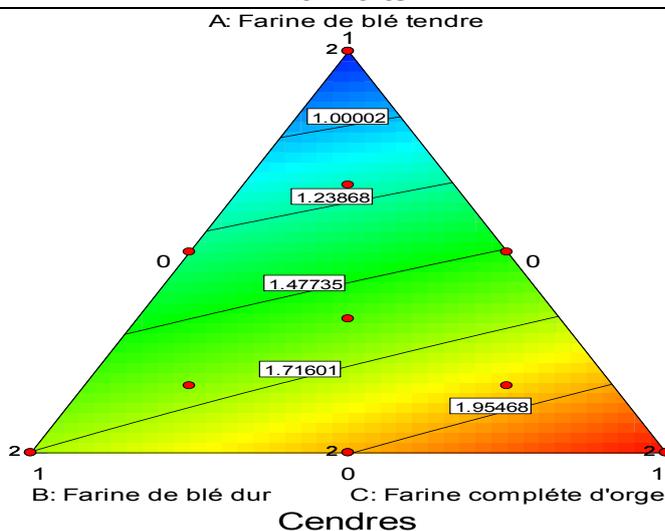


Figure 1b : Courbes iso-réponses de la teneur en cendres en fonction des trois mélanges

La teneur en lipides de la série des 14 essais varie entre 1,72% et 3,88%, la teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 8 (échantillon 100% farine complète d'orge) alors que la plus faible teneur a été relevée dans l'essai 12 (échantillon 100% farine de blé tendre).

Les courbes d'iso-réponses (figure 1c) générées par le modèle utilisé affichent la relation entre les variables (A, B, C) et la teneur en lipides des farines composées. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Lipides \%} = 1,77A + 2,12B + 3,86C + 1,12AB - 0,44AC + 0,93BC \quad (6)$$

La teneur en fibres de la série des 14 essais varie entre 0,79% et 8,50%, la teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 8 (échantillon 100% farine complète d'orge) alors que la plus faible teneur a été relevée dans l'essai 11 (échantillon 100% farine de blé tendre).

Les courbes d'iso-réponses (figure 1d) tracées à partir du modèle déterminé et validé illustrent les effets des variables (A, B, C) sur la teneur en fibres des farines composées. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Fibres \%} = 0,81A + 1,80B + 8,47C + 0,17AB + 0,16AC + 0,15BC \quad (7)$$

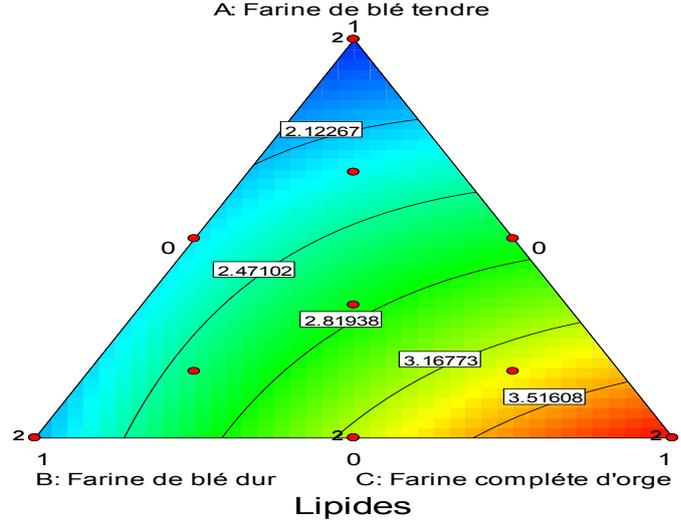


Figure 1c : Courbes iso-réponses des effets des trois mélanges sur la teneur en lipides

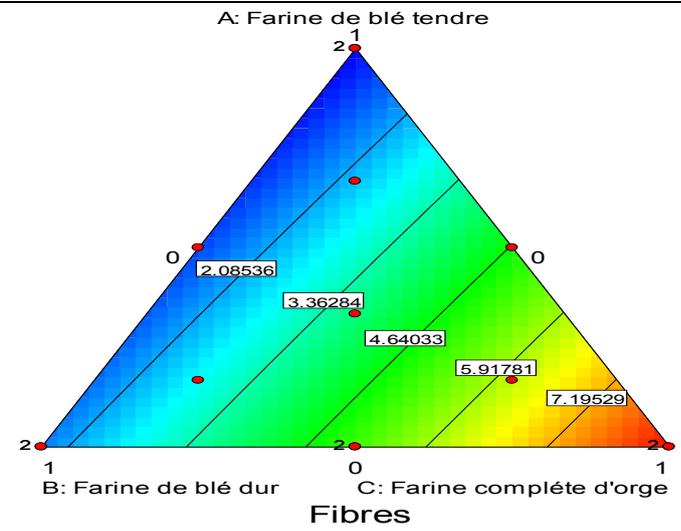


Figure 1d : Courbes iso-réponses montrant la variation de la teneur en fibres en fonction des trois mélanges

La teneur en protéines de la série des 14 essais varie entre 10,74% et 15,46 %, la teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 14 (échantillon 100% farine complète d'orge) alors que la plus faible teneur a été relevée dans l'essai 12 (échantillon 100% farine de blé tendre).

Les courbes d'iso-réponses générées par le modèle validé permettent de visualiser comme le montre la figure 1e, les interactions entre les variables (A, B, C) et leurs effets sur la teneur en protéines de farines composées. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Protéines \%} = 10,75A + 13,40B + 15,45C + 8,767E - 0,03AB - 0,057AC + 0,50BC \quad (8)$$

Les teneurs en glucides dans les mélanges se situent entre 58,26% et 74,07%. La teneur la plus élevée a été observée dans l'essai 11 (échantillon de 100% farine de blé tendre), la plus faible teneur a été enregistrée dans l'essai 8 (échantillons de 100% de farine d'orge).

Les courbes d'iso-réponses générées par le modèle utilisé indiquent dans la figure 1f, les interactions entre les variables (A, B, C) et les teneurs en glucides dans les mélanges. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Glucides \%} = 73,98A + 69,38B + 58,26C - 1,42AB + 0,22AC - 1,54BC \quad (9)$$

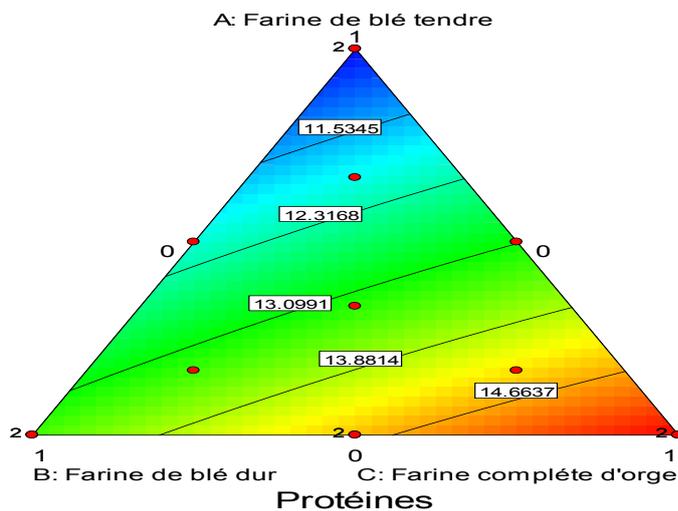


Figure 1e : Graphes d'iso-réponses illustrant l'influence des trois mélanges sur la teneur en protéines

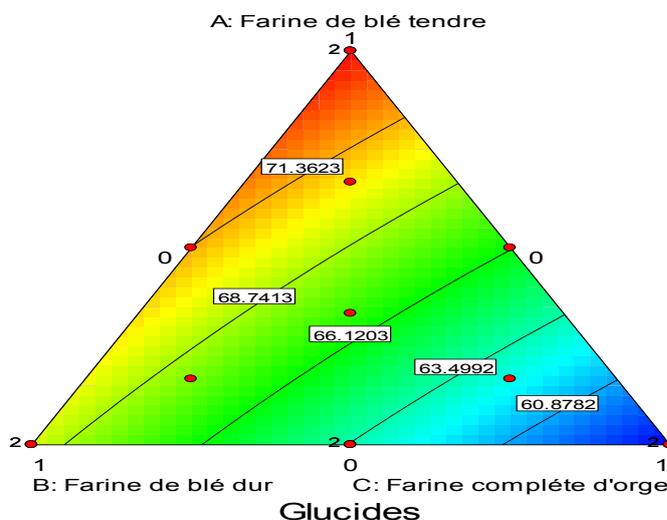


Figure 1f : Graphes d'iso-réponses montrant l'influence des trois mélanges sur les teneurs en glucides

Le travail (W) requis pour la déformation de la pâte varie de  $220 \times 10^{-4}$  Joules pour l'essai 11 (échantillon 100% de blé tendre) à  $63 \times 10^{-4}$  Joules pour l'essai 3 (échantillon de 0% de blé tendre, 50% de blé dur et 50% d'orge). La valeur du (W) a diminué dans les farines composées avec l'augmentation des taux de

substitution de la farine de blé tendre par les farines de blé dur et la farine complète d'orge. Les courbes d'iso-réponses (figure 1g) générées par le modèle vérifié représentent les interactions entre les variables (A, B, C) et le travail (W). L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$W \text{ (Joules } 10^{-4}) = 218,52A + 121,81B + 50,92C - 68,15AB - 76,83AC - 93,28BC \text{ (10)}$$

Le ratio de configuration P/L varie de 0,56% à 13% pour l'essai 11 (échantillon 100% farine blé tendre) et l'essai 3 (échantillon 16.67% farine de blé tendre, 16.67% farine de blé dur, 66,67% farine complète d'orge) respectivement.

Les courbes d'iso-réponses (figure 1h) générées à partir du modèle utilisé montrent les interactions entre les variables (A, B, C) et leurs effets sur l'évolution du ratio P/L. L'équation du modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$P/L = 0,56A + 1,26B + 24,28C + 3,89AB - 16,50AC - 9,42BC - 38,40ABC \text{ (11)}$$

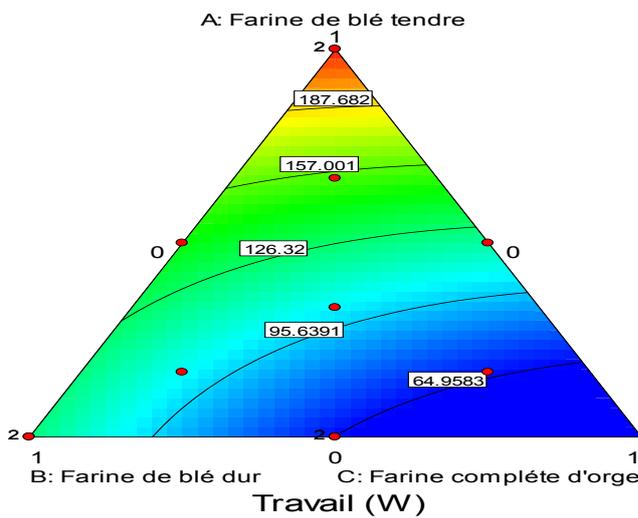


Figure 1g : Courbes iso-réponses de la variation du travail en fonction des trois mélanges

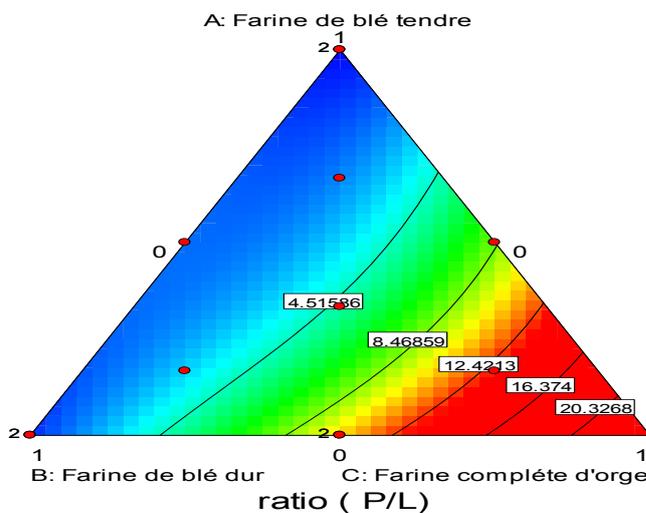


Figure 1h : Courbes iso-réponses de la variation du ratio P/L en fonction des trois mélanges

| N° Essai | A%    | B%    | C%    | Humidité % | Cendres % | Lipides % | Fibres % | Protéines % | Glucides % | W joule E-4 | P/L   |
|----------|-------|-------|-------|------------|-----------|-----------|----------|-------------|------------|-------------|-------|
| 1        | 56,67 | 16,67 | 16,67 | 11,80      | 1,19      | 2,27      | 2,30     | 11,98       | 70,46      | 155         | 2,18  |
| 2        | 50,00 | 50,00 | 0     | 11,76      | 1,30      | 2,35      | 1,32     | 12,09       | 71,18      | 160         | 1,89  |
| 3        | 16,67 | 16,67 | 66,67 | 11,79      | 1,90      | 3,30      | 6,25     | 14,45       | 62,31      | 63          | 13    |
| 4        | 0     | 50,00 | 50,00 | 11,69      | 1,96      | 3,25      | 5,10     | 14,62       | 63,39      | 70          | 10,31 |
| 5        | 50,00 | 0     | 50,00 | 11,89      | 1,49      | 2,80      | 4,60     | 13,09       | 66,14      | 120         | 8,32  |
| 6        | 0     | 100   | 0     | 11,56      | 1,74      | 2,24      | 1,84     | 13,40       | 69,22      | 114         | 1,18  |
| 7        | 0     | 50,00 | 50,00 | 11,67      | 1,95      | 3,32      | 5,18     | 14,46       | 63,42      | 65          | 10,50 |
| 8        | 0     | 0     | 100   | 11,78      | 2,17      | 3,88      | 8,50     | 15,41       | 58,26      | -           | -     |
| 9        | 0     | 100   | 0     | 11,60      | 1,70      | 2,00      | 1,79     | 13,39       | 69,52      | 132         | 1,32  |
| 10       | 16,67 | 66,67 | 16,67 | 11,66      | 1,65      | 2,45      | 2,75     | 13,42       | 68,07      | 92          | 3,24  |
| 11       | 100   | 0     | 0     | 11,91      | 0,74      | 1,80      | 0,79     | 10,77       | 74,07      | 220         | 0,56  |
| 12       | 100   | 0     | 0     | 11,94      | 0,78      | 1,72      | 0,84     | 10,74       | 73,90      | 215         | 0,59  |
| 13       | 33,33 | 33,33 | 33,33 | 11,73      | 1,56      | 2,61      | 3,80     | 13,15       | 67,15      | 105         | 4,85  |
| 14       | 0     | 0     | 100   | 11,74      | 2,21      | 3,82      | 8,42     | 15,46       | 58,35      | -           | -     |

A= Farine de blé tendre, B= Farine de blé dur, C= Farine complète d'orge

Tableau 4: Paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées

### 3. Étude comparée des paramètres rhéologiques des farines composées

L'analyse de la variance (ANOVA) des modèles suggérés représentant les résultats des plans de mélanges centrés utilisés sont montrés respectivement dans les tableaux 5 et 6. La signification statistique des sources de variances des modèles, a été définie à 0,05.

Tableau 5: Résultat de l'analyse de variance des paramètres rhéologiques des farines composées

| Source de variation    | SC         | DLL | CM         | Valeur de F |
|------------------------|------------|-----|------------|-------------|
| W                      |            |     |            |             |
| Modèle quadratique     |            |     |            |             |
| Modèle                 | 30847,79   | 5   | 6169,56    | 67,91*      |
| Résidus                | 545,13     | 6   | 90,85      |             |
| Défaut d'ajustement    | 358,13     | 3   | 119,38     | 1,92 NS     |
| Erreur pur             | 187        | 3   | 68,33      |             |
| P/L                    |            |     |            |             |
| Modèle spécial cubique |            |     |            |             |
| Modèle                 | 221,12     | 6   | 36,85      | 4853,61*    |
| Résidus                | 0,038      | 5   | 7,593E-003 |             |
| Défaut d'ajustement    | 9,665E-003 | 2   | 4,832E-003 | 0,51 NS     |
| Erreur pure            | 0,028      | 3   | 9,433E-003 |             |

SC : Somme des Carrés, DLL : Degré de liberté, CM : Carré Moyen, Valeur de F : Variance de Fisher, \* : Significatif ( $p \leq 0,05$ ), NS : Non significatif ( $p \geq 0,05$ )

Tableau 6: Résultat de l'analyse de variance des paramètres chimiques des farines composées

| Source              | SC         | DLL | CM         | Valeur de F |
|---------------------|------------|-----|------------|-------------|
| <b>Humidité</b>     |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 0,16       | 5   | 0,031      | 38,07*      |
| Résidus             | 4,348E-003 | 8   | 8,247E-004 |             |
| Défaut d'ajustement | 4,348E-003 | 4   | 1,087E-003 | 1,93 NS     |
| Erreur pure         | 2,250E-003 | 4   | 5,625E-004 |             |
| <b>Cendres</b>      |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 2,75       | 5   | 0,55       | 1260,06*    |
| Résidus             | 3,493E-003 | 8   | 4,367E-004 |             |
| Défaut d'ajustement | 1,043E-003 | 4   | 2,609E-004 | 0,43 NS     |
| Erreur pure         | 2,450E-003 | 4   | 6,125E-004 |             |
| <b>Lipides</b>      |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 6,45       | 5   | 1,29       | 97,32*      |
| Résidus             | 0,11       | 8   | 0,013      |             |
| Défaut d'ajustement | 0,070      | 4   | 0,017      | 1,92 NS     |
| Erreur pure         | 0,036      | 4   | 9,063E-003 |             |
| <b>Fibres</b>       |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 88,83      | 5   | 17,77      | 3574,11*    |
| Résidus             | 0,040      | 8   | 4,971E-003 |             |
| Défaut d'ajustement | 0,031      | 4   | 7,717E-003 | 3,47 NS     |
| Erreur pure         | 8,900E-003 | 4   | 2,225E-003 |             |
| <b>Protéines</b>    |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 29,75      | 5   | 5,95       | 1345,27*    |
| Résidus             | 0,035      | 8   | 0,023      |             |
| Défaut d'ajustement | 0,021      | 4   | 5,208E-003 | 1,43 NS     |
| Erreur pure         | 0,015      | 4   | 3,637E-003 |             |
| <b>Glucides</b>     |            |     |            |             |
| Modèle quadratique  |            |     |            |             |
| Modèle              | 338,59     | 5   | 67,72      | 2444,48*    |
| Résidus             | 0,22       | 8   | 0,028      |             |
| Défaut d'ajustement | 0,16       | 4   | 0,039      | 2,47 NS     |
| Erreur pure         | 0,064      | 4   | 0,016      |             |

SC : Somme des Carrés, DLL : Degré de liberté, CM : Carré Moyen, Valeur de F : Variance de Fisher,

\* : Significatif ( $p \leq 0,05$ ), NS : Non significatif ( $p \geq 0,05$ )

#### 4. Validité des modèles mathématiques

L'ensemble des caractéristiques nécessaires d'ajustement des modèles obtenus sont montrés dans le tableau 7. Le coefficient de détermination  $R^2$  définit le ratio de la

variation des réponses qui est expliqué par le modèle, Plus la valeur du  $R^2$  est proche de 1, plus la qualité d'ajustement du modèle est bonne.  $R^2$ -Ajusté est une correction apportée à la valeur de  $R^2$  en fonction du nombre de degré de liberté.

Tableau 7: Résumé de l'ajustement des modèles mathématiques adoptés pour les réponses des paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées.

| Paramètres    | Humidité<br>% | Cendres<br>% | Lipides<br>% | Fibres<br>% | Protéines<br>% | Glucides<br>% | W      | P/L    |
|---------------|---------------|--------------|--------------|-------------|----------------|---------------|--------|--------|
| Ecart type    | 0,029         | 0,021        | 0,12         | 0,071       | 0,067          | 0,17          | 9,53   | 0,087  |
| Moyenne       | 11,75         | 1,60         | 2,70         | 3,82        | 13,32          | 66,82         | 125,92 | 4,83   |
| $R^2$         | 0,9597        | 0,9987       | 0,9838       | 0,9996      | 0,9888         | 0,9993        | 0,9826 | 0,9998 |
| $R^2$ -Ajusté | 0,9345        | 0,9979       | 0,9737       | 0,9993      | 0,9881         | 0,9989        | 0,9682 | 0,9996 |

$R^2$  : Coefficient de corrélation,  $R^2$ -Ajusté : coefficient de corrélation ajusté, W : Travail de déformation,

P/L : le ratio de configuration de la courbe

5. Optimisation et vérification de la prédictibilité des modèles

L'analyse multicritère à l'aide de la fonction désirabilité a permis de déterminer la farine composée ayant des réponses optimales sur le plan rhéologique à partir du modèle précédemment établi, les contraintes imposées étaient :

le travail de déformation de la pâte (W) doit être dans l'intervalle (160-200), et le ratio P/L doit être inférieur à 1,50. Les résultats montrent que la désirabilité est proche de 1 (Fig. 2) lorsque les conditions optimales multicritères suivantes sont réalisées : Farine de blé tendre (A) =77%, Farine de blé dur (B) =17%, Farine complète d'orge (C)= 6% (Fig. 3).

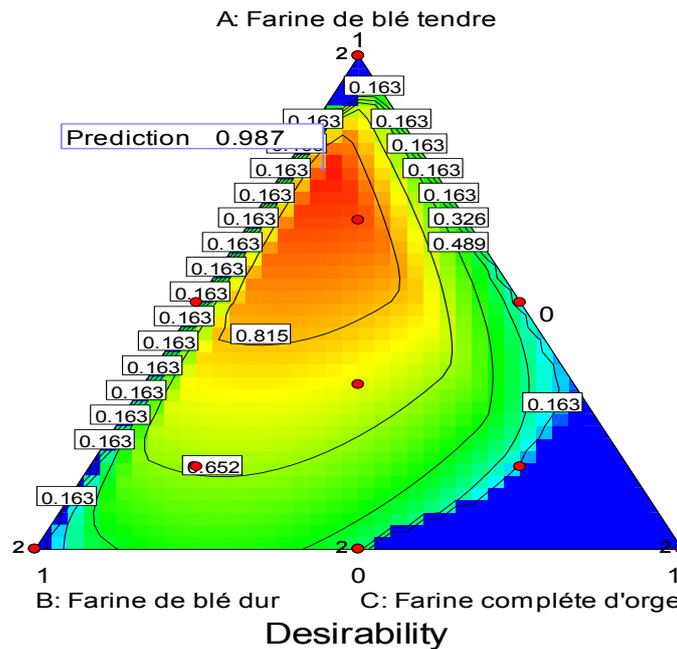


Figure 2 : Courbes iso-réponses montrant la variation de la désirabilité en fonction des trois mélanges

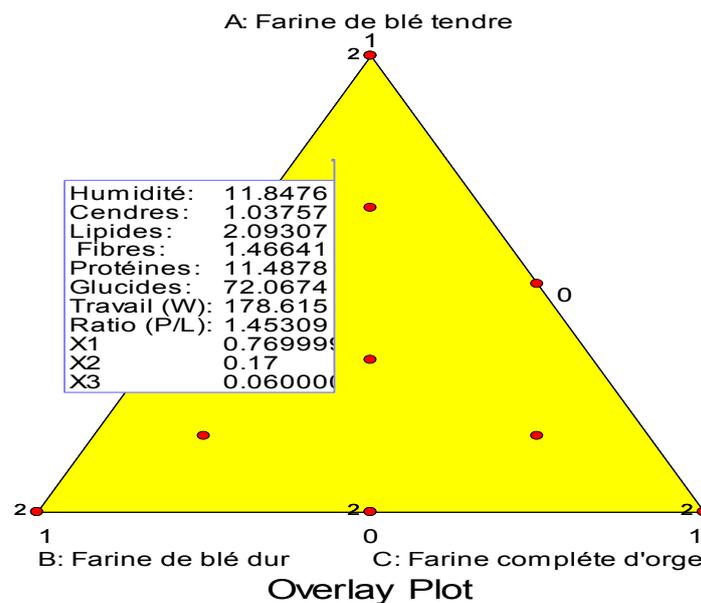


Figure 3 : Illustration de l'étude graphique en 2D de la zone de compromis acceptable

Le tableau 8 donne une comparaison entre les valeurs des réponses prédites et celles observées des réponses sous les conditions optimales ainsi que le (%) de l'erreur relative.

Tableau 8 : Comparaison entre les valeurs des réponses prédites et celles observées sous les conditions optimales.

| Réponses                    | Valeur expérimentale | Valeur prédite | Erreur relative (%) |
|-----------------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| W (joule 10 <sup>-4</sup> ) | 171                  | 179            | 4,45                |
| P/L                         | 1,38                 | 1,45           | 4,83                |
| Humidité (%)                | 11,30                | 11,85          | 4,64                |
| Cendres (%)                 | 1,00                 | 1,04           | 3,85                |
| Lipides (%)                 | 2,00                 | 2,10           | 4,77                |
| Fibres (%)                  | 1,42                 | 1,47           | 3,40                |
| Protéines (%)               | 11,30                | 11,48          | 1,57                |

W : Travail de déformation, P/L : Le ratio de configuration de la courbe:

Les résultats des tests sensoriels ont montré que le pain témoin et celui préparé à partir de farine composée optimale ont été jugés selon divers attributs sensoriels. Les résultats présentés dans le tableau 9 montrent qu'il existe une différence significative ( $p \leq 0,005$ )

pour la couleur de la croûte, et la structure de la mie, par contre il n'y a pas de différence significative ( $p \geq 0,005$ ) pour la texture, la structure de la croûte, et l'acceptabilité globale. La figure 4 illustre la différence de la structure de la mie entre les pains étudiés.

Tableau 9: Résultats de l'analyse sensorielle des échantillons de pains

| Paramètre             | Pain témoin (100 % Farine de blé tendre) | Pain composé optimal |
|-----------------------|--|----------------------|
| Couleur de la croûte  | 7,6 (a)                                  | 6,8 (b)              |
| Goût                  | 8,0 (a)                                  | 7,5 (a)              |
| Texture               | 8,3 (a)                                  | 7,4 (a)              |
| Structure de la mie   | 7,8 (a)                                  | 6,8 (b)              |
| Acceptabilité globale | 8,0 (a)                                  | 7,3 (a)              |

a, b, c : Il n'y a pas de différence significative ( $p \geq 0,05$ ) entre deux moyennes  $\pm$  écart-type à l'intérieur de la même ligne désignées par la même lettre



**Pain composé optimal**

**Pain témoin**

Figure 4 : structure de la mie des pains

## DISCUSSION

### 1. Détermination de la qualité technologique de la farine

Les résultats de l'appréciation de la qualité technologique des farines ont montrés que la farine de blé dur présente un indice de chute élevé par rapport aux autres farines ce qui peut être dû à la nature de l'amidon [19]. Une activité enzymatique optimale correspond à un indice de chute compris entre 200 et 300 secondes est primordial pour l'obtention d'un pain de volume élevé avec une mie homogène et appréciable, cependant une présence excessive ou insuffisante de l' $\alpha$ -amylase engendre la détérioration de la valeur boulangère [20].

La granulométrie (taux d'affleurement) des farines va dépendre de nombreux paramètres liés aux grains (vitrosité, variété) et à la technologie (conditionnement, types d'appareils, types de diagrammes, taux d'extraction). En boulangerie, la quantité d'eau absorbée, ainsi que la vitesse d'adsorption d'eau, augmentent avec la finesse des particules de farine [21]. Les résultats montrent que la farine de blé tendre et la farine de blé dur sont fines et lisses avec une granulométrie homogène, la farine complète d'orge est légèrement plus granuleuse ceci est dû principalement aux conditions de mouture. Si la mouture produit une très fine farine de blé dur, cela entraîne l'augmentation du taux d'amidon endommagé à cause de la grande dureté du blé dur ce qui peut engendrer des problèmes de diminution de volume du pain, une mie humide et collante, et une croûte de couleur foncée [22]. Les résultats révèlent que la farine de blé dur est légèrement plus riche en gluten sec (GS%) et en Gluten Humide (GH%) par rapport à la farine de blé tendre.

Ces résultats corroborent avec ceux rapportés par Boyacioglu et D'Appolonia [19], Cependant les résultats de la capacité d'hydratation (CH%) sont sensiblement proches pour les deux farines.

On a constaté que les protéines de la farine complète d'orge ne forment pas de masse viscoélastique lors de l'extraction au glutomatic, ce qui confirme l'absence du gluten pour cette farine. Le gluten joue un rôle crucial en panification surtout lors de la phase de pétrissage durant laquelle le réseau glutineux s'édifie. La réussite d'une panification dépend pour une grande part de la qualité des protéines de la farine, en effet, la qualité du gluten agit sur la fixation d'eau, la résistance et la tenue de la pâte, la rétention gazeuse et la croûte du pain qui sont tous des paramètres déterminants dans la panification [23]. L'environnement et les conditions agronomiques ont un impact sur la composition du grain, en particulier le type et la quantité de la fertilisation azotée. Un apport azoté important engendre une augmentation du taux de protéines de réserve notamment la teneur en gliadine de cette fraction [24]. Des études ont également signalées que le pain du blé dur présentait une faible toxicité pour les personnes intolérantes au gluten, ce qui présente un aspect positif pour fabriquer du pain à partir du blé dur [22].

### 2. Paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées

Les résultats des analyses chimiques et rhéologiques des farines composées révèlent des différences mais aussi quelques ressemblances. Les différences se situent au niveau de la teneur en cendres, fibres, protéines, glucides, le travail (W) et le ratio (P/L) et l'analogie au niveau de leur teneur en eau, et en lipides. En effet, les résultats obtenus de la teneur en eau des 14 essais sont comparables et typiques aux produits de mouture commerciaux [25], la teneur en eau est un paramètre crucial dans le stockage de farines, une teneur élevée en humidité stimule l'activité microbienne qui engendre la détérioration de produit pendant le stockage. Le taux de cendres varie en fonction du taux de substitution et augmente suite à l'augmentation de la farine complète d'orge fortement minéralisée dans les mélanges.

D'après l'étude de Fišteš *et al.* [26], le grain d'orge est caractérisé par les teneurs en minéraux et en cellulose (fibres) les plus élevées par rapport aux autres céréales en raison de la présence de la coque. On remarque que les lipides augmentent légèrement dans les farines composées lorsque les farines de blé dur et d'orge complète augmentent dans les formulations. Le grain d'orge contient une faible teneur en lipides de 2-4% [27]. L'impact nutritionnel des lipides des grains de céréales est relativement limité en raison de leur faible abondance. Ils ont toutefois un grand impact technologique en raison de leurs interactions avec les protéines du gluten et de leurs effets sur la rhéologie des pâtes boulangères [28]. Le taux de fibres varie en fonction du taux de substitution et augmente parallèlement à l'augmentation de la farine complète d'orge dans les mélanges. L'accroissement de la teneur en protéines dans les farines composées est dû aux teneur en protéines nettement plus élevées des composants individuels comme de la farine complète d'orge et la farine de blé dur par rapport à la farine 100% blé tendre. Ces résultats corroborent avec ceux rapportés par Adhikari *et al.* et Torbica *et al.* [29-31]. Les protéines sont un paramètre important sur le plan nutritionnel, qui pourrait justifier l'utilisation des farines composées en panification afin d'améliorer la valeur nutritionnelle du pain. Les glucides totaux, composés principalement d'amidon, sont les composants chimiques les plus importants dans les farines composées. On a constaté aussi que la teneur en glucides diminue suite à l'augmentation de la teneur en farine d'orge complète dans les mélanges, les méthodes de traitement comme le raffinage peuvent augmenter la teneur en carbohydrates dans les aliments.

Les propriétés physiques de la pâte dépendent de plusieurs facteurs, la quantité et la qualité des protéines de gluten représentent les facteurs les plus importants. Cependant, les propriétés physiques de la pâte sont également affectées par d'autres paramètres comme les autres composants biochimiques de la farine, la formulation de la pâte par exemple l'ajout des améliorants, et la méthode de pétrissage de la pâte [24].

L'effet d'une substitution partielle de la farine de blé par celle du blé dur et d'orge induit aussi des modifications des caractéristiques alvéographiques comme le montrent le tableau 4. Le travail de déformation (W) diminue, ce qui traduit des mauvaises propriétés de levage de la pâte. En ce qui concerne les essais 8 et 14 (échantillons de 100% farine complète d'orge), il n'était pas possible d'effectuer l'essai alvéographique car le volume d'eau nécessaire et recommandé par la norme pour le pétrissage n'était pas suffisant pour former la pâte. Selon El Yamlahi *et al.* [32] la valeur W pour un blé de qualité standard se situe dans la gamme 160-200 ( $10^4$ Joules), tandis que pour un blé de bonne qualité la valeur W est comprise entre 220 et 300. Quant au rapport P/L traduisant l'équilibre de l'alvéogramme augmente avec l'incorporation de farine de blé dur et d'orge suite à l'accroissement de la résistance à la déformation (P) et la diminution de l'extensibilité (L). Lorsque la ténacité de la pâte P augmente cela démontre des pâtes peu extensibles, conséquence de la mauvaise hydratation de la pâte composée. Une valeur de P/L de 1,50 correspond à une pâte très résistante et moyennement extensible, en meunerie française un blé avec un P/L supérieure à 2 n'est pas panifiable [33].

Les essais conduits ont montré que le taux d'hydratation augmente avec l'élévation du taux d'incorporation des farines de blé dur et d'orge qui et a été fixé de manière à obtenir une pâte assez molle, mais qui reste façonnable manuellement.

### 3. Analyse des modèles et optimisation

L'analyse de la variance (ANOVA) présenté dans les tableaux 5 et 6 nous suggère des modèles quadratiques reliant respectivement les réponses (humidité, les cendres, les lipides, les fibres, les protéines, les glucides et le travail de déformation (W)) aux variables (farine du blé tendre (A), de blé dur (B) et la farine complète d'orge (C)). Les valeurs des coefficients de détermination  $R^2$  indiquent pour toutes les réponses étudiées une bonne adéquation entre les modèles adoptés et les valeurs expérimentales.

Les tests statistiques (test F) issues des tableaux 5 et 6 dénotent que les effets principaux de régression sont significatifs avec une probabilité p-value inférieure à 0.05 et les termes de chacun des modèles sont aussi statistiquement significatifs. De ce fait, les termes AB, AC et BC sont significatifs. Le manque d'ajustement est non significatif démontrée par une probabilité élevée, ( $p$ -value > 0,05) ce qui traduit que les modèles sont bons et convenablement ajustés. L'analyse de la variance (ANOVA) propose un modèle spécial cubique reliant le ratio de configuration P/L aux variables (A, B, C) avec un excellent coefficient de corrélation ( $R^2=0,9998$ ) qui affirme que les valeurs observées sont proches des valeurs prévues et un manque d'ajustement non significatif. La valeur de F implique que le modèle est valable. Les valeurs de "Prob > F" inférieures à 0,05 indiquent que les termes du modèle sont significatifs. De ce fait, les termes AB, AC, BC et ABC sont significatifs. Les résultats de l'optimisation des propriétés rhéologiques (W et P/L) illustrés dans le tableau 8 remplissent tous les critères imposés. Les erreurs relatives (%) entre les valeurs prédites et expérimentales pour chaque réponse ont été calculé et les valeurs trouvées sont inférieures à 5% [12]. Les valeurs expérimentales étaient en bon accord avec les valeurs prédites confirmant la prédictibilité et la validité des modèles. La Figure 3 montre que lorsque la valeur de désirabilité est élevé (proche ou égal à 1), les réponses théoriques du W et P/L sont proches de la valeur de l'optimum pour un mélange de trois composants.

#### 4. Test sensoriel des pains

D'après les résultats du test sensoriel, il s'avère que le pain 100% de farine de blé tendre était le plus appréciable par les juges, résultat qui peut être attribué au fait que les personnes ont été habituées aux attributs de qualité de l'échantillon témoin (100% pain de blé). L'acceptabilité globale a été déterminée sur la base des scores de l'évaluation du goût, de la texture, de la mie et de la couleur de la croûte. Globalement, les échantillons de pains optimaux sont jugés acceptables.

## CONCLUSION

L'utilisation de la méthode des plans d'expérience nous a permis de développer des modèles significatifs avec un bon niveau de prédictibilité pour estimer les paramètres chimiques et rhéologiques des farines composées (blé tendre, blé dur et orge) en vue de leur valorisation en panification. Les valeurs de coefficients de détermination ont également confirmé le degré élevé de corrélation entre les valeurs observées et prédites. L'optimisation a montré que 17% de farine de blé dur et 6% de farine complète d'orge pouvaient être incorporées à la farine de blé tendre sans dépréciation notable des caractéristiques sensorielles des pains. La perspective de valorisation des farines de blé dur et d'orge en panification, nous paraît intéressante pour deux raisons. D'un côté, elle s'inscrit dans les politiques de valorisation des céréales locales en Algérie afin de produire du pain à un prix inférieur, D'un autre côté, sur le plan nutritionnel la qualité du pain blanc est amélioré grâce à l'apport en protéines et en fibres.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] . **Capone R., Bilali H.E., Debs P., Bottalico f., Cardone G., Berjan S., Elmenofi G.A.G., Abouabdillah A., Charbel L., AROUS S.A., & Sassi K.(2016).**Bread and bakery products waste in selected mediterranean arab countries. *American Journal of Food and Nutrition*. **4(2)**,p. 40-50.
- [2]. **Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Assal N.-E., Mezaini A., & Prodhomme J.(2015).**Bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour. *Italian Journal of Food Science*. **27(3)**,p. 345-350
- [3]. **Al Attabi Z., Mohammed Merghani T., Ali A., & Rahman M.(2017).** Effect of Barley Flour Addition on the Physico-Chemical Properties of Dough and Structure of Bread. Vol. 75.
- [4]. **Mariotti M., Garofalo C., Aquilanti L., Osimani A., Fongaro L., Tavoletti S., Hager A.-S., & Clementi F.(2014).**Barley flour exploitation in sourdough bread-making: A technological, nutritional and sensory evaluation. *LWT - Food Science and Technology*. **59(2, Part 1)**,p. 973-980.

- [5]. **Merah O.** Carbon isotope discrimination may predict grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. *Agrobiologia*. **1**(1),p. 23- 33.
- [6]. **Rastoin J.-L. & Benabderrazik E.H.(2014).** *Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb : Pour un co-développement de filières territorialisées*. Collection Construire la Méditerranée-IPMED.
- [7]. **Rahal-Bouziat H.(2016).** Quelques cultures stratégiques pour l'algerie face aux changements climatiques: l'orge (*Hordeum vulgare. L.*) et le mil [*Pennisetum glaucum (L.) R. BR.*]. Algerian journal of arid environment. **6**(1),p. 15-31.
- [8]. **Goupy J.(2005).** *Pratiquer les plans d'expériences*. Edition Dunod, Paris, 551p.
- [9]. **Barr C., Beau M.F., Belly J.M., Bocquet A., Bris V., Delplancke D., Fisher J., Foucher C., Gabillard M., Hoffmann D., Kern F., Leblanc M.P., Lebras A., Lebrun J., Mahaut B., & Martin G.(2001).** *Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Guide pratique*. Editions ITCF. Nancy, France, 268 p.
- [10]. **Feillet P.(2000).** *Le grain de blé*. Editions INRA. Paris, France, 308 p.
- [11]. **Godon B. & Loisel W.(1984).** *Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales*. Edition TEC et DOC/ Lavoisier, 818 p..
- [12]. **AFNOR/DGCCRF.(1991).** *Recueil de normes françaises : Contrôle de la qualité des produits alimentaires, Céréales et produits céréaliers*. 3ème édition, Paris, 360 p
- [13]. **Wolff J.(1968).** *Manuel d'analyses des corps gras*. Azoulay éd. Paris, France, 519p.
- [14]. **AOAC.(2005).** Official method of analysis of the Association of official Analytical Chemist, 5th ad. AOAC Press, Arlington, Virginia, USA.
- [15]. **Fadil M., Farah A., Ihssane B., Haloui T., & Rachiq S.(2015).** Optimisation des paramètres influençant l'hydrodistillation de *Rosmarinus officinalis L.* par la méthodologie de surface de réponse. Optimization of parameters influencing the hydrodistillation of *Rosmarinus officinalis L.* by response surface methodology. Vol. 6. 2346-2357.
- [16]. **Mourabet M.(2014).** Modélisation et optimisation de l'adsorption des ions fluorure sur des phosphates de calcium. These de doctorat. Faculté des Sciences, Kénitra. 156p.
- [17]. **AACC.(1995).** American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. (9th ed.) ; St. Paul, Minnesota.
- [18]. **Koko C.A., Konan A., Tetchi F., Assidjo E., & Amani N.G.(2012).** Quality of fermented cassava flour processed into placali. Vol. 6.
- [19]. **Boyacioglu M.H. & D'Appolonia B.L.(1994).** Characterization and Utilization of Durum Wheat for Breadmaking. I. Comparison of Chemical, Rheological, and Baking Properties Between Bread Wheat Flours and Durum Wheat Flours.. the American Association of Cereal Chemists, Inc. **71**(1),p. 21-28.
- [20]. **Godon B. & Willim C.(1998).** Les industries de première transformation des céréales. Edition TEC et DOC / Lavoisier, 656p.
- [21]. **Multon J.L.(1982).** Les interactions entre l'eau et les constituants des grains, graines et produits dérivés. Ed APRIA, Technique et documentation, Paris, 161-185.
- [22]. **Sissons M.(2008).** Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. Vol. 2.
- [23]. **Roussel P., Chiron H., Ndiaye A., & Della Valle G.(2006).** Vers une harmonisation du langage sensoriel dans la filière blé-farine-pain. Méthodologie de communication appliquée à un système d'aide à la décision en panification française (AsCoPain) ; 1ère partie. Vol. 149. 24-31.
- [24]. **Salt L.J., González-Thuillier I., Chope G., Penson S., Tosi P., Haslam R.P., Skeggs P.K., Shewry P.R., & Wilde P.J.(2018).** Intrinsic wheat lipid composition effects the interfacial and foaming properties of dough liquor. *Food Hydrocolloids*. **75**,p. 211-222.
- [25]. **Rabah K. & Merazka A.(2012).** Effects of adding dry gluten powder to common wheat flour on cooking quality of an Algerian homemade pasta, *Rechta*. Vol. 11.
- [26]. **Fišteš A., Došenović T., Rakić D., Pajin B., Šereš Z., Simović Š., & Lončarević I.(2014).** Statistical analysis of the basic chemical composition of whole grain flour of different cereal grains. *Acta Universitatis Sapientiae - Alimentaria*. **7**,p. 45-53.
- [27]. **Šterna V., Zute S.(2015).** Grain Composition and Functional Ingredients of Barley Varieties Created in Latvia, in Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. p. 158–162.

- [28]. **Saulnier L.(2012)**,Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. Cahiers de Nutrition et de Diététique. 47(1, Supplement 1),p. S4-S15.
- [29]. **Adhikari B.M., Bajracharya A., &Shrestha A.K.(2016)**.Comparison of nutritional properties of Stinging nettle (*Urtica dioica*) flour with wheat and barley flours. Food Science & Nutrition. 4(1),p. 119-124.
- [30]. **Ereifej K.I., Al-Mahasneh M.A., &Rababah T.M.(2006)**.Effect of Barley Flour on Quality of Balady Bread. International Journal of Food Properties. 9(1),p. 39-49.
- [31]. **Torbica A., Hadnadev M., & Hadnadev T.D.(2011)**.Possibility of using durum wheat flour as an improvement agent in bread making process. Procedia Food Science. 1,p. 1628-1632.
- [32]. **El Yamlahi A., Berny E., Hammoumi A., & Ouhssine M.(2013)**. Effect of barley (*Hordeum vulgare L.*) flour incorporation on the baking quality of wheat (*Triticum aestivum L.*) flour. Vol. 5. 162-170.
- [33]. **Anonyme.(1995)**.Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique.Publication ITCF/ONIC ,Paris, France,254p.