

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Saad Dahleb Blida



Institut des sciences et des techniques appliquées

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Présenté par :

Mlle. BENTIBA Fedwa

Mlle. MESSAOUD Souhaia

**L'incorporation de la poudre de citrouille dans
des muffins**

Devant le Jury composé de

Dr. Bouzar ahmed chihab

Dr. Boussaid Maghnia

Dr. Boukhari Nabil

MCB, ISTA, université Blida 1

MCB, ISTA, université Blida 1

MCB, ISTA, université Blida 1

Président

Examinatrice

Promoteur

Année universitaire : 2024/2025

Plan de travail

| | |
|--|----|
| Introduction | 1 |
| Partie 01 : Etude bibliographique | 2 |
| 1.1 Historique..... | 4 |
| 1.2 Définition..... | 4 |
| 1.3 Description botanique | 4 |
| 1.4 Composition et valeur nutritionnel de la citrouille..... | 5 |
| 1.5 Classification de la citrouille | 8 |
| 1.6 Production de la citrouille | 8 |
| 1.7 Utilisation culinaire de la citrouille..... | 10 |
| 1.8 Utilisation industrielle..... | 10 |
| 1.9 Les fibres | 11 |
| Chapitre 02 : le séchage | 14 |
| 2.1 Définition..... | 14 |
| 2.2 Principe de séchage | 14 |
| 2.3 Caractéristiques de l'air de séchage | 14 |
| 2.4 Modes de séchage des produits alimentaires..... | 15 |
| Chapitre 03 : muffins & plan de mélange | 19 |
| 3.1 Muffins | 19 |
| 3.1.1 Définition : | 19 |
| 3.1.2 Types de muffins..... | 19 |
| 3.2 La gomme de guar | 20 |
| 3.2.1 Utilisation | 20 |
| 3.2.2 Propriété physicochimiques..... | 21 |
| 3.3 Plan de mélange..... | 21 |
| 3.3.1 Définition : | 21 |
| 3.3.2 Les avantages de plan de mélange | 22 |
| 3.3.3 Différents types de plans mélange..... | 22 |
| Partie 02 : Matériels et méthodes | 26 |
| 1. Préparation de la poudre de citrouille | 27 |
| 1.1 Sélection et nettoyage | 27 |
| 1.2 Epluchage et découpe..... | 27 |
| 1.3 Séchage | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1.4 | Broyage..... | 27 |
| <u>2.</u> | Préparation des muffins | 27 |
| <u>3.</u> | Analyses physico-chimiques..... | 31 |
| 3.1 | Détermination de la teneur en eau..... | 31 |
| 3.2 | Taux de cendre..... | 31 |
| 3.3 | Dosage de protéine..... | 32 |
| 3.4 | Taux de matière grasse : | 33 |
| <u>4.</u> | Analyses microbiologiques | 34 |
| 4.1 | Préparation de la suspension mère | 34 |
| 4.2 | Préparation des dilutions décimales | 34 |
| 4.3 | Les germes recherchés | 35 |
| 4.4 | Dénombrement des germes..... | 36 |
| 4.4.1 | Dénombrement des germes aérobies à 30 C ⁰ | 36 |
| 4.4.2 | Dénombrement d'Echerichia Coli | 36 |
| 4.4.3 | Dénombrement des moisissures | 36 |
| 4.4.4 | Dénombrement des staphylocoques à coagulase + | 36 |
| 4.4.5 | Dénombrement de salmonelle..... | 37 |
| <u>5.</u> | Analyses sensorielle..... | 38 |
| | Partie 03 : résultats et discussions | 39 |
| I. | Analyses physico-chimiques | 40 |
| II. | Analyses microbiologiques..... | 41 |
| III. | Analyses sensorielle | 42 |
| IV. | Analyse statistique | 44 |

Remerciement

Avant toute chose, on rend grâce à Allah, Le Tout-Puissant, pour s'être accordé la patience, la force et la capacité d'accomplir ce travail.

On tient à exprimer ma profonde gratitude à notre encadreur Dr. Nabil Boukhari, pour sa précieuse orientation, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Son accompagnement a été pour nous une source d'enrichissement tant sur le plan scientifique que personnel.

Nos sincères remerciements vont également à Dr. Terki, pour son aide et ses encouragements constants.

On n'oublie pas d'adresser toute notre reconnaissance à nos parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible, qui ont été pour nous une force essentielle dans ce parcours.

Enfin, nous tenons à remercier nous-mêmes, pour l'effort fourni, la persévérance face aux défis, et la foi que nous avons su garder en nos capacités jusqu'au bout.

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la valorisation des produits agroalimentaires locaux, à travers l'incorporation de la poudre de citrouille (*Cucurbita pepo*) dans la formulation de muffins. L'objectif principal de cette étude est de développer une recette enrichie en poudre de citrouille, obtenue après une étape de séchage, en utilisant un plan de mélange contraint à trois composantes : la farine de blé, la poudre de citrouille et la gomme de guar. Cette approche vise à améliorer les qualités nutritionnelles, sensorielles et technologiques du produit final. Une série de cinq expériences a été réalisée selon un plan de mélange simplex-centroid, permettant de moduler les proportions des trois ingrédients tout en respectant un total de 100 %. Les muffins obtenus ont été évalués sur le plan sensoriel (couleur, texture, forme et acceptabilité globale), physico-chimiques (humidité, cendres, matières grasses, protéines) et ainsi que microbiologiques (germes aérobies, E. coli, staphylocoques, moisissures, salmonelles). Les résultats ont montré que l'ajout modéré de poudre de citrouille, associé à la gomme de guar, améliore significativement la texture, la couleur et les qualités nutritionnelles des muffins sans compromettre leur acceptabilité sensorielle. La formulation contenant 90 % de farine, 9,2 % de poudre de citrouille et 0,8 % de gomme de guar a été jugée optimale par les dégustateurs. Cette étude confirme le potentiel de la poudre de citrouille comme ingrédient fonctionnel dans les produits de boulangerie, en particulier les muffins, et l'efficacité du plan de mélange comme outil d'optimisation en formulation alimentaire.

Mots clés : Citrouille, Muffin, Poudre de citrouille, Plan de mélange, Farine, Gomme de guar, Analyse sensorielle, Valeur nutritionnelle, Séchage, Formulation alimentaire.

Abstract

This thesis is part of the promotion of local agri-food products through the incorporation of pumpkin powder (*Cucurbita pepo*) in muffin formulation. The main objective of this study is to develop a recipe enriched with pumpkin powder, obtained after a drying step, using a constrained mixture design involving three components: wheat flour, pumpkin powder, and guar gum. This approach aims to improve the nutritional, sensory, and technological qualities of the final product. A series of five experiments was carried out using a simplex-centroid mixture design, allowing the modulation of the proportions of the three ingredients while respecting a total of 100%. The resulting muffins were evaluated based on sensory (color, texture, shape, and overall acceptability), physicochemical (moisture, ash, fat, protein), and microbiological (aerobic bacteria, *E. coli*, staphylococci, molds, salmonella) properties. The results showed that moderate addition of pumpkin powder, combined with guar gum, significantly improved the texture, color, and nutritional qualities of the muffins without compromising their sensory acceptability. The formulation containing 90% flour, 9.2% pumpkin powder, and 0.8% guar gum was considered optimal by the tasters. This study confirms the potential of pumpkin powder as a functional ingredient in bakery products, particularly muffins, and the effectiveness of mixture design as a tool for optimization in food formulation.

Keywords : Pumpkin, Muffin, Pumpkin powder, Mixture design, Flour, Guar gum, Sensory analysis, Nutritional value, Drying, Food formulation.

ملخص

تندرج هذه المذكرة في إطار تّمين المنتجات الغذائية المحلية من خلال ادماج مسحوق اليقطين في تحضير المافن. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تطوير وصفة غنية بمسحوق اليقطين يتم الحصول عليه بعد مرحلة التجفيف وصمغ الغوار. تهدف (*cucurbita pepo*) باستخدام خطة خلط مقيدة بثلاث مكونات دقيق القمح، مسحوق اليقطين هذه المقاربة الى تحسين الخصائص الغذائية والحسية والتكنولوجية للمنتج النهائي. تم اجراء سلسلة من خمس تجارب تسمح بتعديل نسب المكونات الثلاثة مع الحفاظ على مجموع كلي بنسبة simplex-centroid وفقاً لخطة خلط والقبول العام) والفيزيائية- الشكل، الملمس، 100% تم تقييم المافن المنتجة من حيث الخصائص الحسية (اللون، الكيميائية (الرطوبة، الرماد، الدهون، البروتينات) وكذلك من حيث الخصائص الميكروبيولوجية (الجراثيم الهوائية، الإشريكية القولونية، المكورات العنقودية، العفن، السالمونيلا). أظهرت النتائج أن الإضافة المعتدلة لمسحوق اليقطين، المرتبط بصمغ الغوار، تحسن بشكل كبير الملمس واللون والخصائص الغذائية للمافن دون التأثير على قبولها الحسي. وقد اعتُبرت التركيبة التي تحتوي على 90% من الدقيق، و9.2% من مسحوق اليقطين، و0.8% من صمغ الغوار الأفضل من طرف المتذوقين. تؤكد هذه الدراسة على إمكانية استخدام مسحوق اليقطين كمكون وظيفي في منتجات المخابز، خاصة المافن، وفعالية خطة الخلط كأداة تحسين في تركيبات الأغذية

الكلمات المفتاحية: اليقطين، مافن، مسحوق اليقطين، خطة خلط، دقيق، صمغ الغوار، تحليل حسي، القيمة الغذائية، التجفيف، تركيبة غذائية

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : les principaux composants chimiques des différentes parties de citrouille et leurs activités biologiques (RATNAM et al,2017) | 5 |
| Tableau 2 : classification de la citrouille | 8 |
| Tableau 3 : production mondiale de citrouille (FAOSTAT, 2017) | 9 |
| Tableau 4 : répartition des composants des cinq formulations..... | 28 |
| Tableau 5 : les germes recherchés | 35 |
| Tableau 6 : résultats d'analyse physico-chimiques | 40 |
| Tableau 7 : résultats d'analyse microbiologiques | 41 |
| Tableau 8 : résultats de dégustation..... | 42 |
| Tableau 9 : appréciation sensorielle de chaque échantillon/20 | 42 |
| Tableau 10 : tableau d'ANOVA | 45 |
| Tableau 11 : tableau de coefficient de régression..... | 45 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : fruit de citrouille (C.pepo) | 5 |
| Figure 2 : graines de citrouille..... | 5 |
| Figure 3 : principaux pays producteurs de citrouilles dans le monde (FAO,2017) | 9 |
| Figure 4 : répartition de la production de citrouille..... | 9 |
| Figure 5 : produits alimentaires sains et fonctionnels dérivés de la citrouille (ABBACI et all, 2023)..... | 10 |
| Figure 6 :méthode de séchage au soleil (DJOUAMA et al, 2022)..... | 15 |
| Figure 7 : méthode de séchage à l'infrarouge (DJOUAMA et al,2022) | 16 |
| Figure 8 : processus de lyophilisation (DJOUAMA et al, 2022) | 17 |
| Figure 9 : muffins | 19 |
| Figure 10 : valeurs des composants dans un plan de mélange (DAAS M S,2020) | 21 |
| Figure 11 : plan de mélange en réseau (allalata, 2023) | 22 |
| Figure 12 : plan de mélange en réseau augmenté (allalata,2023)..... | 23 |
| Figure 13 : plan de mélange centré à 3 composants (allalata,2023)..... | 23 |
| Figure 14 : plan de mélange centré à 3 composants (augmenté) (allalata,2023)..... | 24 |
| Figure 15 : limites inférieurs et supérieures dans un plan de mélange contraint (allalata,2023).. | 24 |
| Figure 16 : préparation de mélange liquide | 29 |
| Figure 17 : l'ajoute de reste d'ingrédients | 29 |
| Figure 18 : mise en moule | 29 |
| Figure 19 : mélange d'ingrédients | 29 |
| Figure 20 : produit fini | 29 |
| Figure 21 : les étapes de fabrication des muffins | 30 |
| Figure 22 : radar des résultats sensorielles des cinq échantillons | 42 |
| Figure 23 : diagramme triangulaire de l'acceptabilité générale..... | 44 |
| Figure 24 : trace plot des composantes | 46 |
| Figure 25 : profile de désirabilité de surface de réponse..... | 46 |
| Figure 26 : diagramme de surface de réponse 3D pour l'acceptabilité générale | 46 |
| Figure 27 : analyse des composants | 46 |
| Figure 28 : cercle de corrélation..... | 46 |
| Figure 29 : le plan factoriel | 46 |
| Figure 30 : le dendrogramme | 46 |
| Figure 31 : analyse des composants des analyses physico-chimiques | 46 |
| Figure 32 : cercle de corrélations de sanalyses physico-chimiques | 46 |
| Figure 33 : le plan factoriel des analyses physico-chimiques | 46 |

Liste d'abréviations

FAOSTAT : base de données statistiques de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ISO : organisation internationale de normalisation

C° : degré celsius

AFNOR : organisme français de normalisation

SM : solution mère

Abs : Absence

C. pepo : *Cucurbita pepo*

JORA : Journal officiel de la république algérienne

UFC/g : Unité format colonie par gramme

ANOVA : analyse de la variance

Introduction

Dans un monde en constante évolution nutritionnelle, les consommateurs recherchent des produits sains, naturels et innovants. L'utilisation d'ingrédients fonctionnels issus de ressources locales, comme la citrouille (*Cucurbita pepo*), représente une approche prometteuse pour enrichir les aliments en composés bioactifs. Riche en fibres, caroténoïdes, vitamines (A, C, E) et antioxydants, la poudre de citrouille présente un fort potentiel pour l'amélioration nutritionnelle des produits de boulangerie (Ahmad et al., 2019; Ferreira et al., 2022). De plus, sa disponibilité saisonnière et sa valorisation dans une démarche de développement durable renforcent son intérêt technologique et économique.

Parallèlement, l'intégration de gommages naturelles, telles que la gomme de guar, s'inscrit dans une stratégie technologique visant à améliorer la texture, la stabilité et la qualité sensorielle des formulations alimentaires (Gheribi et al., 2023). Les plans de mélange avec contrainte sont des outils statistiques puissants pour optimiser les proportions d'ingrédients dans une formulation complexe (Masmoudi et al., 2020). Ces gommages végétales, souvent utilisées comme agents épaississants ou gélifiants, influencent les propriétés rhéologiques des pâtes et contribuent à la conservation des produits finis.

Cependant, malgré l'intérêt croissant pour les ingrédients fonctionnels naturels, l'incorporation simultanée de la poudre de citrouille et de la gomme de guar dans des matrices de produits de boulangerie, tels que les muffins, soulève plusieurs questions. Il est essentiel d'évaluer dans quelle mesure ces ingrédients peuvent modifier les propriétés nutritionnelles, sensorielles et technologiques du produit final. La principale problématique réside dans la recherche d'un équilibre optimal entre amélioration nutritionnelle et acceptabilité du consommateur, tout en garantissant la stabilité physico-chimique et microbiologique du produit.

Dans cette optique, le présent mémoire vise à formuler des muffins fonctionnels en intégrant de la poudre de citrouille et de la gomme de guar, selon un plan de mélange simplex-centroïde, afin d'évaluer leurs effets combinés sur les caractéristiques nutritionnelles, sensorielles, physico-chimiques et microbiologiques du produit final, et d'identifier la meilleure combinaison d'ingrédients pour une formulation optimisée.

Partie 01 : Etude bibliographique

Chapitre 01 : La citrouille

Chapitre 01 : la citrouille

1.1 Historique

La citrouille a été cultivée pour la première fois au Mexique il y a environ 5 500 ans avant, alors que les haricots et le maïs formaient la base de l'alimentation des Nord-Américains. Les Mayas appréciaient la citrouille et ses graines grillées, qu'ils utilisaient à la fois pour leurs propriétés médicinales et dans leur cuisine traditionnelle. (AL-ANOOS, et al. 2015)

Après des siècles de culture en Amérique, Christophe Colomb a mentionné pour la première fois la citrouille en 1492 dans son récit de voyage. Plus tard, Gasper de Espinosa a également signalé la présence de citrouilles lors de son voyage, la décrivant sous le nom de "pastèque indienne" comme un fruit délicieux et utilisé pour soigner de nombreuses maladies. C'est ainsi que la culture de la citrouille a été introduite en Europe pour la première fois. (AL-ANOOS, et al. 2015)

Les citrouilles, courges et courgettes sont des cultures importantes originaires d'Asie, d'Afrique et des Amériques, cultivées et consommées depuis plus de 10 000 ans et répandues dans le monde entier. (AL-ANOOS, et al. 2015)

1.2 Définition

La citrouille est un légume fonctionnel du genre *Cucurbita* et de la famille des Cucurbitacées. (ABBACI, et al, 2023)

Elle est originaire des zones tropicales d'Amérique, la citrouille s'est répandue dans le monde entier grâce à ses propriétés nutritionnelles et fonctionnelles. Son adoption a été favorisée par son effet antiscorbutique, sa longue durée de conservation et sa capacité d'adaptation à différents environnements (HAMEL, CHEMCHAT, 2020).

Les citrouilles varient en forme, taille, poids et couleur La plupart des citrouilles sont rondes, mais certaines sont oblongues ou en forme de poire. (FERHAT, MERAR, 2024).
Connu pour avoir plus de 130 genres et 800 espèces. (ABBACI, et al. 2023)

1.3 Description botanique

1.3.1 La plante

La citrouille est une plante annuelle à feuilles larges, plus ou moins ouvertes et monoïques, avec des tiges tentaculaires. Elle est caractérisée par des fleurs à corolle jaune, dont les lobes sont réfléchis ou dressés. Sa durée de vie est d'environ 6 à 8 ans (MAADSI, 2012).

1.3.2 Les fruits

La forme du fruit de la citrouille varie considérablement d'une variété à l'autre, allant de formes arrondies ou ovoïdes à des formes aplatis. Les fruits sont généralement de grande taille et contiennent une abondance de graines. La chair, de couleur jaune ou orange, est comestible après avoir été cuite. (MEZIANE S, ADJRAD S, 2021)



Figure 1: fruit de citrouille (*C.pepo*)

1.3.3 Les graines

Les graines de citrouille présentent une forme elliptique et aplatie, avec un bord nettement défini. Elles représentent environ 1 à 3% du poids total du fruit. L'enveloppe des graines est généralement de couleur jaune pâle, blanche ou brun clair, tandis que le cœur de la graine est vert, vert olive ou vert grisâtre (MEZIANE S, ADJRAD S, 2021). Il y a environ 450 grains d'affilée. (MIAINA, 2017)

Les graines de citrouille sont riches en acides gras insaturés, en fibres et en minéraux. Elles contiennent également des protéines et des substances biologiques actives comme les acides aminés, les tocophérols et les caroténoïdes. (KULAITIENE, J et al, 2018)



Figure 2 : graines de citrouille

1.4 Composition et valeur nutritionnel de la citrouille

La citrouille a été considérée comme bénéfique pour la santé car elle contient divers composants biologiquement actifs tels que les polysaccharides, l'acide para-amino-benzoïque, les huiles, les stérols, les protéines et les peptides. La citrouille est une bonne source de vitamines A, E, K, B2 et notamment C (acide ascorbique), de minéraux, de carotènes (α et β), de diverses fibres alimentaires et de mélanges phénoliques (Ahmad et al., 2019). Les minéraux tels que le potassium, le calcium, le magnésium et les oligoéléments dont le zinc, le manganèse, le cuivre et le sélénium (0,03%). (BOUMHIRIZ, 2017)

Tableau 1 : les principaux composants chimiques des différentes parties de citrouille et leurs activités biologiques (RATNAM et al,2017)

| Partie | Composant | Activités biologiques | Référence |
|--------|-----------------|--|-----------------------|
| Fruit | Glucides (66 %) | Antidiabétique (Hypoglycémiant aigüe) | (Ratnam et al., 2017) |

| | | | |
|----------------|---|--|-----------------------------------|
| | Protéines calcium, zinc) | Anticancéreuse | Ratnam et al., 2017 |
| | Glucides | Antidiabétique | Ratnam et al., 2017 |
| | Oligo-éléments (Mn, Fe, Pb) | Antioxydante | Mala et Kurian, 2016 |
| | Minéraux (phosphore, potassium, magnésium, | Antioxydante | Widy-Tyszkiewicz, 2012 |
| Graines | Vitamine C | Antioxydante | Mala et kurian, 2016 |
| | Tocophérols (Vitamine E) | Antidiabétique, antioxydante | Widy-Tyszkiewicz, 2012 |
| | Triterpénoïdes (Squalène) | Antioxydante, anticancéreuse | Widy-Tyszkiewicz, 2012 |
| | L'acide γ- aminobutyrique | Anti-dépression, antihypertension | Cui et al., 2020 |
| | Caroténoïdes | Antioxydante | Bardaa et al., 2016 |
| | Acide gras saturés et insaturés | Anti-inflammatoire | Thibaut et al., 2021 |
| | Stérols | Anti-cholestérol | Widy-Tyszkiewicz, 2012 |

| | | | |
|-----------------|------------------------|---|---|
| | | | |
| | Peptides | Antifongique, Antimicrobienne | Yadav et al., 2010 |
| | Polysaccharides | Antioxydante, anti- tumorale, immunorégulatrice, hypoglycémiante | Ji et al., 2021 |
| Feuilles | Alcaloïdes | Antidiabétique | Moraru <i>et al.</i>, 2018 |
| | Flavonoïdes | Antioxydante | Velenzuela <i>et al.</i>, 2014 |
| | Tannins | Antioxydante | Djenidi <i>et al.</i>, 2020 |
| | Saponines | Antimicrobienne, Antifongique | Salehi <i>et al.</i>, 2019 |

1.5 Classification de la citrouille

La citrouille appartient à la famille du melon Cucurbitaceae qui comprend environ 95 genres et 980 espèces (BOUMHIRIZ, 2017). La culture de *C. pepo* est classée comme suit :

Tableau 2 : classification de la citrouille

| | |
|----------|------------------|
| Règne | Plantae |
| Division | Magnoliophyta |
| Classe | Magnoliopsida |
| Famille | Cucurbitaceae |
| Ordre | Violales |
| Genre | Cucurbita L |
| Espèce | Cucurbita pepo L |

1.6 Production de la citrouille

1.6.1 Dans le monde

La citrouille est une culture légumière majeure cultivée à l'échelle mondiale sur environ 3 millions d'hectares, avec une production annuelle dépassant 27 millions de tonnes (FAOSTAT, 2022). L'Asie domine largement ce secteur, avec la Chine et l'Inde en tête, contribuent ensemble à près de 50 % de la production mondiale.

La Chine est le premier producteur avec plus de 7.3 millions de tonnes par an, suivie de l'Inde (5.2 millions de tonnes), de l'Ukraine, de la Russie et des États-Unis.

Originnaire d'Amérique du Nord, *cucurbita pepo L.* s'est répandue à travers le monde à partir du XVI^{ème} siècle grâce aux échanges transocéaniques. Aujourd'hui, la citrouille prospère sous divers climats, des régions tempérées fraîches aux zones tropicales, et est cultivée dans des pays comme le Mexique, l'Égypte, l'Iran, l'Italie, la Turquie et l'Afrique du Sud (ABBACI et al, 2023).

Son adaptabilité aux conditions environnementales variées, en particulier aux basses altitudes et aux climats chauds et humides, explique son succès agricole mondiale (SALEHI et al, 2019)

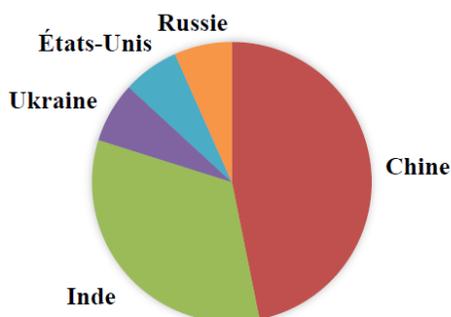


Figure 4 : répartition de la production de citrouille

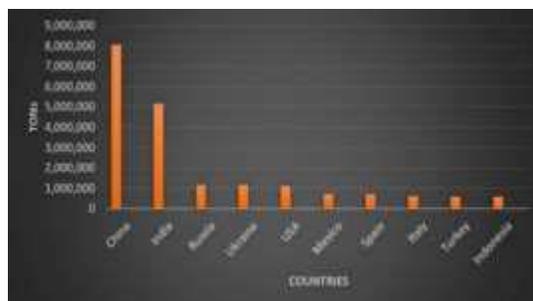


Figure 3 : principaux pays producteurs de citrouilles dans le monde (FAO,2017)

1.6.2 En l'Algérie

La citrouille (*Cucurbita pepo*) est une culture maraîchère d'importance en Algérie, cultivée depuis plusieurs décennies dans différentes régions, notamment à Biskra et Ouargla. Selon les données de la (FAOSTAT, 2022). Différentes variétés sont cultivées, telles que la Courge Musquée de Provence (*Cucurbita moschata*), le Potiron Rouge Vif d'Étampes et le Potimarron (*Cucurbita maxima*). Par ailleurs, les services agricoles rapportent que les superficies consacrées à cette culture s'élèvent à environ 400 hectares par wilaya, avec une production globale dépassant les 44 000 tonnes (BOUAMAR, 2019). Ces chiffres illustrent l'importance croissante de la citrouille dans le secteur agricole algérien.

Tableau 3 : production mondiale de citrouille (FAOSTAT, 2017)

| Pays | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Le monde | 23,917,255 | 24,522,500 | 25,107,419 | 25,256,633 | 26,486,616 |
| Égypte | 559,606 | 494,664 | 444,653 | 458,218 | 463,451 |
| Afrique de sud | 244,000 | 247000 | 423,074 | 446,900 | 419,791 |
| Rwanda | 236,000 | 230,694 | 269,951 | 273,250 | 280,502 |
| Algérie | 227,789 | 260,913 | 285,293 | 302,449 | 271,054 |
| Maroc | 256,520 | 224,315 | 215,503 | 201,227 | 189,256 |
| Cameron | 166,845 | 171,609 | 176,373 | 181,137 | 185,901 |
| Niger | 30,085 | 69,636 | 53,345 | 133,005 | 123,366 |

| | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tunisie | 78,300 | 80,300 | 86,400 | 89,700 | 90,080 |
| Soudan de sud | 50,000 | 58,000 | 65,000 | 72,273 | 80,430 |

1.7 Utilisation culinaire de la citrouille

La citrouille offre de nombreuses possibilités culinaires, soit consommée fraîche, soit utilisée comme ingrédient dans divers plats tels que : (Ratnayake, RMS, Hurst, PL, Melton, ID, 2004)

- Les soupes
- Desserts sucrés, Cakes, Confitures
- Pâtes à pain et gâteaux après cuisson

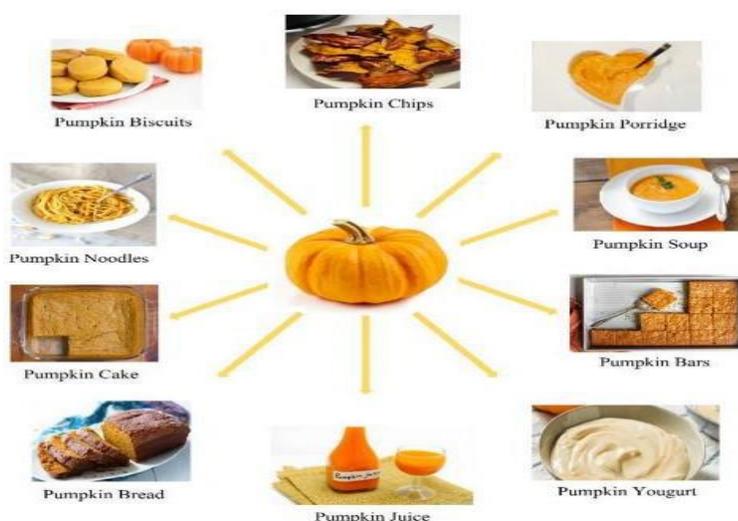


Figure 5 : produits alimentaires sains et fonctionnels dérivés de la citrouille (ABBACI et al, 2023)

1.8 Utilisation industrielle

La citrouille est présente dans l'industrie cosmétique, où elle est utilisée dans la fabrication de produits de soins pour la peau, tels que les gommages, les masques corporels, les beurres corporels, les huiles de massage. (Ceclu, L et al, 2020)

Les cucurbitacées sont également cultivées pour leur valeur ornementale, et les coquilles de courge séchées peuvent être utilisées comme conteneurs de stockage ou même comme instruments de musique. Certaines variétés de citrouilles sont utilisées à des fins médicales et thérapeutiques. (Mc Creight, 2016)

1.9 Les fibres

La citrouille est un aliment sain et équilibré. Elle constitue un excellent choix pour une alimentation équilibrée, riche en fibres essentielles à la santé digestive. Ces fibres régulent le transit intestinal et préviennent la constipation.

1.9.1 Définition

Les fibres alimentaires sont des molécules glucidiques complexes qui résistent à la digestion dans l'intestin grêle et arrivent intactes dans le colon, où elles sont partiellement ou totalement fermentées par la flore intestinale. (JONES JM 2014)

1.9.2 Effet des fibres

Des études épidémiologiques et cliniques montrent que la consommation de fibres alimentaires est inversement proportionnelle à l'obésité (TUCKER ET THOMAS, 2009), au diabète de type 2 (MEYER ET AL, 2000), au cancer (PARK ET AL, 2009) et aux maladies cardiovasculaires (MCV) (STREPPPEL ET AL, 2008)

- **Fibres et flore intestinale**

Les fibres alimentaires jouent un rôle clé dans la prévention et la gestion des troubles gastro-intestinaux, en promouvant une santé digestive optimale. (Gill et al., 2021)

- **Fibres et régulation de la glycémie**

De nombreuses études ont montré que l'augmentation de la consommation de fibres peut aider à réduire la réponse glycémique chez les personnes atteintes de diabète. Cependant, l'efficacité des fibres alimentaires pour contrôler l'hyperglycémie dépend de facteurs tels que leur composition, leur source et leur préparation.

Les fibres végétales aident à réguler le glucose et l'insuline après les repas chez les personnes atteintes de diabète de type 2. (Ahmed et al., 2011).

- **Fibres et hyperlipidémies**

Les fibres alimentaires sont essentielles pour la santé, exercent une influence unique sur le métabolisme des lipides. Traditionnellement, on pense que les fibres hydrosolubles ralentissent l'absorption des sucres et des graisses, tandis que les fibres insolubles augmentent le volume des selles. (Nie et Luo, 2021).

1.9.3 Travaux qu'ont utilisé les fibres pour améliorer la qualité des aliments

a) Enrichissement des produits à base de fruits et de légumes en fibres (Dhingra et al. 2012)

- **Jus de fruits enrichis** : L'ajout de fibres issues de fruits permet d'améliorer la valeur nutritionnelle et la texture des jus.
- **Purées de légumes** : L'enrichissement en fibres végétales permet d'obtenir des purées plus épaisses, tout en augmentant leur teneur nutritionnelle.
- **Snacks à base de fruits secs** : Les fruits secs, naturellement riches en fibres, sont utilisés comme collations saines et équilibrées.

b) Incorporation de fibres de céréales dans les produits de boulangerie et les céréales (Anderson et al. 2009)

- **Pain complet** : L'ajout de fibres céréalières permet de renforcer les apports nutritionnels et d'améliorer la texture du pain.
- **Céréales pour le petit-déjeuner** : Les fibres sont intégrées pour enrichir le profil nutritionnel des céréales consommées le matin.
- **Barres de céréales** : L'utilisation de fibres permet de produire des barres plus nutritives et bénéfiques pour la santé.

c) Utilisation des fibres comme ingrédients fonctionnels (Slavin, 2013)

- **Compléments alimentaires** : Les fibres sont employées dans les compléments pour favoriser la santé digestive.
- **Produits alimentaires fonctionnels** : Elles sont également intégrées dans des formulations spécifiques pour améliorer la fonctionnalité et la qualité nutritionnelle des produits finis.

Chapitre 02 : Le séchage

2 Chapitre 02 : le séchage

2.1 Définition

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de conservation est un processus de déshydratation qui vise à éliminer l'eau des produits alimentaires en utilisant la chaleur de l'air chaud ou de l'énergie solaire. Pour préserver la qualité du produit, il est essentiel de réaliser ce processus dans des conditions contrôlées, en minimisant les effets négatifs sur le produit. **(RPF Guiné, 2018)**

Le séchage vise à ralentir la prolifération des micro-organismes, à minimiser les réactions de détérioration liées à l'humidité, et à réduire le poids des produits pour faciliter leur transport **(RASHMI ET NEGI, 2020)** Cette technique permet également de prolonger la durée de vie des produits alimentaires **(HAWA et al., 2021)**

2.2 Principe de séchage

Le séchage implique deux types de transferts : le transfert d'énergie thermique, de l'environnement vers le liquide à évaporer, et le transfert de masse, de l'intérieur du solide vers sa surface et ensuite le passage en phase gazeuse. La vitesse du séchage est directement liée à ces deux modes de transfert. **(SAID, 2015)**

Cette opération est assurée par plusieurs méthodes par l'exposition au soleil, le stockage dans un endroit sec, également par l'utilisation de l'air chauffé sous l'action du rayonnement solaire comme une source de chaleur. **(DADDA, 2020)**

L'élimination de l'eau peut être effectuée par trois voies principales :

2.2.1 Voie mécanique

C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, centrifugation, compression et filtration). **(S. CHOUICHA, 2010)**

2.2.2 Voie chimique

C'est un procédé basé sur le traitement chimique (solution osmotique) et l'utilisation de produits déshydratants (chlorure de calcium...) pour extraire l'eau. **(DJOUAMA, et al, 2022)**

2.2.3 Voie thermique

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une « activation » de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

(H. BEN CHEIKCH,2011)

2.3 Caractéristiques de l'air de séchage

2.3.1 Humidité absolue

On appelle humidité absolue ou spécifique, ou teneur en humidité, ou plus simplement humidité d'un gaz, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec. **(SAID, 2015)**

2.3.2 L'humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température. (HOUHOU, H.2017)

2.3.3 Le degré de saturation

Le degré de saturation est le rapport de l'humidité spécifique de l'air à l'humidité spécifique de l'air saturé à la même température. (SAID, 2015)

2.3.4 Température

Le temps de séchage est largement réduit par l'élévation de la température de l'air du séchage, mais il existe une température maximale pour chaque produit qui ne pas être dépassée sinon elle provoque une dégradation importante de la qualité attribuée aux aliments tel que : *La couleur, les nutriments, la flaveur, la texture.* (ARAB, DEMMOUCHE, 2020)

2.4 Modes de séchage des produits alimentaires

2.4.1 Séchage au soleil

Le séchage au soleil est une méthode de conservation des produits agricoles qui consiste à les exposer directement aux rayons du soleil. (P. Udomkun et al, 2020)

Cette méthode présente des avantages économiques et énergétiques, mais elle dépend fortement des conditions climatiques. Elle est généralement utilisée dans les régions tropicales où la durée d'ensoleillement est suffisante pour permettre une réduction significative de l'humidité des produits. (TY Tunde-Akintunde et al, 2005)

Le séchage au soleil a plusieurs inconvénients, notamment la contamination, les pertes de produits, les attaques d'insectes et d'oiseaux, les besoins en espace et la difficulté de contrôler le processus. (Chua et al., 2019).



Figure 6 : méthode de séchage au soleil
(DJOUAMA et al, 2022)

2.4.2 Séchage par conduction

Le séchage par conduction consiste à mettre le produit à sécher en contact avec une surface chaude, permettant la transmission de la chaleur par conduction. Cette méthode est utilisée dans les industries du textile et de la papeterie. (K. Souheyla, 2018)

2.4.3 Séchage par convection (ou par entrainement)

Le séchage par convection utilise un courant d'air chaud pour transférer la chaleur au produit. Cette méthode est très utilisée dans l'industrie, notamment dans le domaine agro-alimentaire. (A. S. Mujumdar, 2000)

2.4.4 Séchage par rayonnement infrarouge

Le séchage par infrarouge permet d'évaporer l'eau ou les solvants à haute température. Il peut également être couplé à l'air chaud et est utilisé lorsque l'effet de séchage doit être concentré sur la surface du produit traité pour obtenir également un effet de torréfaction.

Cette solution est loin d'être idéale pour les produits qui ne doivent pas être exposés à des températures élevées. (DJOUAMA, et al, 2022)

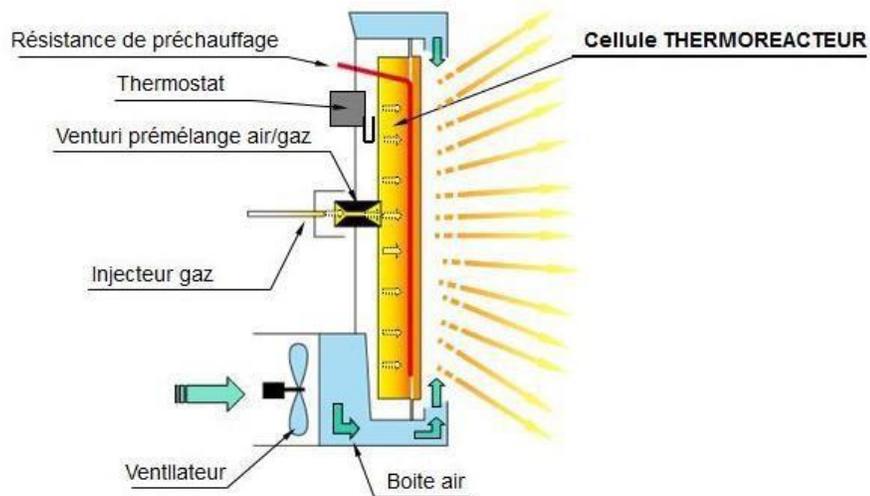


Figure 7 : méthode de séchage à l'infrarouge (DJOUAMA et al,2022)

2.4.5 Séchage sous vide

Le séchage sous vide est une méthode où les denrées alimentaires sont déshydratées à des pressions réduites, tandis que le point d'ébullition de l'humidité à l'intérieur des aliments diminue, permettant ainsi son évaporation à des températures basses (Sagar et al., 2010). Cette technique est souvent privilégiée pour les aliments sensibles à la chaleur et susceptibles de subir des changements de couleur, d'apparence et de perte de nutriments lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées. Au cours des dernières années, le séchage sous vide a gagné en popularité pour le traitement des aliments riches en composés hautement bioactifs en raison de sa capacité à prévenir l'oxydation (Menon et al., 2020).

2.4.6 Séchage par lyophilisation

La lyophilisation est une technique de déshydratation qui préserve les micro-organismes bioactifs et les réactions enzymatiques. Elle est utilisée dans les industries alimentaire et pharmaceutique pour produire des produits secs de haute qualité. (R. Najjar et C. Stubenrauch, 2009).

Son processus comprend trois étapes : la congélation, le séchage primaire et le séchage secondaire. Les ingrédients sont traités à basse température jusqu'à congélation. Le principe du séchage est la sublimation. La sublimation est un processus qui permet à un solide de se transformer en gaz sans passer par la phase liquide. Cela nécessite une pression inférieure ou proche de la pression de vapeur d'équilibre du solvant congelé, obtenue à l'aide d'une pompe à vide. (D. Bhambere, 2015)

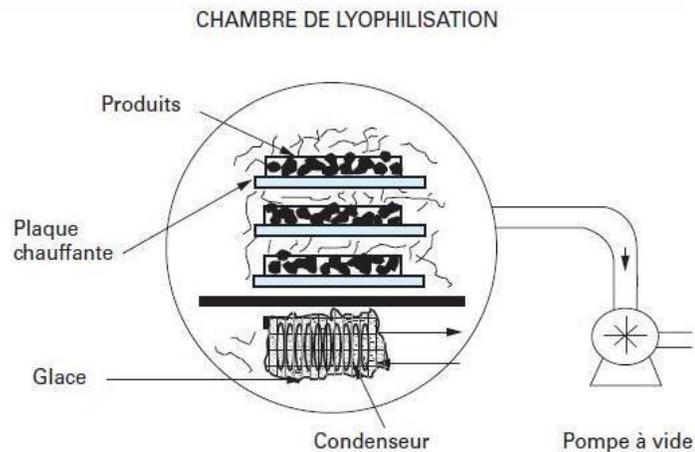


Figure 8 : processus de lyophilisation (DJOUAMA et al, 2022)

Chapitre 03 : Formulation de muffins par plan de mélange

3 Chapitre 03 : formulation de muffins par plan de mélange

3.1 Muffins

3.1.1 Définition :

Les muffins sont des gâteaux mous, spongieux et semi-sucrés, largement consommés aussi bien au petit-déjeuner qu'en collation. Ils sont considérés comme des produits prêts à être consommés et jouent un rôle essentiel dans l'industrie de la boulangerie, leur popularité ne cessant de croître. Traditionnellement, leur préparation repose sur un mélange de farine de blé, de sucre, de matières grasses, de lait et d'œufs, formant une pâte obtenue par émulsification de l'huile dans l'eau, avec une incorporation progressive des autres ingrédients (Martinez Cervera, 2013).



Figure 9 : muffins

3.1.2 Types de muffins

Ces dernières années, les consommateurs sont devenus plus conscients de l'importance d'une alimentation saine et cherchent à consommer des produits qui apportent une bonne nutrition à l'organisme. Par conséquent, divers essais ont été réalisés afin de produire des produits de boulangerie qui soient à la fois pratiques et nutritifs. Différentes variétés de muffins sont disponibles sur le marché, comme les muffins sans œufs, aux fruits, aux céréales et à base de millet.

a) Muffins à base de céréales

Les muffins aux céréales sont élaborés à partir de diverses céréales. Les produits à base de céréales sont bien acceptés par les consommateurs, et le marché propose une large gamme de produits. Les céréales constituent une excellente source de nutriments dans l'alimentation, ce qui pousse les consommateurs et les industriels à expérimenter et à développer de nouveaux produits offrant une bonne source d'énergie.

b) Muffins aux fruits

La demande en fruits et légumes a considérablement augmenté en raison de la croissance de la population mondiale, de l'évolution des habitudes alimentaires et de la perception des consommateurs quant aux bienfaits de ces aliments sur la santé. Dans les muffins aux fruits, différents types de fruits sont utilisés afin d'améliorer la qualité nutritionnelle du produit.

c) Muffins à base de millet

Pour remplacer la farine de blé raffinée, le millet est utilisé afin d'obtenir des muffins de haute qualité. Les millets sont reconnus pour leur richesse en fibres, minéraux et antioxydants, ce qui en fait une alternative nutritionnelle intéressante pour les consommateurs soucieux de leur santé.

2022 IJCRT | Volume 10, Issue 7 July 2022 | ISSN: 2320-2882

❖ L'élaboration des muffins repose sur un équilibre précis des ingrédients, influençant leur texture, leur volume et leur goût. Dans cette optique, l'application d'un plan de mélange permet d'optimiser la formulation en ajustant les proportions des composants. Cette approche expérimentale est particulièrement pertinente lorsqu'il s'agit d'incorporer de nouveaux ingrédients, comme la poudre de citrouille et la gomme de guar afin d'améliorer les qualités nutritionnelles et sensorielles du produit final. Grâce au plan de mélange, il est possible d'analyser l'impact des différentes combinaisons d'ingrédients sur la texture, la structure et les propriétés technologiques des muffins, garantissant ainsi un produit final répondant aux attentes des consommateurs.

3.2 La gomme de guar

La gomme de guar est une poudre blanche et neutre qui se dissout rapidement dans l'eau pour former des solutions épaisses. Elle est utilisée comme agent épaississant et stabilisant dans diverses applications alimentaires et industrielles grâce à sa capacité à retenir l'eau. (gherrak, 2021)

Ses propriétés clés incluent :

- Dissolution rapide dans l'eau
- Formation de solution visqueuses
- Rétention d'eau efficace

La gomme de guar est utilisée dans de nombreux produits alimentaires et industriels pour améliorer la texture et la stabilité.

3.2.1 Utilisation

La gomme de guar est un additif alimentaire polyvalent (E412) utilisé dans diverses applications : (gherrak, 2021)

- Épaississant et stabilisant dans les sauces, soupes et crèmes glacées
- Emulsifiant dans les produits alimentaires
- Remplacement de l'amidon, des sucres ou des matières grasses pour alléger les préparations
- Utilisation dans les produits de boulangerie et pâtisserie, les poudres, etc..

Ses propriétés permettent de former des gels et des textures uniformes, ce qui en fait un ingrédient précieux dans l'industrie agroalimentaire.

3.2.2 Propriété physicochimiques

Les propriétés fonctionnelles des gommages comme la gomme guar reposent sur leurs caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques, influençant la texture, la qualité et l'acceptation du produit. (oulache,guemmoudi,2021)

- **Propriétés épaississantes**

Les gommages augmentent la viscosité d'un liquide sans le rendre solide. Cette propriété dépend de la viscosité en solution, qui influence la texture et le goût. Le choix d'une gomme adaptée repose sur sa gamme de viscosité. Contrairement à la gélification, l'épaississement ne crée pas de fortes liaisons internes entre les molécules.

- **Propriétés stabilisantes**

Les gommages stabilisent les dispersions (solides, liquides ou gaz) dans l'eau en augmentant la viscosité de la phase aqueuse, ce qui empêche la séparation des phases. Bien qu'elles ne soient pas de vrais émulsifiants (car elles ne forment pas de liaisons hydrophiles-lipophiles), elles améliorent la stabilité des émulsions en renforçant la viscosité et en formant des gels. Leur efficacité dépend de leur structure et de leurs propriétés rhéologiques.

3.3 Plan de mélange

3.3.1 Définition :

Les plans de mélange sont de plan d'expériences utilisés pour étudier des produits composés de plusieurs constituants. Pour analyser l'impact d'un constituant sur un mélange, il est nécessaire de modifier sa concentration et d'étudier l'évolution des propriétés du mélange en fonction du temps. (Picaud 2001)

Les plans mélanges sont utilisés pour étudier les propriétés d'un mélange en fonction de sa composition. Ils permettent d'analyser la réponse d'un système en fonction des concentrations relatives des différents composants. (J. BARON et J. P OLIVIER, 1996.)

Les facteurs ne sont pas indépendants et sont contraints, la somme des fractions molaires d'un mélange doit être égale à 1. (DAAS M S ; 2020)

Ces plans peuvent se définir très facilement par une contrainte fonctionnelle irréductible : les facteurs étant des proportions (ou des pourcentages) d'ingrédients du mélange (ou de la formulation) étudié(e), la somme de ces proportions vaut 1 (ou 100). [GAUCHI J-P ; 2016].

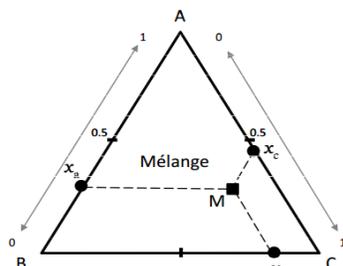


Figure 10 : valeurs des composants dans un plan de mélange (DAAS M S,2020)

3.3.2 Les avantages de plan de mélange :

Le plan de mélange permet d'obtenir un maximum d'informations avec un minimum d'essais en faisant varier les paramètres en même temps, ce qui présente plusieurs avantages : (Picaud 2001)

- Diminution du nombre d'essais.
- Connaissance des effets des paramètres, déduction des paramètres influents.
- Possibilité d'évaluer les effets des interactions entre les paramètres.
- Meilleure précision des résultats.
- Modélisation mathématique de l'expérience

3.3.3 Différents types de plans mélange

En fonction des contraintes qui définissent les quantités minimales et maximales de chaque composant d'un mélange, nous pouvons identifier quatre types de mélanges distincts :

a) Plans de mélange en réseau

Un Plan de Mélange en Réseau (q, m) pour q composants est constitué de points définis par les paramètres de coordonnées suivants : les proportions assumées par chaque composant prennent les m + 1 valeurs également espacées de 0 à 1.

$$0 \leq X_i \leq 1$$

$x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1$ pour $i = 1, 2, \dots, q$ et toutes les combinaisons possibles (mélanges) des proportions de cette équation sont utilisées. À l'exception du centre, tous les points du plan se trouvent sur les limites du simplexe.

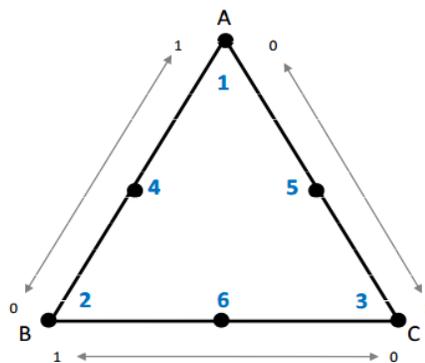


Figure 11 : plan de mélange en réseau
(allalata, 2023)

L'augmentation du plan de mélange en réseau revient à ajouter des points intérieurs ; des points de mélange de contrôle et un point central. Les points de mélange de contrôle sont à mi-chemin entre le point central et chaque sommet du simplexe. La figure 12 montre un

plan de mélange en réseau (3, 2) augmenté de 4 points (un point central + trois points de mélange de contrôle).

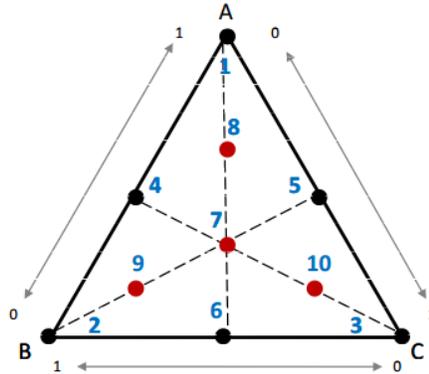


Figure 12 : plan de mélange en réseau augmenté (allalata,2023)

b) Plans de mélange centrés

Un deuxième type de plan de mélange est le plan de mélange centré. Dans le plan de mélange centré à q composants, le nombre de points distincts est $2q-1$ points ou mélanges, ces points sont organisés de la manière suivante :

- q composants : q permutations de $(1,0,0, 0, \dots, 0)$.
- Mélanges binaires à proportions égales ($\square 2$) permutations de $(1/2, 1/2, 0, 0, \dots, 0)$.
- Mélanges ternaires à proportions égales ($\square 3$) permutations de $(1/3, 1/3, 1/3, 0, \dots, 0)$.
-
- Un mélanges q -aire avec des proportions égales $(1/q, 1/q, 1/q, \dots, 1/q)$.

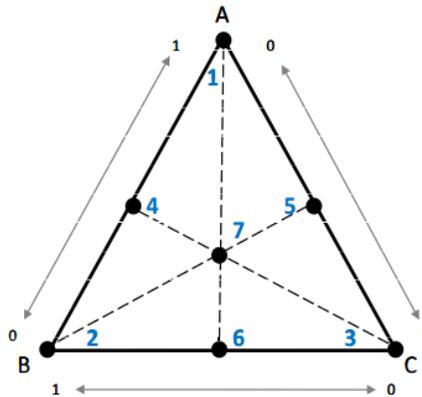


Figure 13 : plan de mélange centré à 3 composants (allalata,2023)

Les plans de mélange centrés peuvent être augmentés en ajoutant des points intérieurs ; ces points sont à mi-chemin entre le point central et chaque sommet. La figure 14 montre un plan de mélange centré à 3 composants augmenté avec les 3 points.

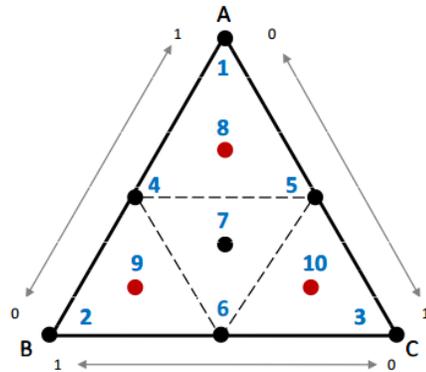


Figure 14 : plan de mélange centré à 3 composants (augmenté) (allalata,2023)

c) Plans de mélange contraints (Sommets extrêmes)

Les plans de sommets extrêmes sont des plans de mélange qui couvrent uniquement une sous-partie ou un espace plus petit dans le simplexe. Ces plans doivent être utilisés lorsque l'espace du plan choisi n'est pas lui-même un plan simplexe. La présence de contraintes de limite inférieure et supérieure sur les composants crée souvent cette condition.

L'objectif d'un plan de sommets extrêmes est de choisir des points du plan qui couvrent de manière adéquate l'espace du plan. La figure 15 montre les sommets extrêmes d'un plan à trois composants avec des contraintes supérieures et inférieures :

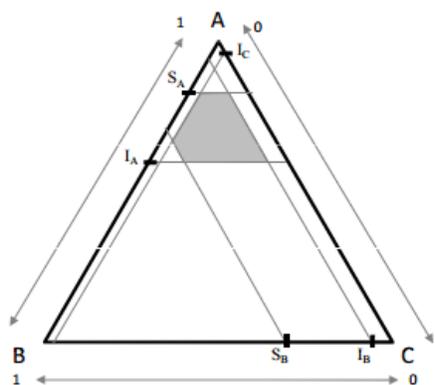


Figure 15 : limites inférieures et supérieures dans un plan de mélange contraint (allalata,2023)

Le plan de mélange est une technique largement utilisée en formulation de produits alimentaires afin d'améliorer les qualités nutritionnelles et sensorielles des aliments.

Masmoudi et al. (2020) ont développé une formulation de muffins sans gluten en remplaçant la farine de blé par de la farine de glands de chêne-liège (**Quercus suber L.**). L'objectif de cette étude était d'optimiser la formulation des muffins en utilisant des hydrocolloïdes (xanthane, carboxyméthylcellulose et κ -carraghénane) pour améliorer leurs propriétés texturales et physiques. Après une optimisation par un plan de mélange, la meilleure formulation contenait **20,5 % de xanthane et 79,5% de carboxyméthylcellulose**, ce qui a permis d'obtenir des muffins avec une hauteur améliorée (3,92 cm) et une texture plus équilibrée. L'étude a montré que ces additifs avaient un effet synergique sur la structure des muffins et contribuaient à améliorer leur volume et leur fermeté, offrant ainsi une alternative intéressante aux produits sans gluten classiques (**Masmoudi et al. ;2020**).

Par ailleurs, **Moss et al. (2022)** ont opté pour une formulation de muffins sans gluten et à faible teneur en glucides en remplaçant entièrement le saccharose par de l'allulose ou du tagatose. L'objectif de cette étude était d'optimiser les ingrédients de substitution de la farine afin d'améliorer la teneur en protéines et en fibres des muffins tout en réduisant leur charge glycémique. Après une optimisation par un plan de mélange Simplex-Centroid, les formulations optimales contenaient des mélanges de **29.38 % farine d'amande, 17.53 % de concentré de protéines de lactosérum et 53.09 % d'un mélange de fibres d'avoine et de maltodextrine résistante**. Les résultats ont montré que les muffins obtenus avaient des propriétés texturales et sensorielles comparables aux muffins sucrés classiques, bien que la croûte des versions à base d'allulose ou de tagatose ait présenté une coloration plus foncée. L'évaluation des consommateurs a révélé que l'acceptabilité globale des muffins avec des sucres rares était favorable et que l'intention d'achat après avoir pris connaissance des informations nutritionnelles était similaire à celle des muffins témoins au saccharose (**Moss et al.; 2022**).

Enfin, **Gomes et al. (2022)**, pour obtenir des muffins sans gluten, ont remplacé partiellement la farine de blé par de la farine de pois verts et de la farine de blé complet. L'objectif de cette étude était d'améliorer la valeur nutritionnelle des muffins en augmentant leur teneur en protéines et en acides aminés essentiels. Après optimisation par un plan de mélange Simplex-Centroid, la formulation optimale retenue contenait **80 % de farine de blé, 10 % de farine de pois verts et 10 % de farine de blé complet**. Les résultats ont montré que cette combinaison offrait une bonne acceptabilité sensorielle, une texture équilibrée et une couleur de croûte plus lumineuse. De plus, l'incorporation de la farine de pois verts a permis d'enrichir le produit en protéines, tout en conservant des caractéristiques physiques et sensorielles satisfaisantes (**Gomez et al. ;2022**).

Partie 02 : Matériel et méthodes

Cette partie présente la démarche expérimentale adoptée pour la préparation de muffins enrichis en poudre de citrouille, en utilisant un plan de mélange contraint basé sur trois ingrédients : la farine de blé, la poudre de citrouille et la gomme de guar. Cinq formulations ont été élaborées, puis analysées sur les plans physico-chimique, microbiologique et sensoriel afin de déterminer la meilleure combinaison en termes de qualité et d'acceptabilité.

La gomme de guar est un polysaccharide naturel extrait des graines de la plante *Cyamopsis tetragonoloba*, largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire comme agent épaississant, stabilisant et texturant. Dans cette étude, elle a été utilisée pour améliorer la texture et la cohésion de la pâte à muffins.

La gomme de guar se présente sous forme de poudre blanche, inodore et neutre au goût, avec une excellente capacité à absorber l'eau et à former des gels visqueux, même à faible concentration. Sa solubilité rapide dans l'eau froide permet une dispersion homogène dans la pâte, ce qui contribue à retenir l'humidité, améliorer le moelleux, et limiter la synerèse lors de la cuisson.

Dans le cadre de cette formulation, la gomme de guar joue un rôle clé en synergie avec la poudre de citrouille pour assurer une bonne stabilité structurelle des muffins, notamment dans les formulations pauvres en gluten.

1 Préparation de la poudre de citrouille

1.1 Sélection et nettoyage

Nous avons sélectionné des fruits frais et mûres et les lavées avec l'eau

1.2 Epluchage et découpage

On a pelé les citrouilles avec un couteau puis coupées en petits morceaux d'épaisseur de 0.5 cm pour faciliter le séchage

1.3 Séchage

Les morceaux de citrouille ont été disposés sur des plateaux puis séchés dans le séchoir de laboratoire à 50 C° pendant 24 h jusqu'à l'obtention d'une texture sèche et cassante.

1.4 Broyage

Une fois bien séchés, les morceaux ont été broyés à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

2 Préparation des muffins

La préparation des muffins a été réalisée en suivant un plan de mélange contraint à trois facteurs, à savoir

A : farine (%)

B : poudre de citrouille (%)

C : la gomme de guar (%)

Cinq formulations différentes ont été générées selon ce plan afin d'évaluer l'effet des proportions de ces trois ingrédients sur les propriétés des muffins. Les proportions utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 4 : répartition des composants des cinq formulations

| Formulation | Farine (%) | Poudre de citrouille (%) | Gomme de guar (%) |
|-------------|------------|--------------------------|-------------------|
| 1V | 90 | 9,7 | 0.30 |
| 2V | 84,70 | 15 | 0.30 |
| 3V | 90 | 9,2 | 0.80 |
| 4V | 84,2 | 15 | 0.80 |
| 5 C(2) | 87,23 | 12,23 | 0.55 |

Chaque formulation a été utilisée pour préparer un lot de muffins selon une procédure standardisée comme ci-dessous, en gardant constants les autres ingrédients (œufs, lait, huile, levure, arôme)



Figure 16 : préparation de mélange liquide



Figure 17 : l'ajoute de reste d'ingrédients



Figure 18 : mise en moule



Figure 19 : mélange d'ingrédients



Figure 20 : produit fini

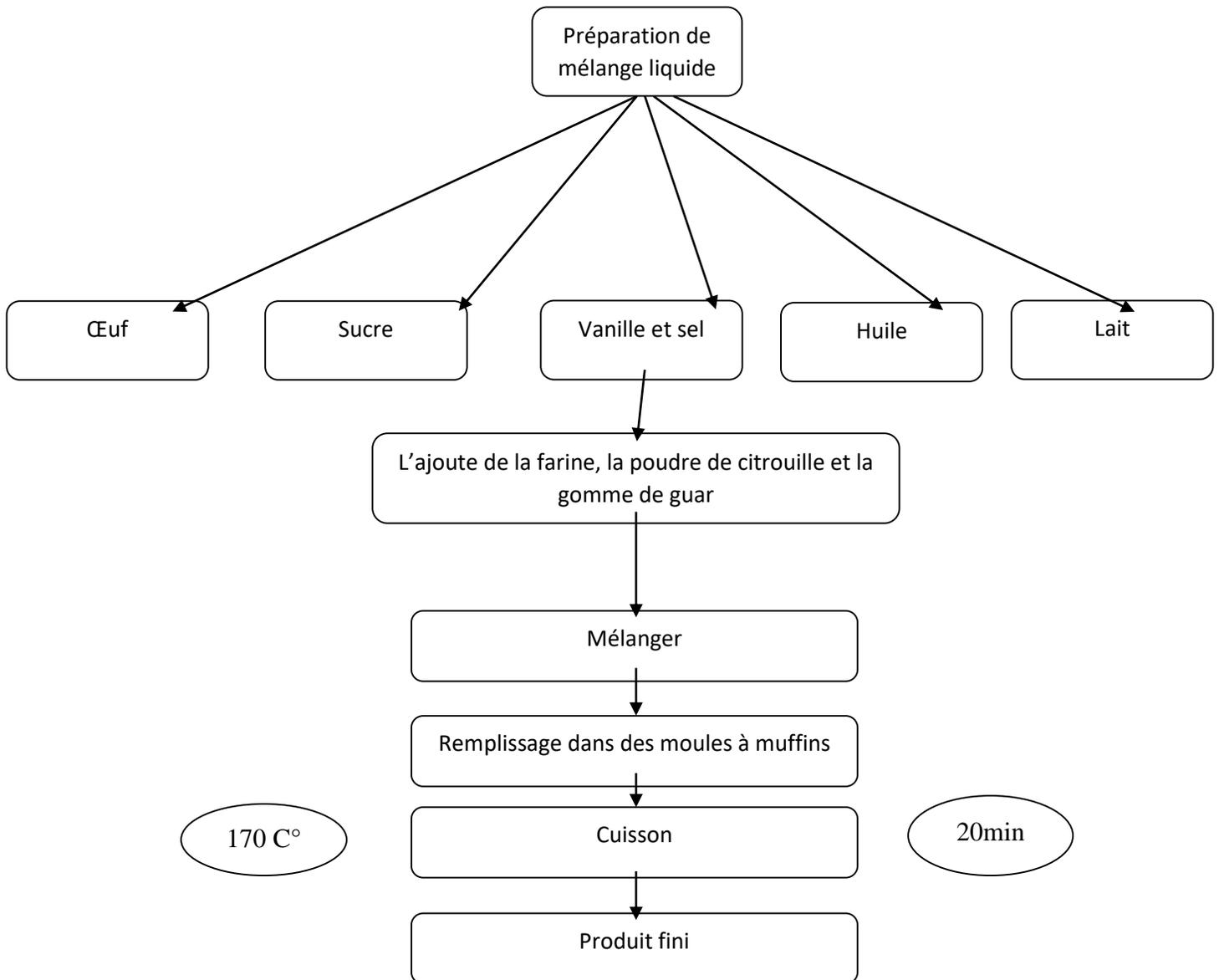


Figure 21 : les étapes de fabrication des muffins

3 Analyses physico-chimiques

3.1 Détermination de la teneur en eau

3.1.1 Principe

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids de même matériau sec. Elle a été déterminée par la perte de poids en masse des échantillons après l'étuvage sous une pression atmosphérique à $T = 130^{\circ}\text{C}$. (ISO 712 :2009)

3.1.2 Mode opératoire

3.1.2.1 Préparation des capsules

Avant utilisation, les capsules découvertes et leurs couvercles doivent être sécher à l'étuve durant 15 min à 130°C , refroidir dans le dessiccateur

3.1.2.2 Préparation de l'échantillon pour essai

Peser rapidement une quantité de muffin d'environ 5 g dans la capsule tarée, couvercle

3.1.2.3 Déshydratation

Introduire la capsule découverte contenant la prise d'essai et son couvercle dans l'étuve et les y laisser séjourner pendant 2 heures, temps compté à partir du moment où la température de l'étuve est à nouveau comprise entre 130°C et 133°C .

Le temps d'étuvage écoulé, retirer rapidement la capsule de l'étuve et la placer dans le dessiccateur où elle restera jusqu'à atteindre la température du laboratoire (en général entre 30 et 45 min). La peser ensuite.

3.1.3 Expression des résultats

$$[(M_1 - M_2) / (M_1 - M_0)] * 100$$

Dont :

- M_0 : est la masse, en grammes, de la capsule
- M_1 : est la masse, en grammes, de la capsule et de la prise d'essai avant séchage
- M_2 : est la masse, en grammes, de la capsule et de la prise d'essai après séchage

3.2 Taux de cendre

3.2.1 Principe

L'échantillon est calciné à 550°C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant pour assurer la combustion intégrale de la matière organique. (Protocol RAGT Energie MON-ANA-19 Norme ISO 18122)

3.2.2 Mode opératoire

3.2.2.1 Préparation des nacelles :

- Nettoyer les nacelles à la température d'incinération

- Dans le four à moufle à 550°C pendant 5 min puis refroidir dans un dessiccateur puis pesée.

3.2.2.2 Préparation de l'échantillon pour essai :

- Peser 5g de l'échantillon.

3.2.2.3 Pré incinération :

- Ajouter quelque goutte d'éthanol ou Alcool sur chaque nacelle.
- Mettre les nacelles dans le four a moufle.
- Laisser le four monter en température 550 °C.

3.2.2.4 Incinération

- Fermer le four à une température de 550°C pendant 1heure.
- Refroidir les nacelles dans un dessiccateur
- Pesée à l'aide d'une balance le résidu.

3.2.3 Expression des résultats

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière humide exprimée en pourcentage est donné par l'équation suivante :

$$TC = [(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)]$$

Dont :

- M_0 : est la masse, en grammes, de la nacelle
- M_1 : est la masse, en grammes de la nacelle et de la prise d'essai avant séchage.
- M_2 : est la masse, en grammes, de la nacelle et de la prise d'essai après séchage.

3.3 Dosage de protéine

3.3.1 Principe

La teneur en protéines totales Est calculée après dosage de l' azote par la méthode de Kjeldahl décrite par la norme AFNOR NF V03-050 de septembre 1970 (AFNOR, 1991).

Le principe de la méthode consiste en une minéralisation avec l' acide sulfurique (d=1.83) à chaud en présence d' un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation de l'ammoniac libéré et titrage. Les prises d' essai ont été fixées de façon à ce qu' elles renferment entre 0.005 g et 0.2 g d' azote et de préférence une quantité supérieure à 0.02 g. (DERDEGA, MAMMOUN, 2020)

3.3.2 Minéralisation

La matière organique est détruite par l'acide sulfurique (d = 1,84) qui se combine avec ammonium est libéré (Chang, 1998).

Matière organique + H₂SO₄ (NH₄)₂SO₄ + CO₂ + SO₂ + H₂O

3.3.3 Distillation

L' ammoniac est déplacé de son sel par de la lessive de soude :



L' ammoniac libéré est déplacé par les vapeurs d' eau de la distillation. Le distillat est récupéré dans un volume connu d' acide borique (4 %).

3.3.4 Titration

L' ammoniac récupéré sous forme de borate d' ammonium est titré par de l' acide sulfurique 0,01 N en présence de l' indicateur coloré. Ce dernier est un mélange de bleu de méthylène et de rouge de méthyle. La titration s' achève au virage du milieu du vert au violet.

La teneur en azote totale A pour 100 g de produit humide est calculée selon la formule suivante

$$A = (N \times D \times V \times 14 / 1000 \times m_0)$$

- ❖ A : la teneur en azote totale exprimée en grammes pour 100 g de produit humide;
- ❖ N : Normalité de l'acide titrant (acide sulfurique);
- ❖ D : coefficient de la dilution de l'échantillon;
- ❖ V : volume en ml de l'acide sulfurique;
- ❖ 14 : masse atomique de l'azote.
- ❖ m_0 : la masse de la prise d'essai.

Le coefficient de conversion de l'azote en protéines totales est de 6.25 pour la farine

3.4 Taux de matière grasse :

3.4.1 Principe

Extraction de la matière grasse par la méthode de soxhlet

L'extraction au soxhlet consiste à placer un échantillon préalablement séché à l'intérieur d'une cartouche en cellulose puis dans l'extracteur, qui est relié à une fiole contenant un solvant et un condenseur. **(R. Espinar, SL, Raypa 2019).**

- Séché un échantillon de la pâte à tartiner dans l'étuve
- Pesé le ballon vide
- Pesé 5g de l'échantillon séché et placer dans la cartouche de cellulose
- Placer la cartouche dans l'extracteur

- Remplir le ballon avec quantité suffisante de solvant éther de pétrole et chauffé jusqu'à l'ébullition à 40-60 °C à l'aide d'un chauffe ballon
- Celui-ci passe par la première tubulure est condensé par le réfrigérant
- Il tombe alors dans l'extracteur contenant la cartouche et solubilise la matière grasse de la pâte
- L'extracteur se remplit jusqu'à la deuxième tubulaire et se vidange automatiquement c'est le premier siphonage
- Après six siphonages on a obtenu dans le ballon le solvant et la matière grasses
- Après placer le ballon dans le rota vapeur pour éliminer le solvant et séché pondant 10 min dans l'étuve
- Pesé le ballon contient la matière grasse

3.4.2 Expression des résultats :

$$MG \% = (B_2 - B_1/PE) * 100$$

MG : la matière grasse.

B1 : poids de ballon vide.

B2 : poids de ballon et la matière grasse.

PE : prise d'essai.

4 Analyses microbiologiques

4.1 Préparation de la suspension mère :

- Verser le flacon de 225 ml de TSE dans le sachet stérile contenant 25 g de l'échantillon 3 de muffin
- Broyage de muffin 6 à 8 minutes
- Verser le contenu dans le même flacon pour obtenir une suspension mère au 1/10

4.2 Préparation des dilutions décimales : (ISO 6887-4)

- Transférer aseptiquement 1ml du SM A l'aide d'une pipette Pasteur flambée vers un tube à essai contient 9ml de TSE et mélanger, on obtenu la dilution au 10^{-1} .
- Puis, transférer 1ml de dilution 10^{-1} avec une pipette Pasteur a un autre tube à essai contient 9ml de TSE, et mélanger, pour avoir la dilution 10^{-2} .
- A partir de dilution 10^{-2} en prépare la dilution 10^{-3} en suivant les mêmes étapes précédentes.

Expression des résultats

$$N = \text{la somme de } C / (n_1 + 0.1 n_2) d$$

La somme des colonies

C : nombre de colonies comptés

n_1 : nombre de boîte utilisé pour la première dilution

n_2 : nombre de boîte utilisé pour la deuxième dilution

d : facteur de dilution

4.3 Les germes recherchés :

Tableau 5 : les germes recherchés

| Catégories des denrées alimentaires | Micro-organismes/métabolites | Méthodes d'analyses | Plan d'échantillonnage | | Limites Microbiologiques (ufc/g) | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------|---|----------------------------------|-----------------|
| | | | | | | |
| Produits de biscuiterie | Germes aérobies à 30 C ⁰ | JORA n°39 02-07-2017 (art 04-10-2016) (Annexe 7) | 5 | 2 | 10 ³ | 10 ⁴ |
| | Escherichia coli | JORA n°39 02-07-2017 (art 04-10-2016) (Annexe 7) | 5 | 2 | 3 | 30 |
| | moisissures | JORA n°39 02-07-2017 (art 04-10-2016) (Annexe 7) | 5 | 2 | 10 ² | 10 ³ |
| | Staphylocoque à coagulase + | JORA n°39 02-07-2017 (art 04-10-2016) (Annexe 7) | 5 | 2 | 10 ² | 10 ³ |
| | salmonella | JORA n°39 02-07-2017 (art 04-10-2016) (Annexe 7) | 5 | 0 | Absence dans 25 g | |

4.4 Dénombrement des germes

4.4.1 Dénombrement des germes aérobies à 30 C⁰

- Dans une zone stérile, Prélevé 1ml de SM et de chaque dilution puis transférer dans 4 boites de Pétri
- Couler environ 15ml de la gélose PCA
- Homogénéiser se forme de 8.
- Laisser solidifier
- Ensuite, incuber les boites de Pétri, dans l'étuve à 30°C pendant 48h (la 1^{ère} lecture) et 72h (la 2^{ème} lecture).

4.4.2 Dénombrement d'Echerichia Coli

- Dans une zone stérile, transférer 1ml de SM et de chaque dilution dans 4 boites de Pétri en changeant à chaque prélèvement la pipette.
- Couler environ 15ml de la gélose VRBL
- Homogénéiser se forme de 8.
- Laisser solidifier
- Ensuite, incuber les boites de Pétri, couvercle en bas, dans l'étuve à 45°C pendant 48h

4.4.3 Dénombrement des moisissures

- Dans une zone stérile, préparer 4 boites de pétrie coulées avec la gélose (OGA + ATB oxytétracycline).
- S'il y a des gouttelettes d'eau au couvercle des boites
- Transférer 0,1ml (4 gouttes) de SM et de chaque dilution dans les 4 boites de Pétri en changeant à chaque prélèvement la pipette.
- Etaler le liquide sur la surface de gélose avec pipette pasteur
- Ensuite, incuber les boites de Pétri, couvercle en haut, dans l'étuve à 25°C pendant 5 à 7 jours.

4.4.4 Dénombrement des staphylocoques à coagulase +

4.4.4.1 Préparation d'émulsion de jaune d'œuf :

- Désinfecter l'œuf et le mettre le jaune d'œuf dans un flacon stérile et ajouter le de l'eau distillée 4 fois le leur volume.
- Homogénéiser bien le mélange
- Incuber le flacon à 47°C pendant 2h

- Après l'incubation, refroidir le mélange en mettant le flacon dans le réfrigérateur, jusqu'à l'observation de déphasage en 2 phases.

NB : la conservation de l'émulsion préparée ne dépasse pas 72h.

4.4.4.2 Préparation de milieux de culture :

- Dans 100ml de Baird Parker, ajouter 5ml émulsion de jaune d'œuf + 1ml de solution de Telluride de potassium.
- Couler le milieu de culture dans les boîtes de pétri vides.

4.4.4.3 Ensemencement des dilutions décimales :

- Ensemencer en surface dans des différentes boîtes colées de BP 0,1ml (4 gouttes) de suspension mère et de chaque dilution.
- Etaler le liquide sur la surface de gélose.
- Ensuite, incuber les boîtes de Pétri, couvercle en haut, dans l'étuve à 37°C pendant 24 à 48h.

4.4.5 Dénombrement de salmonelle

La recherche de salmonelles dans les aliments passe par les étapes suivantes :

4.4.5.1 Pré-enrichissement

10g de biscuit sont introduites dans un flacon de 100 ml D'EPT (eau peptone tamponnée) qui sera incubé pendant 18 à 24h à 37°C.

4.4.5.2 Enrichissement sélectif

Enrichissement : Consiste à ensemencer 0,1mL de pré enrichissement dans tube De 10mL de bouillon de Rappaport-vassiliadis qui sera incubé à 42°C pendant 24h.

4.4.5.3 Isolement

Après incubation, plonger une pipette Pasteur stérile dans le milieu D'enrichissement préparé et la porter sur gélose Hektoen, incuber à 37°C pendant 24h.

5 Analyses sensorielle

Selon la norme française **NF ISO 5492,(1992)** pour l'analyse sensorielle , on définit une analyse sensorielle comme étant « un examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes de sens

Cette partie a été effectuée au niveau de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées « **ISTA-Blida** » par les étudiants de l'ISTA.

L'analyse sensorielle a porté sur huit paramètres paramètre (couleur, forme, croûte, moelleux, goût, arrière-goût, saveur et odeur) notés sur 5. Les dégustateurs ont évalué cinq échantillons de muffins formulés avec des proportions variables de poudre de citrouille, farine et gomme de guar

Premièrement, en commençant par la préparation des cinq échantillons de muffins et la salle de dégustations.

Ensuite, la distribution des fiches de dégustation (Annexe 01) sur les tables en accompagnant avec une pièce de chaque échantillon.

Les gens ont dégusté les échantillons, rempli la fiche et les évalués.

Partie 03 : résultats et discussions

I. Analyses physico-chimiques

Tableau 6 : résultats d'analyse physico-chimiques

| Essai | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Normes |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------------|
| Humidité (%) | 19.412 | 18.91 | 18.44 | 17.39 | 15.81 | ≤ 20 % (NFV03-707 / ISO 712) |
| Taux de cendres (%) | 0.30128 | 0.30892 | 0.30558 | 0.31084 | 0.32118 | ≤ 2 % (ISO 2171) |
| Taux de matière grasse (%) | 16.72 | 19.688 | 19.712 | 18.944 | 18.07 | 10 - 20 % (ISO 11085) |
| Taux de protéines (%) | 4.23 | 3.48 | 5.69 | 3.96 | 4.98 | 4 – 8 (ISO 1871) |

Interprétation

1 Teneur en eau

L'analyse physico-chimique des muffins a montré que la teneur en humidité variait entre 15,81 % et 19,41 %, des valeurs inférieures à la limite réglementaire de 20 % fixée pour les produits de pâtisserie moelleux (NFV03-707 / ISO 712). Ce faible taux favorise une texture tendre, tout en limitant le développement microbien, ce qui prolonge la durée de conservation. Des résultats similaires ont été rapportés par Gomes et al. (2022) dans des muffins enrichis en farine de pois, et par Masmoudi et al. (2020) dans des formulations sans gluten, où une bonne humidité était obtenue grâce à l'utilisation de fibres et d'hydrocolloïdes.

2 Taux de cendres

Concernant le taux de cendres, les valeurs se situaient autour de 0,30 %, très de la limite de 2 % (ISO 2171), indiquant une faible teneur minérale due aux ingrédients de base (farine de blé, citrouille, gomme de guar), un résultat comparable à ceux obtenus par Moss et al. (2022) dans des muffins à faible teneur en sucres.

3 Matières grasses

La matière grasse était comprise entre 16,72 % et 19,71 %, se situant dans la norme recommandée (10–20 %, ISO 11085). Ces résultats suggèrent une bonne rétention lipidique favorisée par la structure fibreuse de la poudre de citrouille et l'effet gélifiant de la gomme de guar, comme démontré par Slavin (2013) et confirmé par Moss et al. (2022).

4 Taux de protéines

Le taux de protéines variait de 3,48 % à 5,69 %, influencé par la proportion de farine de blé, seule source notable de protéines dans la formulation. Plus la farine est dominante, plus la teneur en protéines augmente. Gomes et al. (2022) ont observé la même tendance en incorporant des farines riches en protéines pour renforcer la valeur nutritionnelle.

II. Analyses microbiologiques

Tableau 7 : résultats d'analyse microbiologiques

| germes | Résultats (UFC/g) | Limite microbiologique (UFC/g) |
|---------------|-------------------|--------------------------------|
| GA | 155 | 10^3 - 10^4 |
| E Coli | 6 | 3-30 |
| Staphylocoque | 64 | 10^2 - 10^3 |
| moisissures | 400 | 10^2 - 10^3 |
| Salmonelle | Abs | Abs dans 25 g |

Interprétation

Les résultats microbiologiques ont démontré une conformité globale avec les normes algériennes (JO n°39, 2017).

- 1 Germes aérobies :** Le dénombrement des germes aérobies mésophiles était de 155 UFC/g, largement inférieur au seuil maximal de 10^4 UFC/g, traduisant une bonne hygiène durant la préparation.
- 2 Escherichia coli :** Le taux d'Escherichia coli était de 6 UFC/g, se situant dans l'intervalle acceptable de 3 à 30 UFC/g, ce qui reste tolérable mais suggère une possible contamination fécale à surveiller.
- 3 Staphylocoques à coagulase positive :** Les staphylocoques à coagulase positive étaient présents à 64 UFC/g (limite : 10^2 - 10^3 UFC/g),
- 4 Moisissures :** les moisissures atteignaient 400 UFC/g (limite : 10^2 - 10^3 UFC/g), des valeurs tout à fait normales.
- 5 Salmonella :** L'absence totale de Salmonella dans 25 g d'échantillon est un excellent indicateur de la sécurité sanitaire du produit. Ces observations rejoignent les conclusions de (El-Beltagy et al. 2021).

III. Analyses sensorielle

Tableau 8 : résultats de dégustation

| Paramètre | 1 V (02/05/205) | 2 V (09/05/2025) | 3 V (09/05/2025) | 4 V (09/05/2025) | 5 C (2) (09/05/2025) |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Couleur | 3.5 | 3 | 4 | 3.5 | 4 |
| Forme | 4 | 2.5 | 4.5 | 2.5 | 4.5 |
| Croute | 3 | 3.5 | 3.5 | 3 | 3 |
| Moelleux | 3 | 3 | 4 | 2 | 3.5 |
| Gout | 4.5 | 4 | 5 | 3.5 | 3 |
| Arrière gout | 2.5 | 3 | 3.5 | 2 | 3 |
| Saveur | 4 | 3 | 4.5 | 3.5 | 4 |
| Odeur | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

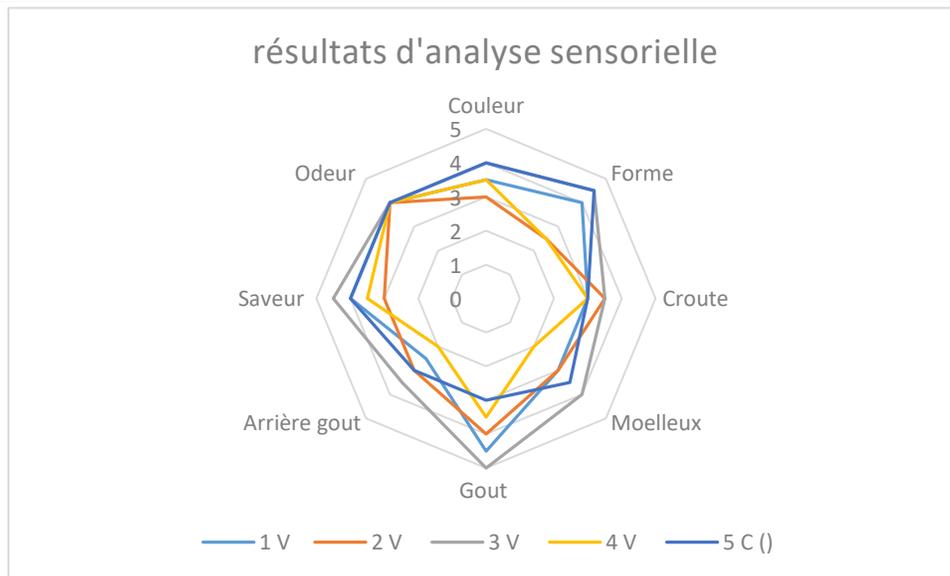


Figure 22 : radar des résultats sensorielles des cinq échantillons

Tableau 9 : appréciation sensorielle de chaque échantillon/20

| Formulation | Farine (%) | Poudre de citrouille (%) | Gomme de guar (%) | Résultats /20 |
|-------------|------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| 1V | 90 | 9,7 | 0.30 | 14.25 |
| 2V | 84,70 | 15 | 0.30 | 13 |
| 3V | 90 | 9,2 | 0.80 | 16.5 |
| 4V | 84,2 | 15 | 0.80 | 12 |

| | | | | |
|--------|-------|-------|------|------|
| 5 C(2) | 87,23 | 12,23 | 0.55 | 14.5 |
|--------|-------|-------|------|------|

Interprétation

L'analyse sensorielle, menée sur cinq formulations, a permis d'identifier la version 3 (90 % farine, 9,2 % citrouille, 0,8 % gomme de guar) comme la plus appréciée avec un score global de 16,5/20. Cet échantillon a obtenu les meilleures notes en termes de goût, de moelleux, de forme et de saveur. La gomme de guar, utilisée à 0,8 %, a visiblement joué un rôle crucial dans la texture moelleuse et homogène, tandis que la poudre de citrouille a apporté une couleur légèrement orangée et un goût subtil, équilibré par la vanille et le lait. Ces résultats confirment ceux de (**Masmoudi et al. 2020**), qui ont montré que l'optimisation de la texture des muffins sans gluten repose fortement sur l'emploi d'hydrocolloïdes. De plus, (**Moss et al. 2022**) ont observé que l'ajout modéré de fibres améliore la qualité sensorielle sans compromettre le goût. Les notes sensorielles globales des autres échantillons montrent que des dosages excessifs ou insuffisants de citrouille ou de gomme peuvent altérer la forme, la texture ou l'arrière-goût. Ainsi, une formulation équilibrée est essentielle pour assurer à la fois une bonne qualité nutritionnelle et une acceptabilité sensorielle élevée. Nos résultats montrent que l'incorporation de poudre de citrouille dans les muffins améliore la texture et la couleur, avec une bonne acceptabilité sensorielle de la formulation optimale. Les études bibliographiques confirment ces résultats, montrant que la poudre de citrouille peut :

- Réduire la fermeté et améliorer l'élasticité (**Ho et al**)
- Améliorer la texture et la hauteur des muffins (**Arifin et al**)
- Améliorer la viscosité et la texture en remplaçant les matières grasses (**Dadkhah et al**)

Ces résultats valident l'impact positif de la poudre de citrouille sur la qualité sensorielle des muffins. La poudre de citrouille semble être un ingrédient prometteur pour améliorer la texture et qualité sensorielle des produits de boulangerie.

IV. Analyse statistique

1 Diagramme triangulaire de l'acceptabilité générale

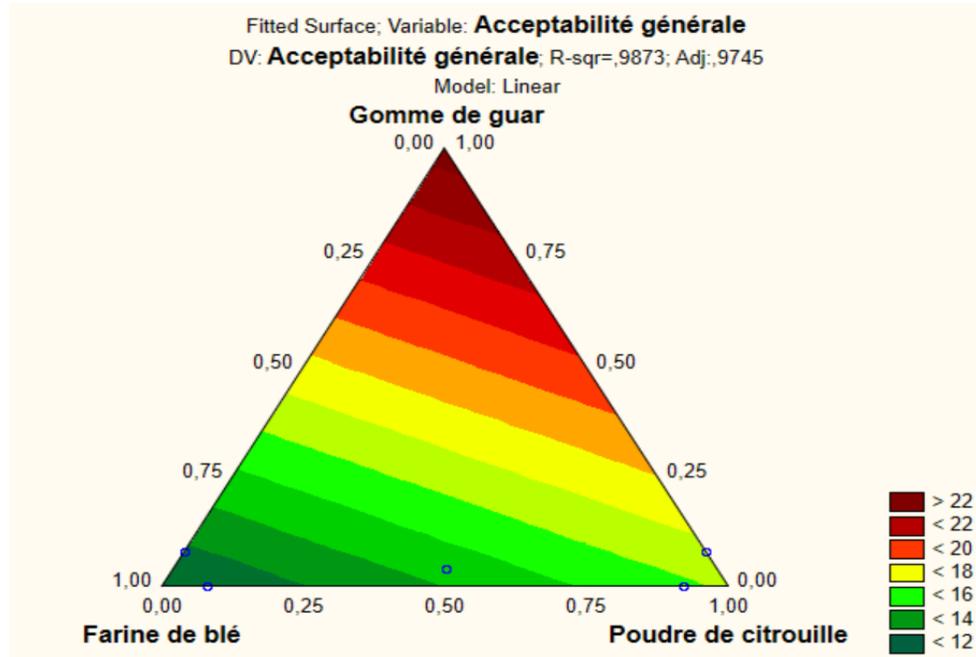


Figure 23 : diagramme triangulaire de l'acceptabilité générale

Interprétation :

Le diagramme ternaire de la surface de réponse de l'acceptabilité générale révèle que les meilleures notes d'acceptabilité (zones rouges, >22) sont atteintes lorsque la proportion de gomme de guar est élevée. À l'inverse, les zones à faible acceptabilité (zones vertes, <14) correspondent à une dominance de la farine de blé. Cela suggère que l'augmentation de la gomme de guar, combinée à une teneur modérée en poudre de citrouille, améliore significativement l'acceptabilité globale. Nos résultats corroborent ceux de Ravindran et al. (2020), qui ont constaté que les formulations riches en gomme de guar présentaient une meilleure texture et cohésion, entraînant une acceptabilité plus élevée.

2 Analyse de la variance (ANOVA) et estimation des coefficient du modèle linéaire pour l'acceptabilité générale

Tableau 10 : tableau d'ANOVA

| ANOVA; Var.: Acceptabilité générale (Spreadsheet40) 3 Factor mixture design; Mixture total=100,, 5 Runs Sequential fit of models of increasing complexity | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Model | SS Effect | df Effect | MS Effect | SS Error | df Error | MS Error | F | p | R-Sqr | R-Sqr Adjusted |
| Linear | 14,51285 | 2 | 7,256423 | 0,187155 | 2 | 0,093577 | 77,54461 | 0,012732 | 0,987268 | 0,974537 |
| Total Adjusted | 14,70000 | 4 | 3,675000 | | | | | | | |

Tableau 11: tableau de coefficient de régression

| Coeffs (recoded comps); Var.: Acceptabilité générale ; R-sqr=,9873; Adj:,9745 (Spreadsheet40) 3 Factor mixture design; Mixture total=100,, 5 Runs DV: Acceptabilité générale ; MS Residual=,0935774 | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------------|----------------|
| Factor | Coeff. | Std.Err. | t(2) | p | -95,% Cnf.Limt | +95,% Cnf.Limt |
| (A)Farine de blé | 11,90679 | 0,268711 | 44,31083 | 0,000509 | 10,75062 | 13,06296 |
| (B)Poudre de citrouille | 16,14225 | 0,268657 | 60,08489 | 0,000277 | 14,98631 | 17,29818 |
| (C)Gomme de guar | 23,47438 | 3,703975 | 6,33762 | 0,024004 | 7,53746 | 39,41130 |

Interprétation :

Les résultats de l'ANOVA et des coefficients du modèle linéaire pour l'acceptabilité générale montrent que le modèle est hautement significatif ($p = 0,0127$, $F = 77,54$) avec un R^2 de 0,9873, indiquant que 98,73 % de la variation de l'acceptabilité est expliquée par les proportions des ingrédients. Les coefficients révèlent que la gomme de guar a l'effet le plus fort (23,47) avec une significativité acceptable ($p = 0,024$), suivie de la poudre de citrouille (coef = 16,14 ; $p = 0,000277$) et de la farine de blé (coef = 11,91 ; $p = 0,000509$). Ces résultats montrent que l'acceptabilité générale est principalement influencée par la gomme de guar et la poudre de citrouille. En comparaison avec l'étude de Yousif et al. (2019), qui a montré un R^2 de 0,94 et des coefficients significatifs mais moins élevés pour la gomme, notre étude révèle un effet beaucoup plus prononcé de la gomme de guar. Cela peut être attribué à sa capacité de rétention d'eau et de liaison dans la matrice, surtout en présence de la poudre de citrouille riche en fibres solubles.

3 Trace plot des composantes

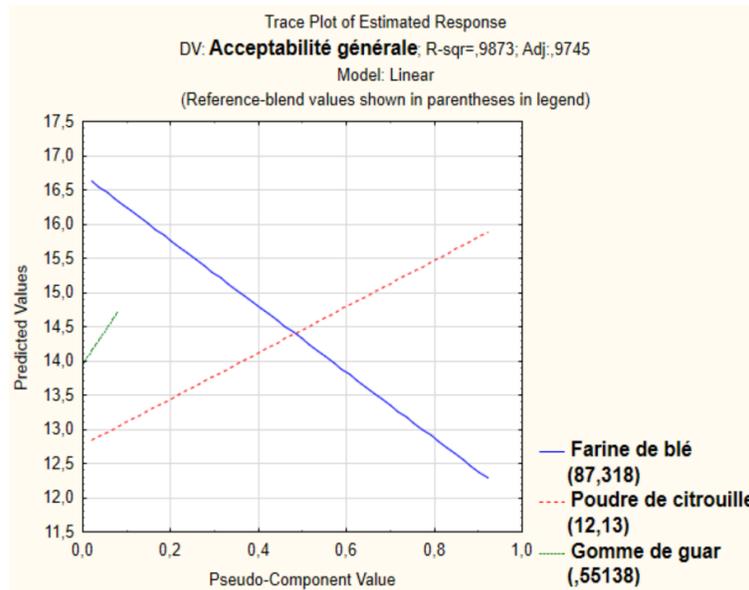


Figure 24 : trace plot des composantes

Interprétation :

La figure ci-dessus illustre l'effet des trois composants sur l'acceptabilité générale du produit, avec un modèle linéaire bien ajusté ($R^2 = 0,9873$; R^2 ajusté = $0,9745$). La farine de blé, représentée par la courbe bleue, montre une baisse significative de l'acceptabilité générale à mesure que sa proportion augmente, probablement due à une texture plus dense ou un goût moins agréable. En revanche, la poudre de citrouille, représentée par la courbe rouge pointillée, présente un effet positif sur l'acceptabilité générale, traduisant une amélioration sensorielle liée à sa saveur sucrée naturelle, sa couleur attrayante et sa richesse en fibres. La gomme de guar, représentée par la courbe verte pointillée, montre un effet légèrement positif, probablement grâce à son rôle dans l'amélioration de la texture et de la stabilité du produit. Ces résultats confirment l'intérêt de substituer partiellement la farine de blé par des ingrédients fonctionnels tels que la poudre de citrouille et la gomme de guar pour optimiser la qualité sensorielle du produit.

Ces résultats rejoignent ceux de (Mamat et al. 2018), qui ont observé une amélioration de l'acceptabilité sensorielle dans des pains enrichis à la poudre de citrouille et aux hydrocolloïdes comme la gomme de guar. Dans leur étude, l'ajout modéré de poudre de citrouille améliorait la couleur, le goût et la texture, tandis qu'une proportion excessive de farine classique réduisait l'acceptabilité à cause d'une texture sèche. Ainsi, nos résultats confirment l'intérêt de substituer partiellement la farine de blé par des ingrédients fonctionnels tels que la poudre de citrouille et la gomme de guar pour optimiser la qualité sensorielle du produit.

4 Profil de désirabilité

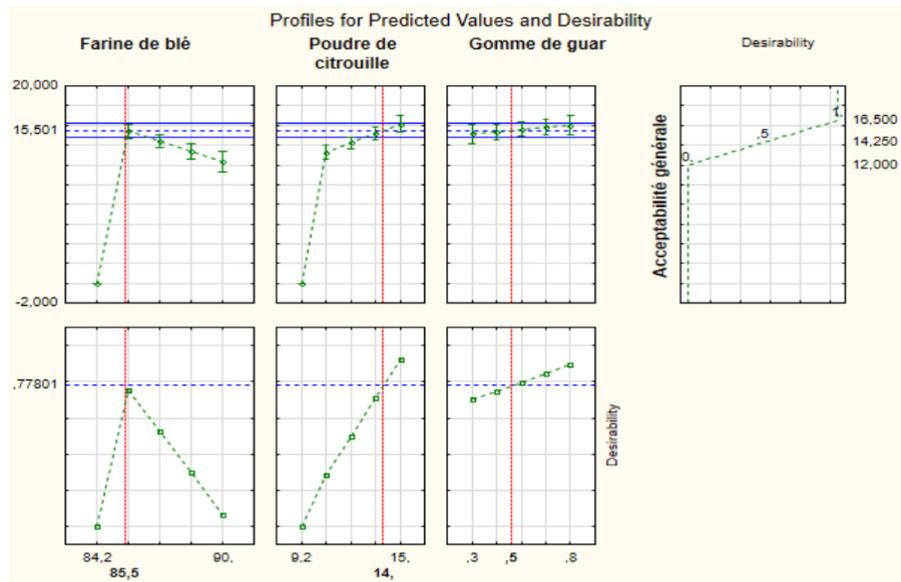


Figure 25 : profil de désirabilité de surface de réponse

Interprétation :

La figure représente les profils de valeurs prédites et de désirabilité en fonction des concentrations de farine de blé, poudre de citrouille et gomme de guar. Les résultats montrent que :

Augmentation de la farine de blé entraîne une diminution de l'acceptabilité générale, La poudre de citrouille influence positivement l'acceptabilité, avec une amélioration significative à partir d'une concentration d'environ 12 %. Et la gomme de guar a un effet modéré mais positif sur l'acceptabilité. La courbe de désirabilité globale atteint son maximum lorsque la poudre de citrouille est élevée, la farine de blé réduite, et la gomme de guar présente en quantité modérée. Ces résultats confirment l'effet bénéfique de la citrouille sur la qualité sensorielle du produit et l'intérêt d'utiliser des agents texturants naturels comme la gomme de guar. Ces observations sont cohérentes avec l'étude de Saraswat et al. (2020), qui ont montré que l'enrichissement de biscuits sans gluten avec de la poudre de citrouille améliorerait l'acceptabilité sensorielle.

5 Diagramme de surface de réponse 3D pour l'acceptabilité générale

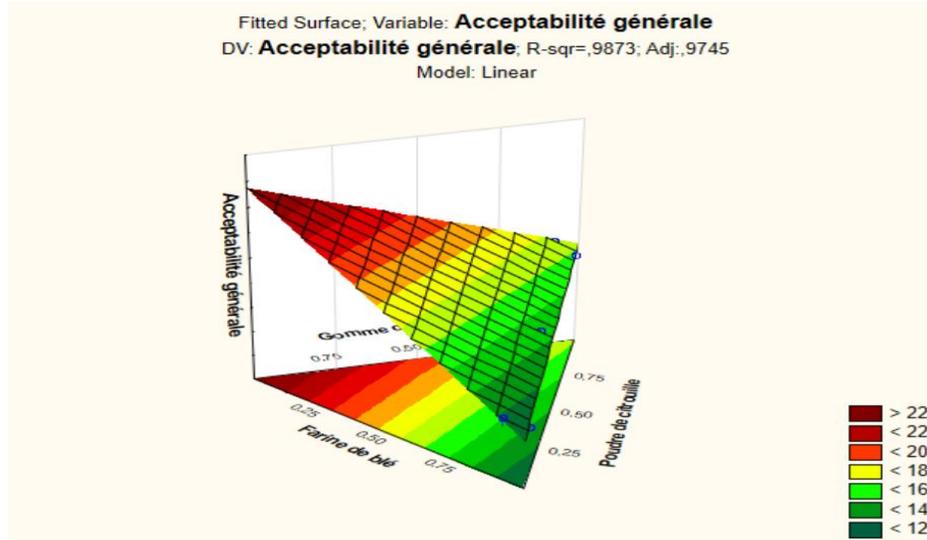


Figure 26 : diagramme de surface de réponse 3D pour l'acceptabilité générale

Interprétation :

La figure tridimensionnelle illustre la surface de réponse de l'acceptabilité générale en fonction des proportions de farine de blé, poudre de citrouille et gomme de guar, avec un modèle linéaire bien ajusté ($R^2 = 0,9873$; R^2 ajusté = 0,9745). Les résultats montrent que :

Les valeurs les plus élevées d'acceptabilité correspondent aux formulations contenant une proportion élevée de poudre de citrouille, une faible quantité de farine de blé, et une quantité modérée de gomme de guar. Les régions à faible acceptabilité correspondent aux formulations dominées par la farine de blé.

Cette représentation confirme l'effet synergique de la poudre de citrouille et de la gomme de guar dans l'amélioration des propriétés sensorielles du produit. Les résultats sont cohérents avec ceux d'Alkarkhi et al. (2010), qui ont constaté qu'une substitution partielle de la farine par des poudres végétales riches en pigments et fibres augmentait significativement l'acceptabilité sensorielle. L'utilisation d'hydrocolloïdes comme la gomme de guar permet également d'améliorer la structure sans altérer la qualité sensorielle. Notre étude confirme donc la pertinence de cette combinaison pour optimiser la formulation de produits à base de céréales fonctionnels et sensoriellement appréciés.

6 Analyse des composants

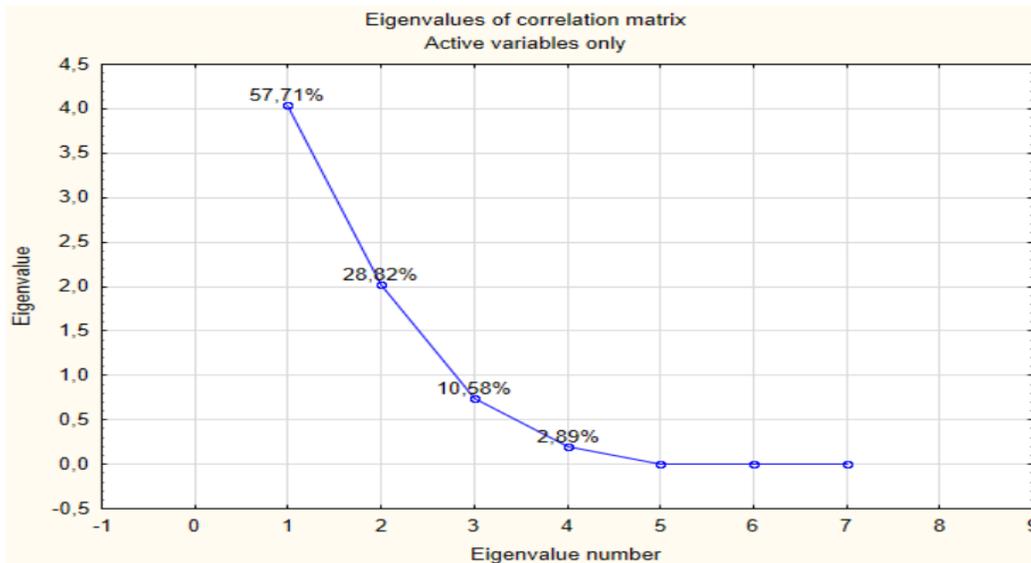


Figure 27 : analyse des composants

Interprétation :

La figure représente un scree plot issu d'une analyse en composantes principales (ACP) montrant la distribution des valeurs propres associées aux variables actives. Les résultats montrent que :

- La première composante principale explique 57,71 % de la variance totale.
- La deuxième composante principale explique 28,82 % de la variance totale.
- La troisième composante principale explique 10,58 % de la variance totale.

Ensemble, les trois premières composantes cumulent 97,11 % de la variance, ce qui indique une très forte capacité de réduction dimensionnelle du jeu de données sans perte significative d'information. Cela suggère que les variables étudiées sont fortement corrélées entre elles et peuvent être représentées efficacement dans un espace à 2 ou 3 dimensions. En comparaison avec l'étude de Bourekoua et al. (2018), nos résultats montrent une structuration encore plus forte des variables, avec une variance expliquée plus élevée. Cela témoigne d'une formulation cohérente et bien maîtrisée, facilitant l'interprétation des axes factoriels et l'identification des contributions dominantes des ingrédients comme la gomme de guar.

7 Cercle des corrélations

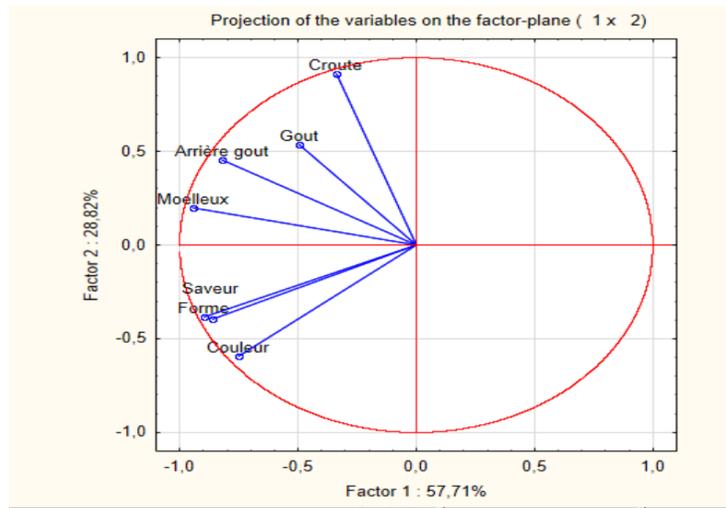


Figure 28 : cercle de corrélation

Interprétation :

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les données sensorielles montre que les variables sont projetées sur le plan factoriel (F1 \times F2), expliquant 86,53 % de la variance totale. Les résultats indiquent que :

- Les descripteurs Croûte, Goût, Moelleux et Arrière-goût sont fortement corrélés au premier axe (F1), ce qui les rend les principales variables discriminantes entre les échantillons.
- Les critères Saveur, Ferme et Couleur influencent davantage le second axe (F2), mais de façon moins marquée.

Cette répartition suggère que les produits se différencient essentiellement par leur texture de croûte, l'intensité du goût et la sensation moelleuse. En comparaison avec l'étude de Dupont et al. (2020) sur des fromages affinés, nos résultats montrent des différences dans les descripteurs les plus discriminants, ce qui met en évidence l'influence du type de produit et des préférences spécifiques des panels sur la hiérarchisation des critères sensoriels.

8 Projection des cas sur le plan factoriel

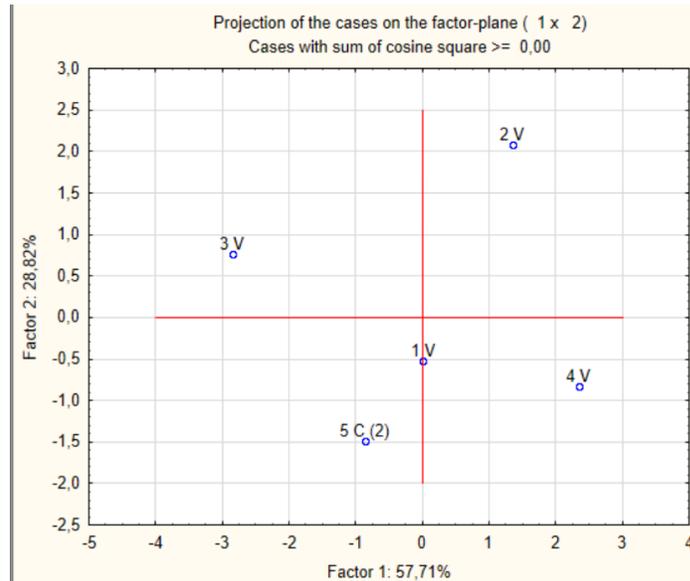


Figure 29 : le plan factoriel

Interprétation :

La figure montre la projection des différentes formulations sur le plan factoriel défini par les deux premières composantes principales issues de l'ACP, qui expliquent respectivement 57,71 % et 28,82 % de la variance, soit un total cumulé de 86,53 % de l'information. Cette forte variance captée indique que le graphique offre une représentation fiable de la dispersion des formulations. Les formulations 2V et 3V se situent en haut du graphique, ce qui traduit un profil distinct basé sur les variables fortement corrélées au second facteur, probablement liées à des attributs sensoriels tels que la texture ou la couleur. En revanche, les échantillons 1V, 4V et 5C(2) se regroupent davantage dans la partie inférieure, suggérant une proximité en termes de composition et de perception. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Meziani et al. (2021), qui ont montré que l'ACP est un outil efficace pour mettre en évidence les différences sensorielles ou physico-chimiques entre des formulations complexes.

9 Le dendrogramme

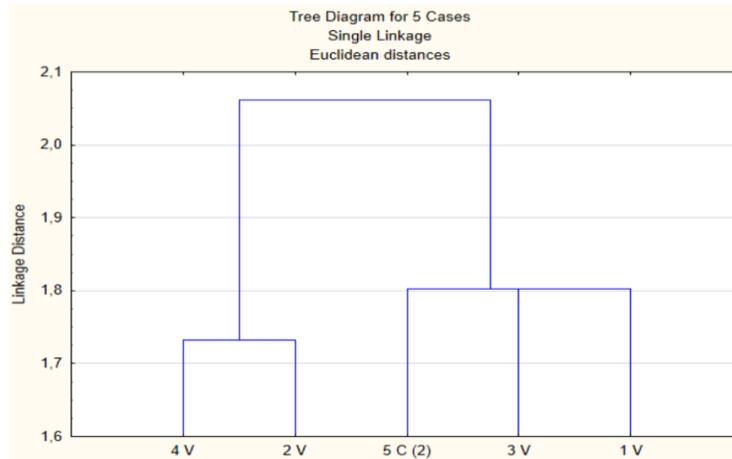


Figure 30 : le dendrogramme

Interprétation :

La figure représente un dendrogramme obtenu par classification hiérarchique ascendante (CHA) utilisant la méthode du lien simple et la distance euclidienne pour mesurer la similarité entre les cinq formulations testées. Les résultats montrent que :

- Les échantillons 4V et 2V sont les plus proches, avec une distance de liaison d'environ 1,65, indiquant des caractéristiques sensorielles ou physico-chimiques très similaires.
- L'échantillon 1V est le plus éloigné des autres, suggérant une formulation unique ou un profil sensoriel distinct.
- Les échantillons 3V et 5C(2) forment un sous-groupe relativement proche.

Cette structure hiérarchique permet d'identifier des tendances naturelles dans les données et confirme la cohérence de certaines combinaisons d'ingrédients. Les résultats sont cohérents avec ceux de Djermoun et al. (2020), qui ont utilisé un dendrogramme similaire pour classer des pains à base de farines composites selon leur profil sensoriel, et ont montré que les échantillons riches en additifs texturants se regroupaient ensemble. Cela valide la pertinence de la CHA pour distinguer efficacement les formulations selon leurs caractéristiques multidimensionnelles.

10 Analyse ACP des analyses physicochimiques

10.1 Analyse des composants

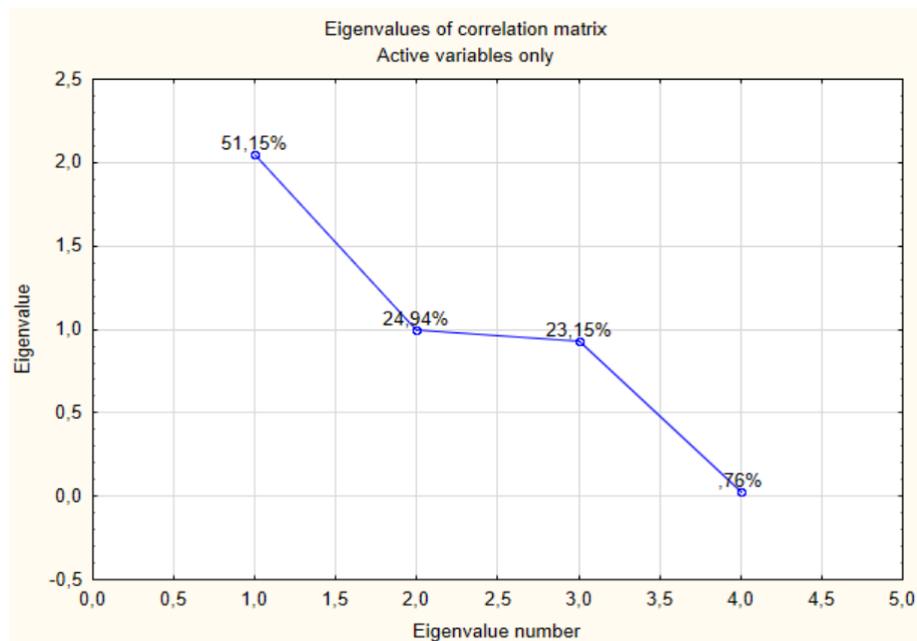


Figure 31 : analyse des composants des analyses physico-chimiques

Interprétation :

Les deux premières composantes (F1 et F2) représentent 76,09 % de l'information totale, permettant ainsi une visualisation et une interprétation fiables de la majorité des variations observées dans les échantillons. La troisième composante (F3) contribue à hauteur de 23,15 % à l'explication de la variance, ce qui peut s'avérer utile pour une analyse plus approfondie. En revanche, la quatrième composante (F4) n'explique que 0,76 % de la variance totale, ce qui la rend négligeable pour l'analyse.

10.2 Cercle des corrélations

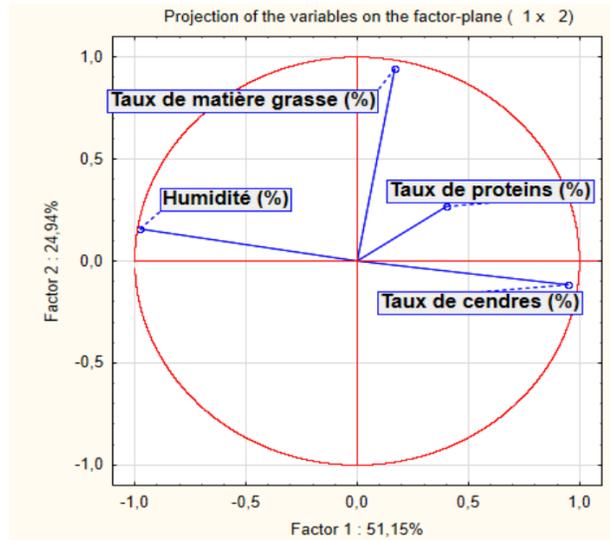


Figure 32 : cercle de corrélations de analyses physico-chimiques

Interprétation :

- Le taux de cendres (%) et le taux de protéines (%) sont fortement corrélés positivement avec la composante principale 1 (F1), ce qui suggère que l'axe F1 reflète la richesse nutritionnelle (éléments minéraux et protéines) des muffins.
- Le taux de matière grasse (%) est corrélé à F1, mais de manière moins forte et dans une direction différente, et est également modérément lié à l'axe F2.
- L'humidité (%) est faiblement corrélée avec F1 et légèrement avec F2, ce qui signifie qu'elle n'est pas bien représentée sur ce plan ou que son influence est faible ou indépendante des autres variables.

Les deux premières composantes (F1 et F2) représentent 76,09 % de l'information totale, permettant ainsi une visualisation et une interprétation fiables de la majorité des variations observées dans les échantillons. La troisième composante (F3) contribue à hauteur de 23,15 % à l'explication de la variance, ce qui peut s'avérer utile pour une analyse plus approfondie. En revanche, la quatrième composante (F4) n'explique que 0,76 % de la variance totale, ce qui la rend négligeable pour l'analyse.

10.3 Projection des cas sur le plan factoriel

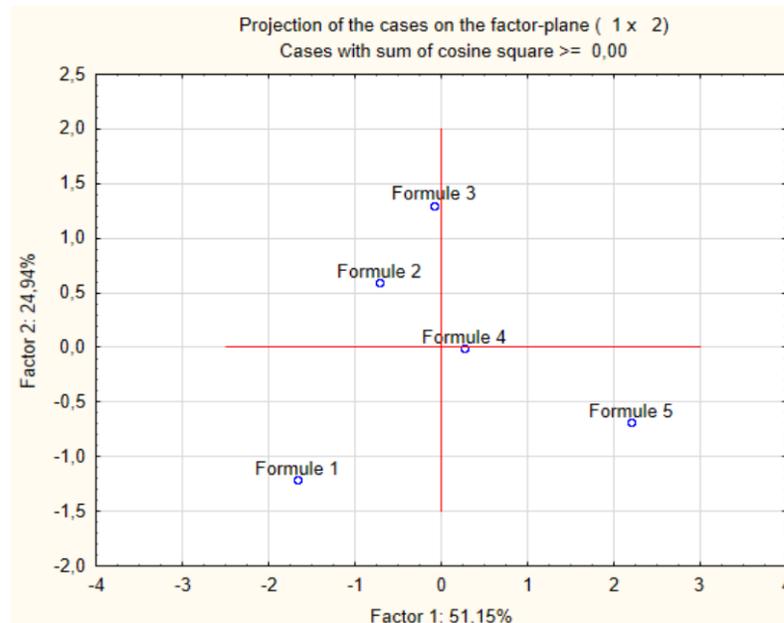


Figure 33 : le plan factoriel des analyses physico-chimiques

Interprétation :

Les résultats montrent que :

- La formule 5 est bien représentée sur F1 avec une valeur fortement positive, ce qui suggère qu'elle est riche en protéines et en cendres.
- La formule 1 est située à l'opposé sur F1 avec une valeur fortement négative, ce qui indique qu'elle a un faible taux de protéines et de cendres.
- Les formules 2 et 3 sont proches sur F2 avec des valeurs positives, ce qui pourrait signifier qu'elles ont des caractéristiques communes, telles qu'une teneur en matière grasse légèrement plus élevée.
- La formule 4 est située au centre, proche de l'origine, ce qui signifie qu'elle ne se distingue pas fortement des autres et a des valeurs moyennes pour toutes les variables étudiées.,.

+

Ces résultats permettent de caractériser les différentes formules en fonction de leur composition nutritionnelle.

Conclusion

Le présent travail s'inscrit dans une démarche de valorisation des produits agricoles locaux à travers l'exploitation technologique et nutritionnelle de la poudre de citrouille (*Cucurbita pepo*) dans la formulation de muffins. En combinant un plan de mélange contraint à trois composantes (farine de blé, poudre de citrouille et gomme de guar) à une approche expérimentale rigoureuse, ce mémoire a permis d'évaluer et d'optimiser l'impact de ces ingrédients sur les caractéristiques sensorielles, physico-chimiques et microbiologiques du produit fini.

Les résultats obtenus montrent que l'ajout modéré de poudre de citrouille, en synergie avec la gomme de guar, améliore significativement la texture, la couleur, la valeur nutritionnelle et l'acceptabilité globale des muffins. La formulation contenant 90 % de farine, 9,2 % de poudre de citrouille et 0,8 % de gomme de guar a été identifiée comme étant la plus optimale. Par ailleurs, les analyses microbiologiques ont confirmé la conformité du produit avec les normes de sécurité alimentaire, ce qui garantit sa qualité hygiénique.

Cette étude confirme donc l'intérêt de la citrouille en tant qu'ingrédient fonctionnel dans les produits de boulangerie, tout en mettant en évidence l'efficacité des plans de mélange comme outils d'optimisation. Elle ouvre la voie à de nouvelles perspectives de recherche portant sur l'intégration d'autres produits végétaux locaux dans des formulations alimentaires innovantes, contribuant ainsi à une alimentation plus saine, durable et économiquement ancrée dans le territoire algérien.

Perspectives

- Étudier le profil des composés bioactifs présents dans la poudre de citrouille (caroténoïdes, polyphénols, flavonoïdes, etc.) pour confirmer son intérêt fonctionnel.
- Évaluer l'activité antioxydante des muffins enrichis afin de mettre en évidence leur potentiel comme aliments fonctionnels.
- Réaliser des tests de conservation à court et long terme pour analyser la stabilité des caractéristiques nutritionnelles et sensorielles.
- Étudier la biodisponibilité des composés bioactifs après consommation pour mieux comprendre leur impact sur la santé.
- Effectuer une étude de marché pour tester l'acceptabilité du produit auprès d'un panel de consommateurs à plus grande échelle.
- Envisager une application industrielle en adaptant la formulation aux contraintes de production à grande échelle.

Références bibliographiques

- A. Bahadj, « Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre ». Mémoire de master, Kasdi Merbah de Ouargla (2014).
- A. S. Mujumdar, « Guide pratique du séchage industriel Application, principes, équipements et nouveau développement ». Sakamon Devahastin, Montréal Exegex Corporation, Quebec., (2000).
- agroalimentaryCeclu, L., Mocanu, D. G., & Nistor, O. V. (2020). Pumpkin–health benefits. *Journal of agroalimentary processes and technologies*, 26(3), 241-246.
- Al-Anoos, IM, El-dengawi, R., Hasanin, HA, Études sur la composition chimique de certaines variétés de graines de citrouille égyptienne et chinoise (*Cucurbita maxima*). *Journal de science et de recherche végétales* 2015, 2(2), 137
- Bouamar, A. (2019). Étude de la production de la citrouille et ses potentialités en Algérie. Mémoire de Master, Université algérienne. (Référence interne non indexée dans une base internationale).
- **Boumhiriz. R. (2017)**, Etude in vitro de l'efficacité de l'extrait hydro-éthanolique des feuilles matures de la courge cucurbita pepo, et de l'extrait hydrométhanolique des feuilles de la menthe menthaspicata sur les larves de T. Absoluta, Master de l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaghanem.
- Ceclu, L., Aprodu, I., & Stroe, S. (2020). Pumpkin extract as cosmetic raw material: evaluation of anti-aging potential. *Revista de Chimie*, 71(9), 95–102.
- Chua L.Y.W., Chong C.H., Chua B.L., et Figiel A., (2019). Influence of Drying Methods on the Antibacterial, Antioxidant and Essential Oil Volatile Composition of Herbs: a Review.
- Cui, B., Zhang, Q., & Cui, J. (2020). Gamma-Aminobutyric Acid: A Review on Its Production, Functions, and Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(20), 7961. <https://doi.org/10.3390/ijms21207961>
- D. Bhambere, « Lyophilisation/lyophilisation - Une revue », *J.Pharm. Rés.*, vol. 4, non. 8, pages 516 à 543, 2015.
- **Djouama Mohamed Hamza, D. A. E (2022)**. Amélioration de la cinétique du séchage industriel de l'agro-alimentaire par ajout du NaCl.
- **FAOSTAT (2022)**, <https://www.fao.org/statistics/fr>
- H. Ben Cheikch, M. OuldSidimed et Y. Draoui, « Conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect opérant en mode convectif ». Mémoire de l'ingénieur d'état, Université Kasdi Merbah d'Ouargla (juin 2011).
- **Houhou, H. (2012)**. « Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaire ». Mémoire de Magister en génie mécanique, Université Mohamed Khider – Biskra
- K. Souheyla, « Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie ». Autre. Université Bourgogne Franche-Comté, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Algérie (2018)

- Kulaitienė, J., Černiauskienė, J., Jarienė, E., Danilčenko, H., Levickienė, D., Activité antioxydante et autres paramètres de qualité de l'huile de graines de citrouille pressée à froid. *Pas Bot Horti Agrobo*, 2018, 46(1), 161-166.
- Maadsi, L., Khaled, H. (2012). Mémoire de Fin de Cycle. Effet de la cuisson sur la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante de deux espèces de courge (*Cucurbita pepo* et *Cucurbita moschata*) récoltées à Bejaia. 55p.
- McCreight, J.D., (2016). Cultivation and Uses of Cucurbits, in book *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models, Volume 20 - Genetics and Genomics of Cucurbitaceae*,
- MEZIANE S, ADJRAD S, (2021) "Elaboration d'un aliment fonctionnel à base de déchets et de pulpe de citrouille séchés"
- P. Udomkun et al., « Examen des séchoirs solaires pour les produits agricoles en Asie et en Afrique : une approche du paysage de l'innovation », *J. Environ. Gérer.*, vol. 268, p. 110730, 2020.
- R. Najjar et C. Stubenrauch, « Diagrammes de phases de microémulsions contenant des agents réducteurs et des sels métalliques comme bases pour la synthèse de nanoparticules métalliques », *J. Colloids Interface Sci.*, vol. 331, 2009.
- Ratnayake, RMS, Hurst, PL, Melton, ID, Influence du cultivar, du stockage et de la cuisson sur les propriétés mécaniques de la courge d'hiver (*Cucurbita maxima*). *Journal de la science de l'alimentation et de l'agriculture* 2004, 433-440.
- RPFRRPF Guiné, « Le séchage des aliments et son effet sur les propriétés physico-chimiques, sensorielles et nutritionnelles », *ETP Int. J. Food Eng.*, vol. 4, non. 2, p.93-100, 2018.
- S. Chouicha, « Etude expérimentale du séchage solaire Des dattes humides et impact Sur la qualité ». Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah d'Ouargla (2010).
- Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Cappellini, F., et al. (2019). Pumpkins: Health benefits and nutritional composition. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.005>
- Stuart MOI. Tout sur les citrouilles. 2004 [mis à jour en 2004] ; Disponible sur : <http://cals.arizona.edu/yavapai/fcs/allaboutpumpkins.pdf>.
- TY Tunde-Akintunde, TJ Afolabi et BO Akintunde, « Influence des méthodes de séchage sur le séchage du poivron (*Capsicum annum*), » *J. Food Eng.*, vol. 68, non. 4, pages 439 à 442, 2005.
- Vasseur J. (2012). Séchage : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1). *Techniques de l'Ingénieur*, p.1-19.
- Vijayan, TV Arjunan, A. Kumar, Analyse exergo-environnementale d'un séchoir solaire à convection forcée indirecte pour sécher des tranches de courge amère, *Renew. Énergie*. (2020)
- Whfoods (les aliments les plus sains au monde). Disponible sur : <http://www.whfoods.com>
- Widy-Tyszkiewicz, E., Piechal, A., Blecharz-Klin, K., Pyrzanowska, J., Joniec-Maciejak, I., & Wawer, A. (2012). Protective effect of pumpkin seed oil on behavioral and biochemical changes in a rat model of Alzheimer's disease. *Pharmacological Reports*, 64(5), 1271–1277.

Les annexes

Fiche de dégustation – Muffins

L'Age :

Sexe :

1. Apparence (5 points)

Couleur : homogène / hétérogène

Forme : régulière / irrégulière

Croûte : dorée / trop cuite / pâle

Note :/5

2. Texture (5 points)

Moelleux : très moelleux / moelleux / sec

Note :/5

3. Odeur (5 points)

Odeur agréable de citrouille : présente / absente

Note :/5

4. Goût (5 points)

Saveur sucrée : équilibrée / fade / trop sucrée

Goût de citrouille : perceptible / absent / trop prononcé

Arrière-goût : agréable / amer / métallique

Note :/5

Note finale :/20

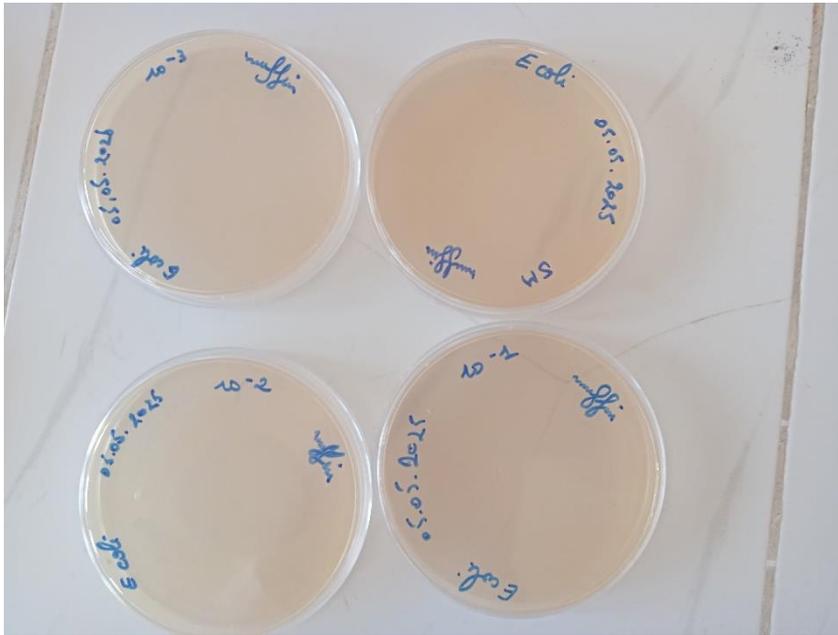
Annexe 01 : fiche de dégustation



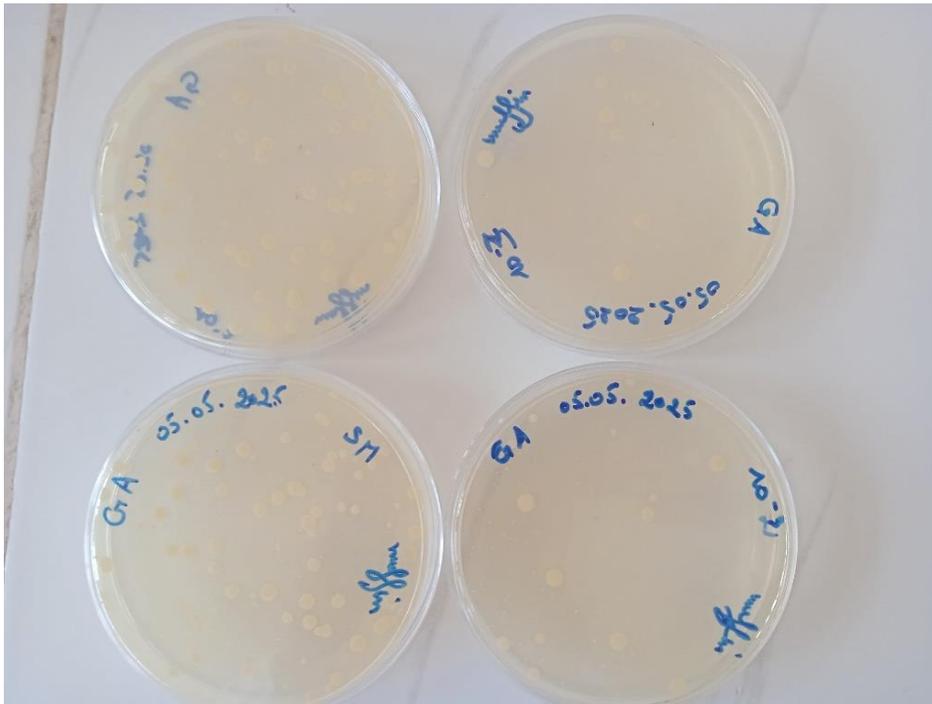
Annexe 02 : séchage des citrouilles



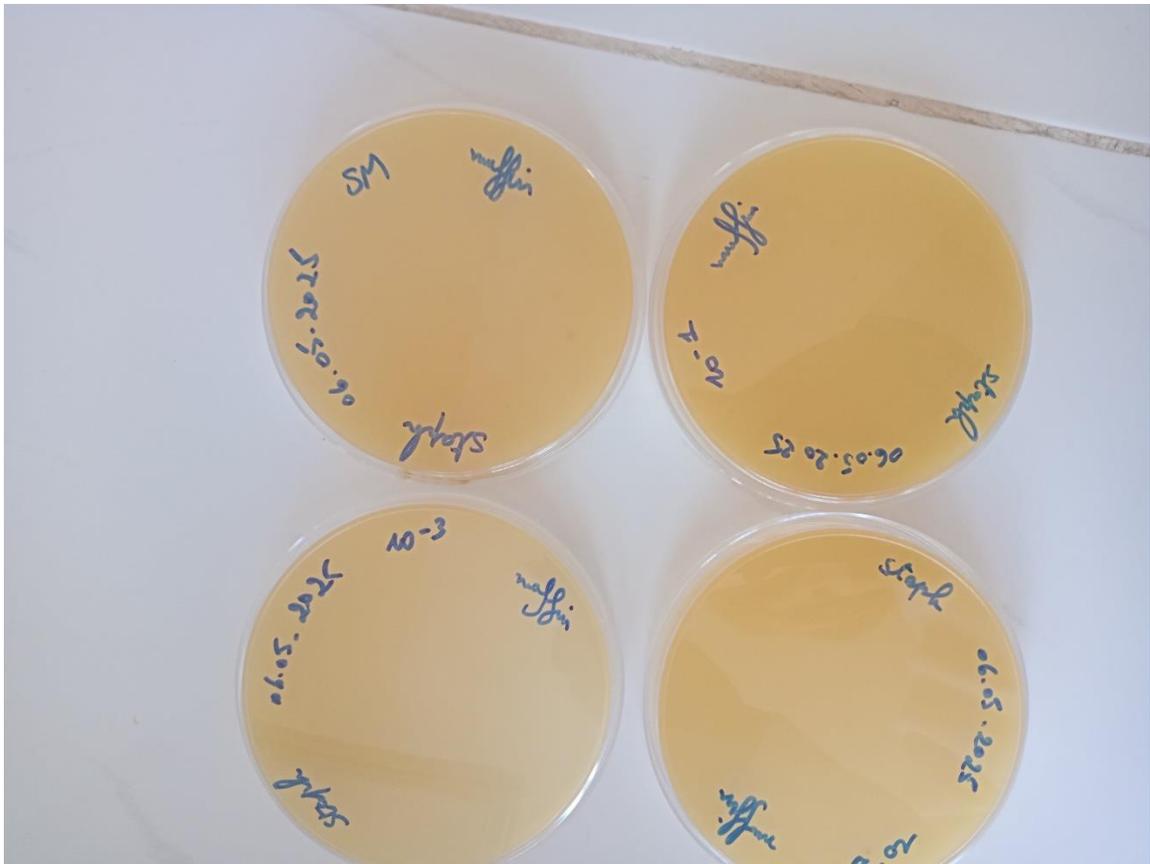
Annexe 03 : Préparation d'émulsion de jaune d'oeuf



Annexe 04 : résultats des boîtes d'E.coli



Annexe 05 : résultats des boîtes de GA



Annexe 06 : résultats des boites de staph