

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

Département : Technologie Alimentaire

Spécialité : Nutrition humaine

القسم : تكنولوجيا التغذية

التخصص : التغذية البشرية

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme De Master

***THEME***

**Optimisation du procédé d'élaboration de pâtes alimentaires fraîches  
enrichies en microalgues (Spiruline et Chlorelle)**

Présenté par :

Soutenu publiquement le : 17/12/2023

**SKANDERI Chahinez Fatiha**

**ZEMMOURI Fella**

Devant le jury composé de :

**Mémoire dirigé par : M<sup>me</sup>. A. MERIBAI**

MCA à l'ENSA

Promotrice

**M<sup>r</sup>. M. AMIALI**

Professeur à l'ENSA

Co-promoteur

**M<sup>me</sup>. M. NECHAR**

MCA à l'ENSA

Co-promotrice

**Président :**

**M<sup>r</sup>. A. BENCHABANE**

Professeur à l'ENSA

**Examineurs :**

**M<sup>me</sup>. A. AOUIR**

MCA à l'ENSA

**M<sup>me</sup>. S. AKLI**

MCA à l'ENSA

**Invité :**

**Mme. J. BRAHMIA**

Représentante socio-économique

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	01
<b>Partie bibliographique</b>	
<b>Chapitre 1 : Généralités sur les pâtes alimentaires</b> .....	02
1. Pâtes alimentaires sèches.....	03
1.1. Définition.....	03
1.2. Principaux constituants.....	04
1.2.1. Semoule de blé dur.....	04
1.2.2. Eau.....	06
1.3. Types de pâtes alimentaires sèches.....	06
1.4. Qualité des pâtes alimentaires sèches.....	07
1.4.1. Qualité organoleptique.....	07
1.4.2. Qualité culinaire.....	07
1.5. Valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires sèches.....	07
1.6. Enrichissement des pâtes alimentaires.....	08
2. Pâtes alimentaires fraîches.....	10
2.1. Définition.....	10
2.2. Composition.....	10
2.3. Processus de fabrication.....	11
2.4. Conservation.....	12
<b>Chapitre 2 : Généralités sur les microalgues</b> .....	14
1. Spiruline.....	14
1.1. Définition.....	14
1.2. Composition nutritionnelle.....	16
1.2.1. Macronutriments.....	16
1.2.2. Micronutriments.....	17
1.3. Propriétés thérapeutiques.....	18
1.4. Spiruline et activité sportive.....	20
1.5. Toxicité et recommandation.....	20
2. Chlorelle.....	21
2.1. Définition.....	21
2.2. Composition nutritionnelle.....	21
2.2.1. Macronutriments.....	22
2.2.2. Micronutriments.....	23
2.3. Propriétés thérapeutiques et biologiques.....	24
2.4. Chlorelle est activité sportive.....	25
2.5. Recommandations et contre-indications.....	25
3. Domaines d'application des microalgues.....	26
3.1. Nutrition humaine et industrie agroalimentaire.....	26
3.2. Pharmaceutique et cosmétiques.....	27
3.3. Agricultures.....	27
3.4. Aquaculture et nutrition animale.....	28
3.5. Biocarburant et énergie.....	28

## Partie expérimentale :

<b>Chapitre 1 : Matériel et méthodes.....</b>	<b>29</b>
1. Enquête de consommation.....	29
2. Caractérisation de la matière première.....	29
2.1. Détermination de la teneur en eau.....	30
2.2. Détermination de la teneur en sucres totaux.....	30
2.3. Détermination de la teneur en lipides.....	30
2.4. Détermination du profil en acides gras.....	30
2.5. Détermination de la teneur en protéines.....	30
2.6. Mesure de la couleur.....	30
2.7. Détermination de la teneur en gluten.....	31
2.8. Test de sédimentation SDS.....	31
2.9. Détermination de la granulométrie de la semoule.....	31
2.10. Test alvéographique de la farine.....	31
3. Formulation de pâtes alimentaires fraîches.....	31
3.1. Choix de quantité de farine à incorporer.....	32
3.2. Choix de la quantité d'huile à incorporer.....	33
3.3. Choix de la quantité de sel à incorporer.....	32
3.4. Choix de la quantité d'œufs à ajouter.....	32
3.5. Choix de l'épaisseur de la pâte.....	33
3.6. Choix de la forme des pâtes alimentaires.....	33
4. Formulation de pâtes alimentaires fraîches à base de microalgues.....	33
5. Optimisation de la formule par la Méthodologie de Surface de Réponses (MSR).....	34
5.1. Etablissement du plan d'expérience.....	34
5.2. Réalisation des expérimentations.....	35
5.2.1. Préparation des matières premières.....	35
5.2.2. Préparation de la pâte.....	36
5.2.3. Pétrissage.....	36
5.2.4. Laminage.....	36
5.2.5. Façonnage.....	36
5.2.6. Séchage.....	36
5.2.7. Emballage.....	36
5.2.8. Conservation.....	37
5.3. Analyse des paramètres de réponse.....	38
5.3.1. Détermination de la teneur en protéines.....	38
5.3.2. Analyse sensorielle.....	38
5.4. Modélisation des paramètres de réponse.....	38
5.4.1. Ajustement du modèle de chaque élément de réponse.....	38
5.4.2. Analyses des surfaces de réponses.....	39
5.4.3. Etude de la désirabilité.....	39
<b>Chapitre 2 : Résultats et discussion</b>	
1. Résultats de l'enquête de consommation.....	40
2. Résultats de la caractérisation des matières premières.....	52
2.1. Teneur en eau.....	52
2.2. Teneur en sucres totaux.....	53
2.3. Teneur en lipides.....	54
2.4. Profil en acides gras.....	55
2.5. Teneur en protéines.....	57

2.6. Couleur de semoule et de farine.....	59
2.7. Teneur en gluten.....	60
2.8. Résultats du test de sédimentation SDS.....	61
2.9. Granulométrie de la semoule.....	62
2.10. Résultats du test alvéographique de la farine.....	63
3. Résultats de la formulation des pâtes alimentaires fraîches.....	64
3.1. Quantité de farine à incorporer.....	64
3.2. Quantité d'huile à incorporer.....	65
3.3. Quantité de sel à incorporer.....	65
3.4. Quantité d'œufs à ajouter.....	65
3.5. Epaisseur de la pâte.....	66
3.6. Forme des pâtes alimentaires.....	66
4. Résultats de la formulation des pâtes alimentaires fraîches à base de microalgues.....	66
5. Résultats de l'optimisation de la formule par la méthodologie de Surface de Réponses (MSR).....	66
5.1. Plan d'expérience.....	66
5.2. Réalisation des expérimentations.....	68
5.3. Résultats des paramètres de réponse.....	69
5.4. Résultats de la modélisation des paramètres de réponse.....	70
5.4.1. Résultats de la modélisation de la couleur.....	70
5.4.2. Résultats de la modélisation de l'odeur.....	78
5.4.3. Résultats de la modélisation de la texture.....	86
5.4.4. Résultats de la modélisation du goût.....	95
5.4.5. Résultats de la modélisation des protéines.....	102

## **Partie entrepreneuriale : Business Plan**

<b>Premier axe : présentation du projet.....</b>	<b>110</b>
1. L'idée du projet.....	110
2. Les valeurs proposées.....	110
3. Equipe de travail.....	111
4. L'objectif du projet.....	111
5. Calendrier de réalisation du projet.....	112
<b>Deuxième axe : Aspects innovants.....</b>	<b>112</b>
1. Nature des innovations.....	112
2. Domaines d'innovation.....	112
<b>Troisième axe : Analyse stratégique du marché.....</b>	<b>113</b>
1. Segment du marché.....	113
1.1. Marché potentiel.....	113
1.2. Marché cible.....	113
1.3. Choix du marché cible.....	113
1.4. Contrats d'achat.....	113
2. Mesure de l'intensité de la concurrence.....	114
3. Stratégie marketing.....	114
<b>Quatrième axe : Plan de production et d'organisation.....</b>	<b>115</b>
1. Processus de production.....	115
2. Approvisionnement.....	116
3. Ressources humaines.....	116

4. Principaux partenaires.....	117
<b>Cinquième axe : Plan financier.....</b>	<b>117</b>
1. Coûts et charges.....	117
2. Chiffres d'affaires.....	120
3. Compte des résultats escomptés.....	121
<b>Sixième axe : Prototype expérimental.....</b>	<b>123</b>
1. Photos du prototype.....	123
2. Schéma du processus de fabrication.....	124
<b>Conclusion.....</b>	<b>125</b>

## Résumé

Les microalgues *Arthrospira platensis* et *Chlorella vulgaris*, constituent une source non conventionnelle de protéines de haute qualité nutritionnelle et peuvent être utilisées comme additifs alimentaires naturels. Dans le but d'optimiser une nouvelle formule de pâtes alimentaires fraîches à base d'une et/ou des deux microalgues, une caractérisation physico-chimique de la spiruline et de la chlorelle utilisées a été faite d'abord, aboutissant ainsi à un taux de protéines de  $63,14 \pm 0,92$  % (ms) pour la spiruline et de  $42,58 \pm 0,37$  % (ms) pour la chlorelle. De plus, l'incorporation de la farine dans la formulation a donné une meilleure texture lorsque le taux de farine est inférieur à 50 % de mélange par rapport au témoin (100 % semoule). L'optimisation de la formule a été faite par la MSR, en utilisant le Box Behnken comme plan expérimental. Les paramètres de réponses sont les résultats des caractéristiques organoleptiques obtenus par une analyse sensorielle et la teneur en protéines des pâtes alimentaires fraîches. Suivant le plan expérimental, les deux microalgues ont été introduites à raison de (0 %, 0,75 % et 1,5 %) ainsi que la farine à raison de (0 %, 15 % et 30 %). Les résultats de la désirabilité ont abouti à 5 modèles mathématiques permettant l'obtention de la formule optimale pour chaque paramètre de réponse, à savoir : la couleur, l'odeur, la texture, le goût et la teneur en protéines des pâtes alimentaires fraîches enrichies en microalgues. Par ailleurs, l'enquête de consommation qui a été faite sur un échantillon de 211 personnes a révélé que 91,9 % des répondants sont intéressés à acheter ce produit, dont 11,8 % l'estiment à des prix entre 400 à 450 Dinard Algérien (DA) avec une consommation moyenne d'une à deux fois par mois (68,7 %). Par ailleurs, les résultats de la partie financière du Business Plan a donné un chiffre d'affaires prévisionnel de la première année de 33 616,35 KDA dans le cas d'une unité de 250 g à 450 DA, tout en visant un marché de niche (sportifs, végétariens et malades souffrant de malnutrition).

**Mots clés :** *Chlorella sp*, *Arthrospira platensis*, MSR, optimisation, caractérisation, formulation, étude de marché, protéines, enrichissement.

## Abstract

The microalgae *Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris* provide an unconventional source of protein of high nutritional quality, and can be used as natural food additives. In order to optimize a new fresh pasta formula based on one and/or both microalgae, a physico-chemical characterization of the spirulina and chlorella used was first carried out, resulting in a protein content of  $63.14 \pm 0.92\%$  (ms) for spirulina and  $42.58 \pm 0.37\%$  (ms) for chlorella. In addition, incorporating flour into the formulation gave a better texture when the flour content was less than 50% of the mix, compared with the control (100% semolina). The formula was optimized by MSR, using the Box Behnken as the experimental design. The response parameters are the results of organoleptic characteristics obtained by sensory analysis and the protein content of fresh pasta. According to the experimental design, the two microalgae were introduced at (0%, 0.75% and 1.5%) and the flour at (0%, 15% and 30%). The results of the desirability test led to 5 mathematical models enabling us to obtain the optimum formula for each response parameter: color, odor, texture, taste and protein content of fresh pasta enriched with microalgae. The consumer survey, which was carried out on a sample of 211 people, revealed that 91.9% of respondents were interested in buying this product, 11.8% of whom estimated its price at between 400 and 450 Algerian Dinars (DA), with an average consumption of once or twice a month (68.7%). In addition, the results of the financial section of the Business Plan gave a forecast first-year sales figure of 33,616.35 KDA for a 250 g unit at 450 DA, while targeting a niche market (athletes, vegetarians and malnourished patients).

**Key words :** *Chlorella sp*, *Arthrospira platensis*, MSR, optimization, characterization, formulation, market study, proteins, enrichment.

## ملخص

تعد الطحالب المجهرية *Chlorella vulgaris* و *Arthrospira platensis* مصدرا غير تقليدي للبروتين عالي الجودة ويمكن استخدامه كإضافات غذائية طبيعية. من أجل تحسين صيغة جديدة من المعكرونة الطازجة على أساس واحد و/ أو اثنين من الطحالب الدقيقة، تم إجراء توصيف فيزيائي كيميائي للسيرولينا والكلوريل المستخدمة أولا، مما أدى إلى مستوى البروتين من  $0,92 \pm 63,14$  (ms) لسيرولينا و  $0,37 \pm 42,58$  (ms) لكلوريل. بالإضافة إلى ذلك، أعطى دمج الدقيق في التركيبة نسيجا أفضل عندما يكون محتوى الدقيق أقل من 50% من الخليط مقارنة بالتحكم (100% دقيق). تم تحسين الصيغة من قبل MSR، باستخدام Box Behnken كتصميم تجريبي. بارامترات الاستجابة هي نتائج الخصائص العضوية التي تم الحصول عليها عن طريق التحليل الحسي ومحتوى البروتين من المعكرونة الطازجة. وفقا للتصميم التجريبي، تم إدخال كل من الطحالب الدقيقة بمعدل (0% و 0,75% و 1,5%) والدقيق بمعدل (0% و 15% و 30%). أسفرت نتائج الرغبة في 5 نماذج رياضية للحصول على الصيغة المثلى لكل معلمة استجابة، وهي: اللون والرائحة واللمس والذوق ومحتوى البروتين من المعكرونة الطازجة المخصبة بالطحالب الدقيقة. بالإضافة إلى ذلك، كشف استطلاع المستهلك الذي أجري على عينة من 211 شخصا أن 91,9% من المجيبين مهتمون بشراء هذا المنتج، يقدر 11,8% منها سعر صرف الليرة التركية بأسعار تتراوح بين 400 إلى 450 دينار جزائري (DA) بمتوسط استهلاك من مرة إلى مرتين في الشهر (68,7%). وبالإضافة إلى ذلك، أسفرت نتائج الجزء المالي من خطة الأعمال عن معدل دوران يقدر في السنة الأولى بنحو 33616350 دينار جزائري في حالة وحدة قدرها 250 غرام عند 450 دينار جزائري، مع استهداف سوق متخصصة (الرياضيون و النباتيون و المرضى الذين يعانون من سوء التغذية).

الكلمات المفتاحية: *Chlorella sp*, *Arthrospira platensis*, MSR, الأمتل, التوصيف, صياغة, دراسة السوق, البروتينات, الإثراء.