

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

Extraction et incorporation des extraits de spiruline dans la mayonnaise.

Présenté par :

MAHMOUDI Meriem

MESSAOUDI Boutheyna

ZAIOUT Wissal

Devant le jury composé de :

Présidente : Mm. LAOUABDIA-SELLAMI Nadjet Pr. Université de Guelma

Examinatrice : Mm. ELBAH Djamilia M.C.B Université de Guelma

Encadreur : Mr. MEZROUA El Yamine M.C.B Université de Guelma

Juin 2023

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord, A Dieu, Tout Puissant, source de toute connaissance.

Nous remercions Pr. LAOUABDIA-SELLAMI Nadjette d'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.

Nous remercions également Dr. ELBAH Djamila d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à remercier aussi Dr. MEZROUA ElYamine, notre enseignant au parcours Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire et notre encadrant au projet de fin d'étude. C'est pour nous un très grand honneur de travailler sous sa direction. Nous sommes ravis aussi d'avoir pu partager avec lui notre goût commun pour la nature et pour tout ce qu'elle peut apporter à la science.

Nous remercions aussi Dr. BRAIK Asma d'avoir nous aidé au niveau de laboratoire pédagogique de la faculté.

Nous tenons à remercier Mm. Louiza, technicienne de laboratoire pédagogique, pour sa disponibilité et son aide au cours de réalisation des analyses.

Un grand merci à l'équipe pédagogique de la Faculté Science de la Nature et de la Vie, Science de la Terre et de l'Univers, pour la richesse et la qualité des enseignements fournis tout au long de l'année.

Résumé

La spiruline est une micro-algue très riche en nutriments et molécules bioactives. Cette étude vise à évaluer l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline contre les deux souches pathogènes *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* et l'effet de son incorporation sur la qualité organoleptique de la mayonnaise. Le dosage de polyphénols totaux montre la présence d'une teneur non négligeable 70 µg EAG /mg de spiruline. Par ailleurs, l'extrait de spiruline exerce une petite activité inhibitrice vis-à-vis *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* par rapport à l'antibiotique Tétracycline avec des diamètres d'inhibition de 8 mm et 7 mm respectivement. L'incorporation de la poudre de la spiruline dans la mayonnaise avec proportion de 1% et 2% maintient la stabilité de l'acidité du produit et elle n'a pas d'effet sur sa consistance et son acceptabilité. Toutefois, elle a un effet sur les paramètres organoleptiques tels que la couleur, le goût et l'arôme.

Mots clés : spiruline, polyphénols, activité antibactérienne, mayonnaise, qualité organoleptique.

Abstract

Spirulina is a micro-algae very rich in nutrients and bioactive molecules. This study aims to evaluate the antibacterial activity of spirulina extract against the two pathogenic strains *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* and the effect of its incorporation on the organoleptic quality of mayonnaise. The dosage of total polyphenols shows the presence of a non-negligible content 70 µg EAG / mg of spirulina. In addition, the spirulina extract exerts a small inhibitory activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* compared to the antibiotic Tetracycline with inhibition diameters of 8 mm and 7 mm respectively. The incorporation of spirulina powder in mayonnaise with a proportion of 1% and 2% maintains the stability of the acidity of the product and has no effect on its consistency and acceptability. However, it has an effect on organoleptic parameters such as color, taste and aroma.

Keywords: spirulina, polyphenols, antibacterial activity, mayonnaise, organoleptic quality.

ملخص

السبيرولينا هي طحالب دقيقة غنية جدًا بالمغذيات والجزيئات النشطة بيولوجيًا. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا لمستخلص السبيرولينا ضد السلالتين الممرضتين *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus* وتأثير دمجها على الجودة الحسية للمايونيز. يظهر تحليل البوليفينول الكلي وجود محتوى مهم يبلغ 70 ميكروغرام / ملغ من سبيرولينا. بالإضافة إلى ذلك ، يمارس مستخلص السبيرولينا نشاطًا مثبطًا صغيرًا ضد *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus* مقارنة بالمضاد الحيوي Tetracycline بأقطار تثبيط 8 مم و 7 مم على التوالي. كما أظهرت الدراسة إن دمج مسحوق سبيرولينا في المايونيز بنسبة 1% و 2% يحافظ على ثبات حموضة المنتج ولا يؤثر على قوامه ومقبوليته. ومع ذلك ، فإنه يؤثر على العوامل الحسية مثل اللون والذوق والرائحة.

الكلمات المفتاحية: سبيرولينا ، بوليفينول ، نشاط مضاد للجراثيم ، مايونيز ، جودة حسية.

Sommaire

Remerciements

Résumé

Liste d'abréviations

Liste tableaux

Liste des figures

Introduction1

Partie bibliographique

Chapitre I : La spiruline

I.1 Généralités3

I.1.1. Définition3

I.1.2. Historique4

I.1.3. Description5

I.1.4. Classification taxonomique5

I.1.5. Morphologie6

I.2. Composition de la spiruline7

I.2.1. Protéines7

I.2.2. Glucides8

I.2.3. Lipides8

I.2.4. Minéraux9

I.2.5. Vitamines10

I.2.6. Enzymes11

I.2.7. Pigments11

I.2.8. Acides nucléiques	11
I.3. Principales applications de la spiruline	12
I.3.1. En alimentation humaine	12
I.3.2. En alimentation animale	12
I.3.3. En cosmétique	12
I.3.4. En thérapeutique	13
 Chapitre II : polyphénols et leurs activités	
II.1 Présentation générale sur les polyphénols	14
II.1.1. Localisation et répartition	14
II.1.2. classification	14
II.1.3. Principales classes des composés phénoliques	15
II.1.3.1 Acide phénolique	15
II.1.3.2 Tanins	15
II.1.3.3. Flavonoïdes	15
II.1.3.4. Anthocyanes	16
II.1.3.5. Coumarines	16
II.1.3.6. Quinones	16
II.1.4. Propriétés biologiques des polyphénols	17
II.1.4.1. Activité antioxydante	17
II.1.4.2. Activité antimicrobienne	17
II.1.4.3. Activités anti-inflammatoire	18
II.1.5. Rôles des polyphénols dans les plantes	18
II.2. Stress oxydatif	19

II.2.1. Généralité	19
II.2.2. Définition	19
II.2.3. Radicaux libres	19
II.2.4. Conséquences du stress oxydant	20
II.3. Antioxydants	20
II.3.1. Antioxydants primaires	20
II.3.2. Antioxydants secondaires	21
II.4. Mécanismes et pouvoir antioxydant des polyphénols	21
 Chapitre III : La Mayonnaise	
III.1. Historique	22
III.2. Définition	22
III.3. Ingrédients de la mayonnaise	22
III.3.1 Huile	22
III.3.2 Lécithine	23
III.3.3 Jaune d'œuf	23
III.3.4 Sel	23
III.3.5 Poivre	23
III.3.6 Moutarde	24
III.4. Processus de production industrielle de la mayonnaise	25
III.5. Valeur nutritionnelle de la mayonnaise	25
III.6. Conservation	25
III.7. Qualité microbiologique de la mayonnaise	26

Partie expérimentale

I. Matériel & Méthodes

I.1. Matière végétale	27
I.2. Dosage des polyphénols totaux	27
I.2.1. Préparation de l'extrait de la spiruline	27
I.2.2. Dosage des polyphénols	28
I.3. Détermination de l'activité antibactérienne de la spiruline	28
I.3.1. Caractérisation des souches isolées	28
I.3.1.1. Aspect macroscopique des cultures	28
I.3.1.2. Caractères morphologiques	28
I.3.1.3. Caractères biochimiques et physiologiques	29
I.3.2. Préparation de l'extrait de Spiruline	29
I.3.3. Activité antibactérienne	30
I.4. Préparation de la mayonnaise à la spiruline	30
I.5. Evaluation de la qualité de mayonnaise	31
I.5.1. Mesure du pH	31
I.5.2. Analyses sensorielles	31

II. Résultats & discussion

II.1 Teneur des polyphénols totaux	32
II.2. Caractères microbiologiques des souches isolées	32
II.2.1. Caractères culturels	33
II.2.2. Caractères morphologiques	34
II.2.3. Caractères biochimiques et physiologiques	35

II.3. Activité antibactérienne de l'extrait de spiruline	35
II.3.1. Choix du contrôle positif	35
II.3.2. Activité antibactérienne de la spiruline	37
II.4. Appréciation de la qualité de mayonnaise à la spiruline	40
II.4.1. pH	40
II.4.2. Qualité organoleptique	41
Conclusion	43
Références Bibliographiques	44
Annexes	

Liste des abréviations

ADN : acide désoxyribonucléique

AGPI : acides gras polyinsaturés

AMX : Amoxicilline

ARN : acide ribonucléique

BN : Bouillon nutritif

DO : Densité optique

EAG : Equivalent d'acide gallique

ERO : élément remplaçable en orbite

GN : Gélose nutritive

GMP : Good Manufacturing Practices

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène

HV : virus de l'herpès

K : Klebsiella

MH : Mueller Hinton

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ROS : reactive oxygen species

SFM : société française de microbiologie

SIDA : syndrome d'immunodéficience acquise

SOD : super oxyde dismutase

TE : Tétracycline

UV : Ultra-violet

VA : Vancomycine

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneur en acides aminés de la spiruline.

Tableau 2 : La teneur moyenne et principales fonctions des minéraux et des oligo-éléments de spiruline.

Tableau 3 : Teneur en vitamines en $\mu\text{g/g}$ de matière sèche de Spiruline

Tableau 4 : Teneur en pigment exprimée en mg pour 10g de matière *Spirulina platensis* séchée

Tableau 5 : Valeurs nutritionnelles de la mayonnaise

Tableau 6 : critères microbiologiques de la mayonnaise

Tableau 7 : Résultats d'absorbance des différentes concentrations d'acide gallique exprimées en mg/ml

Tableau 8 : Valeurs des diamètres de lyse pour chacune des souches étudiées exprimées en millimètres.

Tableau 9 : Diamètre des zones d'inhibition de la spiruline vis-à-vis *E. coli* et *Staphylococcus aureus*.

Tableau 10 : Valeurs du pH des formules de Mayonnaise préparées

Tableau 11 : Résultats des moyennes de l'analyse sensorielle des trois types de Mayonnaise.

Tableau 12 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**couleur**)

Tableau 13 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**arome**)

Tableau 14 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**consistance**)

Tableau 15 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**gout**)

Tableau 16 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**acidité**)

Tableau 17 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**acceptabilité**)

Liste des figures

Figure 1 : Les différents aspects de la spiruline

Figure 2 : Morphologies typiques de Spiruline

Figure 3 : Positionnement de la Spiruline par rapports à d'autres aliments

Figure 4 : Préparation traditionnelle de la mayonnaise

Figure 5 : Spiruline en poudre

Figure 6 : pH mètre

Figure 7 : courbe d'étalonnage de l'acide gallique (exprimée en mg/ml)

Figure 8 : Aspect macroscopique des deux souches, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* sur milieu Chapman (a) et milieu Mc-Conckey (b).

Figure 9 : Aspect microscopique des deux souches, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* après coloration de Gram.

Figure 10 : Résultat du test de catalase des souches *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*

Figure 11 : Résultats du test d'antibiogramme des deux souches (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*) pour le choix du témoin positif

Figure 12 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'eau contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*

Figure 13 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'eau + éthanol contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*

Figure 14 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'éthanol contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*

Figure 15 : Les échantillons expérimentaux de Mayonnaises préparées.

Figure 16 : coloration de Gram.

Figure 17 : Note moyenne obtenue du test hédonique par produit par descripteur.

Introduction

Introduction

Introduction

L'un des domaines de recherche les plus importants dans les sciences alimentaires est l'extraction et la caractérisation des composés bioactifs d'origine naturelle qui peuvent contribuer à prolonger la durée de conservation des produits alimentaires et l'amélioration du bien-être du consommateur (**Tavakoli et al., 2021**).

Les cyanobactéries, anciennement appelées algues bleues, compte parmi l'une des plus anciennes formes de vie sur la terre et constitue l'essentiel des bactéries qui sont capables de réaliser la photosynthèse avec la production d'oxygène. Parmi-elles, il existe le genre *Spirulina* ou *Arthrospira*.

Cette algue bleu-vert filamenteuse prolifère facilement dans les lacs alcalins et eaux saumâtres du monde entier (**Sguera, 2008**). La spiruline a été proposée dans l'alimentation humaine par plusieurs diététiciens et nutritionnistes pour sa facilité de culture, sa haute productivité et son faible coût de production, mais aussi pour ses qualités nutritionnelles indéniables (**Sall et al, 1999**).

Ce microorganisme a la particularité de posséder une teneur élevée en protéines, qui peut dépasser 60% du poids sec de l'algue (**Ould Bellahcen et al, 2013**). Il contient également environ 25 % de glucides, 13 % de minéraux, 1,6 % de lipides et 0,73 % de fibres.

L'incorporation de la spiruline, sous forme d'extrait ou poudre aux différents produits alimentaires tels que la mayonnaise, est faisable. Ce produit est généralement composé de jaune d'œuf, d'huile, de moutarde, de vinaigre, de sel et de poivre. Il convient d'être particulièrement attentif à la qualité des matières premières et à l'hygiène des manipulateurs au cours des différentes étapes de fabrication et de stockage dans la mesure où il n'y a aucune étape de cuisson.

Les mayonnaises sont des produits relativement fragiles sur le plan microbiologique et certains ingrédients dont particulièrement le jaune d'œufs frais est parfois contaminé. La quantité d'eau disponible pour les micro-organismes et le pH constituent les facteurs clés pour la stabilité de la mayonnaise (**kone, 2001**).

Malgré la richesse des algues et notamment la spiruline en composés bioactifs et en nutriments essentiels, leur utilisation et incorporation dans les aliments industriels demeure faible.

Introduction

Cette étude a pour objectif d'étudier l'activité antibactérienne de la spiruline et l'effet d'addition de sa poudre sur la qualité organoleptique de la mayonnaise.

Notre mémoire est divisé en 3 parties : la première partie est une étude bibliographique sur la spiruline, le polyphénol et la mayonnaise et la deuxième résume le matériel et les méthodes utilisées et la dernière partie présente les différents résultats obtenus de cette étude.

Partie

Bibliographique

Chapitre I : La spiruline

I.1. Généralités

I.1.1. Définition

La spiruline est une microalgue bleu-vert photosynthétique, filamenteuse et multicellulaire qui pousse dans une large gamme d'eau douce, marine et saumâtre. Il pousse bien dans un environnement hautement alcalin de pH 10-12 (**Marrez1 et al., 2018**).

Ces derniers forment la plupart des bactéries capables de photosynthèse et de production d'oxygène. Ils peuvent être unicellulaires ou multicellulaires ; dans ce dernier cas, leurs cellules s'organisent en amas de type colonie ou, plus communément, en filaments constitués de cellules alignées. Ces filaments sont appelés trichomes (**Toudert et Bouzidi, 2020**).

Il existe deux principaux types de spiruline :

- *Spirulina platensis* du Tchad : la plus connue et la plus cultivée. Elle a un jusqu'à 350 microns de longueur et entre 6 et 12,45 microns de diamètre ;
- *Spiruline Géante* du Mexique : elle se caractérise par des trichomes de 70 à 80 µm de long, 7-9 µm de diamètre, légèrement effilé aux extrémités. Cité par **Arbaoui et bourdjiba (2022)**.

Se présentant généralement sous différentes formes, les spirulines sont le plus souvent enroulées en spires (Figure 1A), parfois ondulées (Figure 1B) ou de forme droite (Figure 1C). Cette particularité de forme est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat.

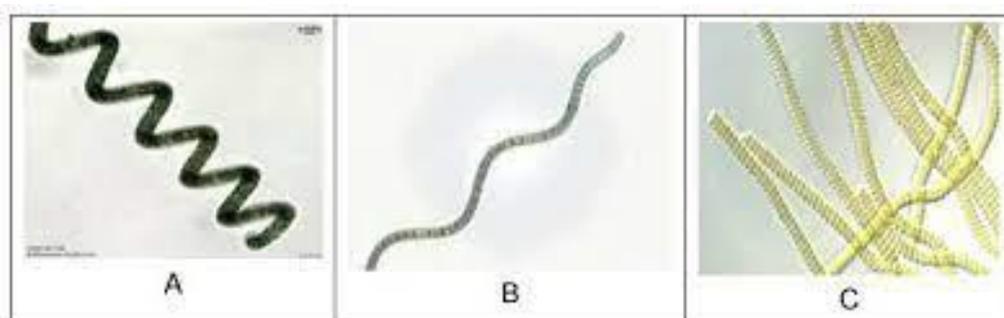


Figure 1 : Les différents aspects de la spiruline (1)

I.1.2. Historique

Les algues font partie des menus humains depuis l'Antiquité. Ce sont des aliments essentiellement en Chine et au Japon depuis la préhistoire. Dans l'ancienne Europe, les algues étaient utilisées comme aliment pour animaux, colorant et médicament contre les parasites. Il existe près de 1500 espèces de « cyanobactéries », dont 36 sont comestibles. Parmi eux, la spiruline est consommée par les Kanembous du Tchad des deux côtés de l'océan Atlantique. par les aztèques depuis l'antiquité (**Vidalo, 2008**).

La première mention écrite que nous connaissons remonte à Cortès, qui décrit dans ses mémoires comment les Aztèques le récoltaient et le consommaient vers 1521 : après l'avoir séché au soleil, ils obtenaient une sorte de pain A, tecuitlatl, qui est pratiquement à la base de leur alimentation. Il a été redécouvert au Tchad par un pharmacien français de l'armée coloniale vers 1930. En 1959, l'anthropologue et cinéaste Brandilli publie un article sur la spiruline : « Au fil des ans, une tribu africaine du Tchad (Kanembous) développe de l'alimentation depuis 2 000 ans ». La spiruline a fait l'objet de dizaines d'études scientifiques par des chercheurs du monde entier depuis les années 1980, et nous sommes encore loin de comprendre tous les effets bénéfiques de sa consommation au quotidien (**Girardin-Andréani, 2005**).

Lorsque la spiruline a été déclarée l'aliment de santé préféré du 21^{ème} siècle en 1974, elle est devenue un produit phare. La conférence sur l'alimentation et la conférence internationale sur les protéines microscopiques se sont tenues simultanément.

Les débuts industriels du Mexique ont eu lieu avec la participation d'Hubert Durand Chastel. Texcoco, société spécialisée dans la production de spiruline, va prochainement commercialiser un nouveau produit, la spiruline sèche.

Aujourd'hui, le marché de la spiruline est dominé par Earthrise Spirulina Company, ce qui en fait un leader mondial (**Vidalo, 2008**).

La meilleure nourriture pour l'avenir déclarée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) en 1996 était la spiruline (**Ahounou, 2018**).

La consommation ou l'utilisation de la spiruline n'est pas référencée en Algérie. La présence de ce phénomène dans notre pays n'a été signalée qu'au cours des deux dernières décennies. Entrepris aux lacs d'El Goléa et de Tamanrasset, ainsi que dans d'autres localités au

Chapitre I : La spiruline

fil des ans, quelques initiatives modestes ont été prises. À Mostaganem, il y a eu un événement en 2009 qui a retenu l'attention (**Lupatini et al., 2017**).

I.1.3. Description

Contenant le pigment bleu, la spiruline est un organisme autotrophe qui fonctionne par photosynthèse. Ajoutant une teinte bleu-vert à ses cellules, la spiruline est connue pour avoir la phycocyanine comme pigment photosynthétique principal, ainsi que la chlorophylle pour absorber la lumière verte. Avec son unique hélice ouverte distincte sur la gauche, cette microalgue filamenteuse non hétérokystique et non ramifiée fait partie d'un groupe spécifique (**Soni et al, 2017 ; Shao, 2019**).

I.1.4. Classification taxonomique

La spiruline est une cyanobactérie (précédemment désignée par le terme « algue bleu » puis cyanophycées). Par conséquent, il appartient au domaine des bactéries (bactéries) et est classés comme bactéries gram-négatives. Les cyanobactéries constituent la majorité des bactéries capable de photosynthèse avec production d'oxygène et peut être unicellulaire ou multicellulaire (**Charp, et al., 2018**).

Selon **Fox (1999)**, la position systématique est placée comme suit :

Règne : *Monera*

Sous règne : *Procaryote*

Embranchement : *Cyanophyta*

Classe : *Cyanophyceae*

Ordre : *Nostocales*

Famille : *Oscillatoriaceae*

Genre : *Oscillatoria*

Sous-genre : *Spirulina platensi*

I.1.5. Morphologie

La spiruline a une longueur moyenne de 250 μm avec 7 héliques. Elle est constituée de fibres mobiles (10 à 12 μm de diamètre) non ramifiées et enroulées en spirale, généralement 6 ou 7 héliques, comme un petit ressort hélicoïdal, d'où le nom de « Spiruline ». (Geitler, 1932 en Jarisoa, 2005).

En effet, elle est classée parmi les « algues bleu-vert » pour plusieurs raisons (Cruchot, 2008) :

- son habitat aquatique;
- la présence d'un système photosynthétique producteur d'oxygène ;
- La capacité de cultiver une grande biomasse ;
- Morphologiquement similaire aux algues ;
- Sa couleur est liée à la teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle).

En ce qui concerne les différentes souches (ou variétés) d'*Arthrospira platensis*, on distingue les souches "spirales", "ondulantes" et "droites" (Fig 02). Quel que soit la forme, *l'arthrospira platensis* ne change pas sa composition. Le changement conformationnel est lié à son adaptabilité de taille par rapport au milieu de culture (Callara, 2008).

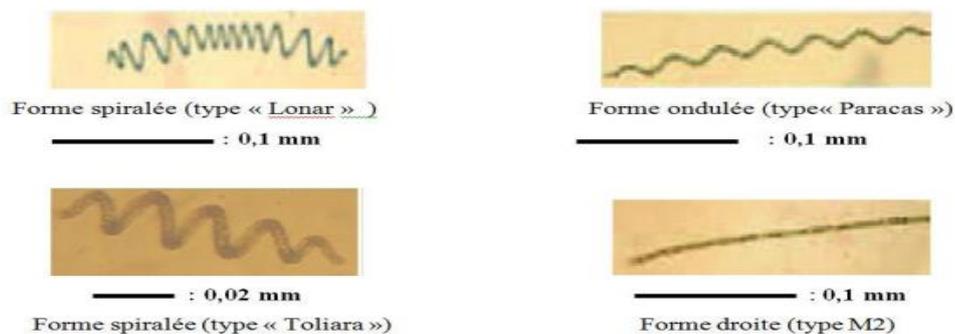


Figure 2 : Morphologies typiques de Spiruline (2)

I.2. Composition de la spiruline

I.2.1. Protéines

La teneur en protéines de la spiruline est élevée. Elle représente 60% à 70% de sa matière sèche et possède la plupart des acides aminés dont les acides aminés essentiels (**Hug et von der Weid, 2011**).

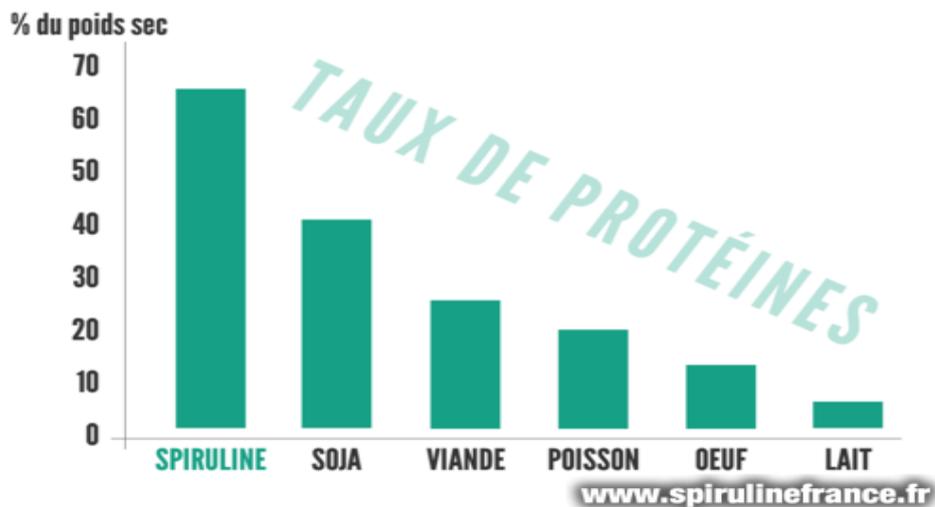


Figure 3 : Positionnement de la Spiruline par rapports à d'autres aliments(3)

La spiruline est utile dans l'alimentation humaine, en raison de la haute qualité et de la quantité de ses protéines. La valeur nutritive d'une protéine est liée à la qualité des acides aminés, au coefficient de digestibilité, ainsi qu'à sa valeur biologique acide aminé indispensable qui ne peut être synthétisé de novo par l'organisme et doit donc être fourni par l'alimentation (**Charpy, 2008**).

Tableau 1 : Teneur en acides aminés de la spiruline. (4)

Acides Aminés (AA)	Teneur moyenne dans 10g de spiruline	Principales fonctions
AA essentiels		
Isoleucine	350 mg (50% des AJR)	Indispensable dans le processus de croissance
Leucine	540 mg (49% des AJR)	Stimule les fonctions cérébrales
Lysine	290 mg (36% des AJR)	Production d'Anti corps, d'enzymes, d'hormones
Méthionine	140 mg (23% des AJR)	Antioxydant puissant
Phénylalanine	280 mg (140% des AJR)	Indispensable à la thyroïde
Thréonine	320 mg (64% des AJR)	Améliore la fonction digestive et intestinale
Tryptophane	100 mg (48% des AJR)	Contribue à la synthèse de sérotonine
Valine	400 mg (44% des AJR)	Stimule les capacités mentales et physiques
AA non essentiels		
Alanine	470 mg	Participe au métabolisme du glucose
Arginine	430 mg	Participe à la sécrétion de l'hormone de croissance
Acide aspartique	610 mg	Participe à la synthèse de plusieurs acides aminés
Cystine	60 mg	Indispensable pour l'utilisation de la vitamine B6
Acide glutamique	910 mg	Indispensable dans le métabolisme azoté
Glycine	320 mg	Intervient dans la production de l'ADN et l'ARN
Histidine	100 mg	Indispensable dans le processus de croissance
Proline	270 mg	Indispensable dans la production de collagène
Tyrosine	300 mg	Précurseurs de la dopamine, production thyroxine
Sérine	320 mg	Indispensable à la formation des membranes des cellules, protection des nerfs et synthèse de créatine

*AA : Acides Aminés, AJR : Apports Journaliers Recommandés.

I.2.2. Glucides

Les glucides représentent environ 15% à 25% de la matière sèche de la spiruline (**Hug et vonder Weid, 2011**), et sont principalement fournis sous forme de glycogène et de rhamnose. Le glucose, le fructose, le saccharose et certains polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol ne sont présents qu'en très faible quantité (**Niangoran, 2017**).

I.2.3. Lipides

Les lipides représentent généralement de 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11%. La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés (AGPI). Elle se subdivise en

Chapitre I : La spiruline

deux fractions : une fraction saponifiable « ou acides gras » (83%) et une fraction insaponifiable (17%) (Charpy et al., 2008).

I.2.4. Minéraux

Les minéraux particulièrement intéressants de la spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (Tableau 2).

Tableau 2 : La teneur moyenne et les principales fonctions des minéraux et oligo-éléments de Spiruline (Manet, 2016).

Minéraux et Oligoéléments	Teneur moy/10g de spiruline	Principales fonctions
Calcium	130 mg (10% des AJR)	-Édification et renouvellement du squelette -Rythme cardiaque, système nerveux
Phosphore	67 mg (8 % des AJR)	-Masse minérale du squelette osseux -Réactions biochimiques de l'organisme
Fer	7-18 mg (50 à 100% des AJR)	-Fabrication et fonctionnement de l'hémoglobine -Constitution de myoglobine
Zinc	0.4 mg (4% des AJR)	-Activation de plus de 200 enzymes
Magnésium	25-50 mg (9 à 25% des AJR)	- Masse minérale du squelette osseux -Métabolisme glucidique et lipidique (muscle, coeur, axe nerveux)
Potassium	100-200 mg (5-10% des AJR)	-perméabilité des membranes - régulation du rythme cardiaque
Sodium	0.09 mg	-Régulation pression osmotique -Maintien de l'équilibre hydro-électrolytique et de la masse hydrique
Sélénium	0.1-2.55 mg (20-100% des AJR)	-Cofacteur des enzymes anti oxydantes -Stimulant de l'immunité
Cuivre	0.1mg (5% des AJR)	-Cofacteur de nombreuses enzymes -Anti-inflammatoire, antioxydant

Chapitre I : La spiruline

Manganèse	0.4 mg (12% des AJR)	-Formations des os et des enzymes -Métabolisme protéines, lipides, glucides -Stabilise taux de glucose sanguin
Chrome	0.03-0.25 mg (16% des AJR)	-Métabolisme glucides, lipides, acides nucléiques, cholestérol

I.2.5. Vitamines

La Spiruline contient une large gamme de vitamines (Tableau 3).

Tableau 3 : Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de Spiruline d'après (**Charpy et al, 2008**) complété par d'autres références pour la Vitamine E

Vitamine	Teneur	Vitamine	Teneur
Vitamines hydrosolubles	Vitamines liposolubles		
B1 (thiamine)	34-50	Provitamine A (β-carotène)	700-1700
B2 (riboflavine)	30-46	Cryptoxanthine	100
B3 (niacine)	130	Vitamine E (alpha-tocophérol)	120 50-190 13
B5 (pantothénate)	4,6-25		
B6 (pyridoxine)	5-8		
B8 (biotine)	0,05		
B9 (folate)	0,5		
B12 (cobalamine)	0.10-0.34		
C (acide ascorbique)	Traces		

I.2.6. Enzymes

De nombreuses enzymes interviennent également dans la composition de la spiruline, un type de des "facilitateur" biologiques, dont la SOD spéciale (superoxydedismutase), qui représentent une arme majeure contre l'oxydation ou le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**). La biodisponibilité de la SOD est importante grâce à la membrane de spiruline sans cellulose (**Manet, 2016**).

I.1.7. Pigment

Les pigments sont des substances naturelles qui donnent des couleurs à un organisme. Ils apparaissent comme indispensables à la vie puisqu'ils interviennent dans diverses réactions

moléculaires et de synthèse d'enzymes, nécessaires à l'équilibre de l'organisme. Ces pigments peuvent provenir de sources animales, végétales ou minérales. La spiruline n'en contient pas moins d'une quinzaine et quatre se révèlent déjà particulièrement intéressants (**Laurent, 2019**).

Tableau 4 : Teneur en pigment exprimée en mg pour 10g de matière *Spirulina platensis* séchée (**Pierlovisi, 2007**)

Pigments	Teneur en mg/100g
Chlorophylles totales	115
Chlorophylle a	61-75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500-2000
Phycoérythrine (rouge)	2900-10000

I.2.8. Acides nucléiques

La Spiruline renferme 4,2 à 6% d'acides nucléiques totaux (30% ADN et 70% ARN) dans sa matière sèche (**Charpy et al, 2008**).

Le rapport de l'ADN serait un quart à un tiers de celui de l'ARN. La teneur en acides nucléiques de la spiruline est bien inférieure à la teneur générale en protozoaires. Sur la base

de valeurs moyennes d'acides nucléiques de 5%, la limite quotidienne est de 4 grammes d'acides nucléiques correspondant au contenu de 80 grammes de spiruline séchée. Cette quantité équivaut à environ huit fois la dose recommandée de spiruline en tant que complément alimentaire.

Par conséquent, on peut raisonnablement supposer que la teneur en acides nucléiques de la spiruline ne pose aucun problème, même à long terme et à fortes doses (**Flaquet et Hurni, 2006**).

I.3. Principales applications de la spiruline

I.3.1. En alimentation humaine

La composition chimique de la spiruline et sa valeur nutritionnelle exceptionnelle sont le fruit de nombreuses applications thérapeutiques dont le traitement des carences nutritionnelles.

Dans les pays développés et plus récemment dans certaines régions d'Afrique, la spiruline est consommée comme complément "sain" (**Sawadogo et al., 2004**).

I.3.2. En alimentation animale

Comme l'homme, la spiruline renforce également les défenses naturelles des animaux. Elle joue un rôle important dans le maintien de son système immunitaire, lui permettant de lutter contre un certain nombre de maladies et de lutter contre le vieillissement et la fatigue. Les chiens, les chats, les poissons et les chevaux sont des animaux que la spiruline est couramment utilisée. Chez le cheval, sa consommation est très fréquente pendant la croissance, la compétition ou la convalescence. A noter également que les bons éleveurs de poulets n'hésitent pas à ajouter de la spiruline leurs méthodes diététiques. C'est la manière du connaisseur de contribuer à la ponte d'œufs de bien meilleure qualité (**Casal, 2019**).

I.3.3. En cosmétique

En cosmétique, la spiruline est utilisée dans les masques cryogéniques et les crèmes anti-âge, grâce à ses effets régénérant cellulaires et tenseurs tissulaires.

Elle est également utilisée en combinaison avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique (**Charpy et al., 2008**).

I.3.4. En thérapeutique

La spiruline s'avère être un trésor de vertus thérapeutiques grâce au potentiel de la phycocyanine induit dans la lutte anti-cancer, SIDA, diabète et propriétés anti-inflammatoires et hépatoprotectrices (**Khouas, 2013**).

Chapitre II :
polyphénols et leurs
activités

II.1 Présentation générale sur les polyphénols

Les polyphénols, dénommés aussi composés phénoliques (**Achat., 2013**). Les plantes ont besoin de métabolites secondaires appelés polyphénols naturels pour se défendre contre les agressions extérieures. Bien que ces polyphénols soient produits en quantité très faible, ils présentent une grande diversité structurale, avec plus de 200 000 structures différentes qui ont été définies (**Hartmann., 2007**).

Les polyphénols, également connus sous le nom de composés phénoliques, sont des métabolites secondaires qui se distinguent par la présence d'un cycle aromatique avec des groupements hydroxyles libres ou liés à un glucide. Ils se trouvent dans toutes les parties des plantes supérieures, y compris les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs, les pollens, les fruits, les graines et le bois (**Bouchouka., 2016**). Les polyphénols ont un rôle important dans la croissance des plantes et leur capacité à lutter contre les agents pathogènes et les infections. Les flavonoïdes, une sous-classe de polyphénols, contribuent à la coloration des fruits, des fleurs et des feuilles des plantes (**El Gharras., 2009**). L'activité antioxydante des polyphénols est reconnue et pourrait expliquer leur rôle potentiel dans la prévention de plusieurs maladies associées au stress oxydatif, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires.

II.1.1. Localisation et répartition

Les composés phénoliques constituent les principes actifs de nombreuses plantes médicinales. On les trouve, d'une manière générale, dans toutes les plantes vasculaires. La répartition des composés phénoliques est très caractéristique. Ils s'accumulent principalement dans deux sites: d'une part dans la paroi cellulaire où sont présentes les lignines et d'autre part dans la vacuole où sont stockés les phénols solubles (acide chlorogénique, anthocyanes, flavonols, tanin...). Certains flavonoïdes pourraient également être présents au niveau du noyau et de la membrane plasmique mais toujours à faible concentration (**Peer et al., 2001**).

II.1.2. Classification

Les polyphénols sont impliqués dans divers processus physiologiques tels que la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits (**Boizot et Charpentier., 2006**). Ils regroupent un vaste ensemble de plus de 8000 molécules, divisés en une dizaine de classes chimiques, qui présentent tous un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles OH (**Hennebelle et al., 2004**). Ils résultent bio

génétiquement de deux voies synthétiques principales : la voie shikimate et acétate (**Lugasi et al., 2003**). Les plantes contiennent un groupe important de composés phytochimiques appelés composés phénoliques, qui comprennent les acides phénoliques, les flavonoïdes simples et les pro-anthocyanidines. Ces composés sont considérés comme les métabolites secondaires les plus importants des plantes (**Beta et al., 2005**).

II.1.3. Principales classes des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont classés selon le nombre d'atome de carbone dans le squelette de base, ces structures peuvent être sous forme libres ou liées à l'ester ou hétérosides (**Bruneton, 1999**). Les différentes classes de ces composés phénoliques sont:

II.1.3.1 Acide phénolique

On retrouve dans les aliments de nombreux acides phénoliques, qui peuvent être classés en deux catégories principales : les dérivés de l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique. Les acides hydroxycinnamiques sont plus courants que les acides hydroxybenzoïques, et comprennent notamment l'acide p-coumarique, l'acide caféique, l'acide férulique et l'acide sinapique (**Pandey et Rizvi, 2009**).

II.1.3.2 Tanins

Les tanins sont des composés polyphénoliques d'origine végétale, dépourvus d'azote, et on les trouve dans de nombreux végétaux tels que les écorces d'arbres, les fruits (raisin, datte, café, cacao...) et les feuilles de thé. Ces composés, solubles dans l'eau, ont une masse molaire comprise entre 500 et 2000 D et présentent des structures variées, mais ont en commun la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et les protéines (**Vermerris et al., 2006**). Utilisés depuis l'antiquité par l'homme pour le traitement des peaux d'animaux, les tanins ont une importance économique et écologique importante parmi les caractéristiques des tanins le goût astringence qui est une sensation tactile due à la précipitation des protéines salivaires et qui crée une sensation d'assèchement dans la bouche (**Peronny, 2005**).

II.1.3.3. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont une classe importante de métabolites secondaires présents dans de nombreuses plantes. Ils sont largement répandus dans le monde végétal et sont responsables en partie de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. En fait, ils forment un groupe comprenant plus de 6000 composés naturels différents, ce qui en fait une

classe de composés très diversifiée (**Ghedira., 2005**), qui sont caractérisés par la présence d'une structure phénolique dans leur molécule, et même d'une structure flavone ce qui les distingue des autres polyphénols. Aujourd'hui plus de 9000 flavonoïdes ont été répertoriés et il en reste des milliers d'autres à découvrir puisque le squelette des flavonoïdes peut être substitué par différents groupements comme des groupements hydroxy, méthoxy, méthyl, benzyl et isoprényl (**Beecher, 2003 ; Williams et Grayer, 2004 ; Kueny-Stotz, 2008**).

II.1.3.4. Anthocyanes

Les anthocyanes sont des pigments qui appartiennent à la famille des flavonoïdes et qui sont capables d'absorber la lumière visible, leur présence dans les plantes étant détectable à l'œil nu. Ils regroupent les anthocyanidols et leurs dérivés glycosylés, et peuvent donner des couleurs bleues, rouges, mauves, roses ou orange aux plantes. Ils sont principalement localisés dans les vacuoles des cellules épidermiques, mais on peut également les trouver dans les racines, les tiges, les feuilles et les graines. En automne, les couleurs caractéristiques des feuilles des arbres sont dues aux anthocyanes et aux caroténoïdes qui ne sont plus masqués par la chlorophylle (**Bessas *et al.*, 2007**).

II.1.3.5. Coumarines

Les coumarines sont une classe de composés naturels présents dans de nombreuses plantes et sont responsables de leur odeur caractéristique rappelant celle du foin fraîchement coupé. Ils sont présents dans toutes les parties de la plante, en particulier dans les fruits et les huiles essentielles des graines. Les coumarines ne se trouvent pas chez les algues mais sont les constituants caractéristiques du règne végétal chlorophyllien. Les familles de plantes les plus riches en coumarines sont les légumineuses, les rutacées, les apiacées et les thyméléacées (**Guignard, 1998 ; Deina *et al.*, 2003 ; Booth *et al.*, 2004**).

II.1.3.6. Quinones

Les quinones sont des noyaux aromatiques possédant deux substitutions cétones, leur donnant une couleur brillante généralement rouge, jaune ou orange. Ils sont responsables de la réaction de brunissement qui se produit lorsque les fruits et légumes sont coupés ou endommagés. En plus de servir de source de radicaux libres stables, les quinones sont également connus pour se lier de manière irréversible avec les nucléophiles des acides aminés dans les protéines. Cette liaison altère la fonction des protéines et les inactivent (**Arif *et al.*, 2009**). On trouve les quinones dans les végétaux, les champignons et les bactéries. Les

organismes animaux contiennent également des quinones, comme par exemple la vitamine K qui est impliquée dans la coagulation du sang. Les quinones sont utilisées dans les colorants, les médicaments et dans les fongicides (**Kansole, 2009**).

II.1.4. Propriétés biologiques des polyphénols

II.1.4.1. Activité antioxydante

Les polyphénols, tout comme la vitamine C et les caroténoïdes, ont la capacité de capturer les radicaux libres produits constamment par notre corps ou formés en réponse à des agressions de notre environnement, telles que le tabac, les polluants ou les infections. Lorsqu'ils sont consommés avec des aliments, ces polyphénols renforcent nos défenses naturelles en protégeant nos cellules et nos tissus contre le stress oxydatif (**Scalbert, 2004**). Les flavonoïdes, peuvent empêcher les dommages oxydatifs par différents mécanismes d'actions: soit par capture des radicaux hydroxyles, superoxydes et peroxydes (**Hodek et al., 2002**) ; soit par chélation des métaux (le fer et le cuivre) qui sont d'importance majeure dans l'initiation des réactions radicalaires ; soit l'inhibition des enzymes responsables de la génération des radicaux libres (**Van Acker et al., 1996 ; Benavente-Garcia et al., 1997**). Concernant le pouvoir antioxydant des tannins, cette propriété est très remarquable due à leurs noyaux phénols (**Rahman et al., 2006**). Les autres composés phénoliques qui possèdent les activités antioxydantes et antiradicalaires sont l'acide caféique, l'acide gallique et l'acide chlorogénique (**Bossokpi, 2002**).

II.1.4.2. Activité antimicrobienne

Les polyphénols, en particulier les flavonoïdes et les tanins, sont connus pour leur toxicité envers les microorganismes. Ce mécanisme de toxicité peut être lié à l'inhibition des enzymes hydrolytiques telles que les protéases et les carbohydrases, ou à d'autres interactions visant à neutraliser les adhésines microbiennes, les protéines de transport et les enveloppes cellulaires (**Cowan, 1999**). Des recherches ont révélé que les raisins de l'espèce *Vitisvinifera* ont des propriétés pharmacologiques significatives, en particulier des activités antimicrobiennes, grâce à la présence de nombreux polyphénols, notamment d'acide gallique, l'acide hydroxycinnamique, de flavanols, de flavonols et de tanins (**Nassiri-asl et Hosseinzadeh, 2009**).

Une étude faite sur *Tibouchina grandifolia* a montré une forte activité antifongique de flavonoïde contre différents types de moisissures (**Kuster et al., 2009**). Pour l'acide caféique,

il se montre très efficace contre les virus, bactéries et champignons (**Cowan, 1999**). Les flavonoïdes sont aussi connus pour leur activité antivirale, principalement contre le rétrovirus HIV responsable du symptôme d'immunodéficience acquise (SIDA), virus d'influenza, virus de l'herpès (HV), adénovirus (ADV) et virus de la grippe A (A/WS/33) (**Choi et al., 2009**).

II.1.4.3. Activités anti-inflammatoire

L'inflammation est la réponse immunitaire de l'organisme à une agression par des agents pro-inflammatoires d'origine virale, bactérienne ou autre (par exemple, les lipoprotéines oxydées, marqueurs du stress oxydant). L'inflammation est précisément régulée afin de limiter les altérations des biomolécules de l'hôte. Cependant, une régulation inappropriée de ce phénomène peut conduire à un état inflammatoire chronique (**Bengmark, 2004**), et la plupart des pathologies chroniques citées précédemment possèdent une composante inflammatoire (**Hotamisligil, 2006**).

Les différentes études menées sur les effets protecteurs des polyphénols dans ces contextes pathologiques ont montré que ceux-ci diminuent les marqueurs de l'inflammation (**Gonzalez-Gallego et al., 2010**) et agissaient sur de nombreuses cibles moléculaires au centre des voies de signalisation de l'inflammation (**Santangelo et al., 2007**). Dans la famille des stilbènes, le resvératrol a montré des propriétés anti-inflammatoires *in vivo* et *in vitro*. Les recherches se tournent actuellement vers la synthèse de produits à base de resvératrol dans le but de diminuer l'utilisation de médicaments synthétiques (**Udaigwe et al., 2008**).

II.1.5. Rôles des polyphénols dans les plantes

Les flavonoïdes sont responsables de la coloration des fleurs et des fruits qui couvrent une large gamme de couleur allant du rouge au violet en passant par le jaune. Leur couleur dépend de leur structure, mais aussi de l'acidité du milieu (**Bruneton, 2009**). On peut également noter que les flavonoïdes, en repoussant certains insectes par leur goût désagréable, peuvent jouer un rôle dans la protection des plantes. Les flavonoïdes montrent d'autres propriétés intéressantes dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec diverses hormones végétales de croissance. Certains d'entre eux jouent également un rôle de phytoalexines, c'est-à-dire des métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries (**Ghadba et al., 2015**). De plus, ils sont impliqués dans la

photosensibilisation, la morphogenèse, la détermination sexuelle, la photosynthèse et la régulation des hormones de croissance des plantes (Lhuillier, 2007).

II.2. Stress oxydatif

II.2.1. Généralités

Ces dernières années l'intérêt vis-à-vis de la biologie des radicaux libres ne cesse de croître à cause de leur implication dans de nombreuses pathologies chroniques. Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques, car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable (régulation des réponses biologiques, transduction du signal) (Favier, 2003; Wang *et al.*, 2008). Cette production est maîtrisée bien par le système de défense. Dans ces circonstances normales, on dit que la balance antioxydants/pro-oxydants est en équilibre. Si tel n'est pas le cas, l'excès de ces radicaux est appelé « stress oxydant » (Favier, 2003).

II.2.2. Définition

Le stress oxydatif est défini par Zbadi *et al.* (2018) comme étant le résultat d'un déséquilibre de la balance de production d'ERO et les systèmes antioxydants. C'est un phénomène physiopathologique conduisant à un excès de radicaux oxygénés toxiques non maîtrisés par les systèmes de défense de l'organisme. Cet excès est un facteur clé favorisant l'apparition de nombreuses pathologies chroniques tels que le cancer, des pathologies oculaires, des maladies neuro-dégénératives (maladie d'Alzheimer, sclérose latérale), les maladies cardio- vasculaires, diabète et vieillissement accéléré (Zbadi *et al.*, 2018).

II.2.3. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des atomes ou des molécules portant un électron non apparié. Cette propriété rend ces éléments très réactifs du fait de la tendance de cet électron à se réappairer, déstabilisant ainsi d'autres molécules. Les molécules ainsi transformées deviennent à leur tour d'autres radicaux libres et initient ainsi une réaction en chaîne. C'est typiquement ce qui se passe lors de la peroxydation lipidique (Dacosta, 2003 ; Vansant, 2004). Les mitochondries, qui consomment plus de 90% de l'oxygène dans les organismes vivants aérobies, constituent la source de radicaux libres. Au niveau de la mitochondries, l'oxygène est réduit à l'eau par 4 étapes séquentielles (Ames *et al.*, 1993).

Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer un ensemble restreint de composés radicalaires qui jouent un rôle

particulier en physiologie et que nous appellerons radicaux libres primaires, qui dérivent directement de l'oxygène. L'ensemble des radicaux libres primaires est souvent appelé "espèces réactives de l'oxygène" (ROS). Environ 1% à 5% de l'oxygène consommé par les mitochondries est réduit et converti en ces ROS (Ames *et al.*, 1993). Les autres radicaux libres, dits radicaux secondaires [Radical peroxy (ROO•), etc.], se forment par réaction de ces radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule (Novelli, 1997).

II.2.4. Conséquences du stress oxydant

Les conséquences biologiques du stress oxydant seront extrêmement variables selon la dose et le type cellulaire. Il est responsable du dommage cellulaire lié au vieillissement avec une diminution des défenses antioxydants et augmentation de la production mitochondriale de radicaux (Sohal *et al.*, 2002), aux maladies cardiovasculaires, au cancer, malformation des fœtus et à la plupart des maladies dégénératives (Montagnier *et al.*, 1998 ; Favier, 2003 ; Black *et al.*, 2017). Les substances qui sont capables de réduire les dommages causés par ces radicaux libres dans l'organisme et qui permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques de ROS sont ce qu'on appelle « les antioxydants » (Vansant, 2004).

II.3. Antioxydants

D'après Halliwell et Gutteridge (1999) : « Un antioxydant est toute substance, présente à une concentration inférieure à celle du substrat oxydable, qui est capable de retarder ou de prévenir l'oxydation de ce substrat ».

Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme et permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques de ROS (Vansant, 2004).

Notre organisme réagit donc de façon constante à cette production permanente de radicaux libres et on distingue au niveau des cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule (Favier, 2003).

II.3.1. Antioxydants primaires

La cellule contient des enzymes antioxydants, systèmes de défense très efficaces, qui permettent l'élimination des radicaux libres primaires. Cette ligne de défense est constituée de superoxydedismutase (SOD), de catalase et de peroxydase (glutathion et ascorbate) qui

contribuent à la protection des membranes de la peroxydation lipidique (**Lehucher-Michel, 2001 ; Dacosta, 2003**).

II.3.2. Antioxydants secondaires

Il s'agit des molécules exogènes. Pour combattre le stress oxydant, il est nécessaire d'aider la cellule et l'organisme par un apport d'antioxydants secondaires. Cela inclue : la vitamine E, l'acide ascorbique, la β -carotène, les flavonoïdes, les composés phénoliques, etc. (**Kohen et Nyska, 2002**).

II.4. Mécanismes et pouvoir antioxydant des polyphénols

Plusieurs études épidémiologiques ont démontré une corrélation négative entre la consommation d'aliments riches en polyphénols et la prévalence de maladies neuro-dégénératives (**Hu, 2003 ; Bujanja-Sonja et al., 2011**).

Cette relation est liée au fait que les composés phénoliques possèdent des propriétés anti-oxydantes et sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés en réponse à des agressions de notre environnement tels que O_2 (Superoxide anion), HO_2 (Superoxide radical), H_2O_2 (Hydrogène peroxyde), OH (Hydroxyl Radical), RO- (Alkoxy Radical), ROO- (Superoxy Radical) (**Bors, 1990 ; Yamasaki et al., 1996**). Ils formeraient des espèces radicalaires intermédiaires peu réactives (**Laughton et al., 1989 ; Puppo, 1992**)

Les antioxydants agissent de diverses façons, notamment en captant l'oxygène singulier, en désactivant les radicaux par une réaction d'addition covalente, en réduisant les radicaux ou les peroxydes et en chélatant les métaux de transition. En général, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant plus rapidement lui-même. Ce mécanisme résulte souvent de la structure de donneurs d'atomes d'hydrogène ou d'électrons, tels que les dérivés phénoliques aromatiques (**Hellal, 2011**).

Chapitre III : La Mayonnaise

III.1. Historique

La mayonnaise est un condiment largement utilisé à travers le monde depuis des siècles. Bien que son origine exacte soit controversée, elle a été commercialisée pour la première fois au début des années 1900 et est devenue populaire en Amérique de 1917 à 1927 (**Harrison et Cunningham, 1985**).

III.2. Définition

Il s'agit d'une émulsion semi-solide composée d'huile (en tant que phase discontinue) dans de l'eau (en tant que phase continue) (**Shen et al., 2011**). Les propriétés viscoélastiques de la mayonnaise sont dues à la formation d'un réseau de lipoprotéines qui sont adsorbées autour des gouttes d'huile environnantes. C'est cette structure qui confère à la mayonnaise sa texture unique (**MA et Canovas, 1995**). En raison de son pH faible et de sa teneur élevée en graisse, elle est relativement résistante à la détérioration microbienne. Bien que les levures et les moisissures puissent causer des dommages, relativement peu d'autres organismes ont été isolés de la mayonnaise (**Fabian et Wetherington, 1950**). Les émulsions sont des systèmes dispersés métastables constitués d'au moins deux liquides non miscibles et d'un agent amphiphile. L'un des liquides est dispersé dans le second sous forme de petites gouttes sphériques dont la taille varie selon les conditions de 0,1 à quelques dizaines de micromètres (**Arditty, 2004**).

III.3. Ingrédients de la mayonnaise

La mayonnaise est une sauce condimentaire qui est obtenue par l'émulsion d'une ou plusieurs huiles alimentaires dans une phase aqueuse à base de vinaigre, en utilisant du jaune d'œuf pour produire l'émulsion huile dans l'eau. Selon les préférences, la mayonnaise peut contenir des ingrédients facultatifs conformément à la section des ingrédients généraux (**Anonyme, 2006**).

III.3.1 Huile

La qualité initiale de la mayonnaise dépend fortement de la fraîcheur de l'huile utilisée, car elle est exposée à des facteurs oxydants tels que l'eau, l'air et la lumière, qui peuvent altérer la qualité de l'huile. Les additifs ajoutés à la mayonnaise ne peuvent pas dissimuler ou compenser le goût rance de l'huile oxydée. Par conséquent, il est essentiel d'utiliser de l'huile fraîche pour garantir la qualité et la saveur de la mayonnaise (**Kone, 2001**). Le choix de la mayonnaise dépend de la stabilité de l'huile à l'auto-oxydation, un critère crucial. Les

ingrédients tels que le jaune d'œuf, le vinaigre, les additifs et l'oxygène dissous, ainsi que les traces métalliques qu'ils peuvent contenir, favorisent également l'auto-oxydation. De plus, la présence de cires peut raccourcir la durée de vie de la mayonnaise, car elles ont tendance à cristalliser pendant le stockage (**Kone, 2001**).

III.3.2 Lécithine

La lécithine est un lipide présent dans le jaune d'œuf à hauteur de 30%. Grâce à sa structure unique qui comporte une tête hydrophile et une queue hydrophobe, elle est considérée comme un tensioactif, c'est-à-dire qu'elle peut modifier la tension superficielle entre deux surfaces (**Gastronomayo, 1901**).

III.3.3 Jaune d'œuf

La présence de jaune d'œuf dans la mayonnaise est principalement due à ses propriétés émulsifiantes qui sont attribuées à la combinaison de la lécithine (33%) et des protéines (16%) qu'il contient. Cette combinaison permet de former et de stabiliser l'émulsion huile-eau caractéristique de la mayonnaise. Le jaune d'œuf utilisé pour la fabrication de la mayonnaise peut être présenté sous différentes formes telles que fraîches, congelées, en poudre ou concentrées (**Kone, 2001**).

III.3.4 Sel

Dans le sel de cuisine (NaCl), les ions sodium (Na^+) ont une charge positive qui est opposée à celles des groupes phosphates présents sur les extrémités polaires des lécithines. Ainsi, le sodium neutralise ces groupes qui sont chargés négativement. En revanche, les ions chlorure (Cl^-) ont une charge négative qui neutralise les charges positives des atomes d'azote. Cette neutralisation des charges permet de réduire les répulsions électrostatiques entre les têtes polaires des micelles présentes dans la mayonnaise, ce qui rend la mayonnaise plus stable (**Gastronomayo, 1901**).

III.3.5 Poivre

En effet, le poivre n'apporte pas seulement des qualités gustatives à la mayonnaise, mais il peut également avoir d'autres effets. Le poivre noir est connu pour contenir des composés actifs tels que la pipérine, qui peut améliorer la biodisponibilité des nutriments en améliorant la digestion. De plus, le poivre est également riche en antioxydants qui peuvent aider à protéger les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres (**Gastronomayo, 1901**).

III.3.6 Moutarde

La moutarde joue un rôle important dans la dispersion des micelles dans la mayonnaise, car elle contient une quantité d'eau plus élevée que celle de l'huile. Cela permet aux micelles de se disperser plus facilement dans l'eau et contribue à la consistance de la mayonnaise (**Gastronomayo, 1901**).

Les ingrédients utilisés pour la préparation de la mayonnaise varient en fonction du niveau de préparation. Au niveau domestique ou traditionnel, la mayonnaise est préparée à partir d'ingrédients simples, tandis qu'au niveau industriel, elle est préparée à partir de plusieurs ingrédients. La mayonnaise traditionnelle est préparée en mélangeant soigneusement le jaune d'œuf, le vinaigre, l'huile et des épices, en particulier de la moutarde. Cette méthode de préparation de la mayonnaise contient généralement 70 à 80 % de matières grasses (**Shenn et al., 2011**).

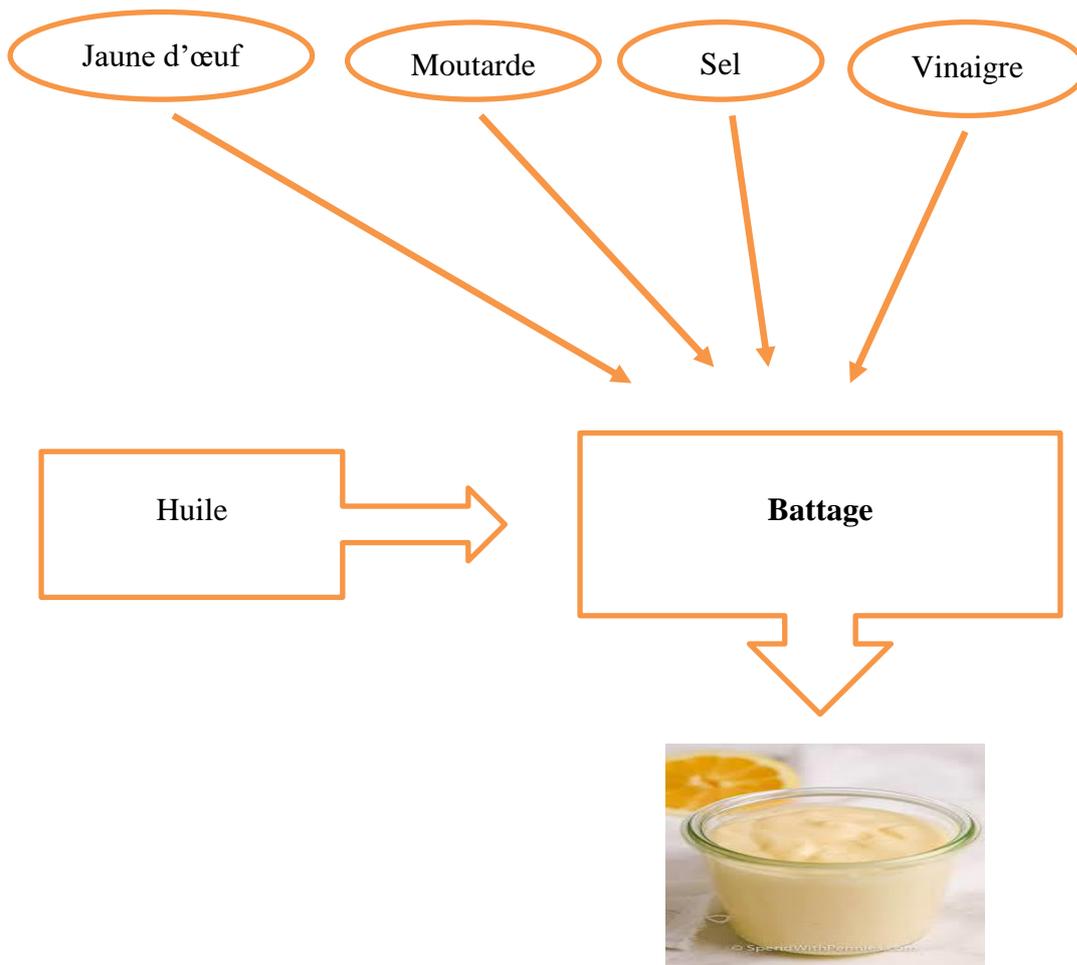


Figure 4 : Préparation traditionnelle de la mayonnaise

III.4. Processus de production industrielle de la mayonnaise

Il existe deux types de processus de production pour la mayonnaise : discontinu et continu. Ces deux types de processus peuvent être subdivisés en processus froids et semi-chauds. Dans le processus à froid, toutes les opérations de fabrication, notamment le mélange des ingrédients, la formation de l'émulsion lors de l'homogénéisation et le conditionnement, sont effectuées à basse température. Cependant, dans le processus semi-chaud, les ingrédients tels que l'eau et les épices sont pasteurisés à 80°C pendant quelques minutes, puis refroidis. Les autres opérations sont similaires au processus à froid, car l'homogénéisation nécessite une basse température pour former une émulsion stable (Saarela et al., 2010).

III.5. Valeur nutritionnelle de la mayonnaise

La valeur nutritionnelle de la mayonnaise est étroitement liée aux ingrédients utilisés durant la préparation (Mann et Truswell., 2002). Le tableau (05) montre la composition biochimique de la mayonnaise.

Tableau 5: Valeurs nutritionnelles de la mayonnaise (Anonyme, 2012).

Valeur énergétique	721kcal (2965 kJ)
Protéines	1,2g
Glucides	0,5g
Lipides	79,3g
Acides gras saturés	8,8g
Fibres	0,2g
Sodium	395g

-Tous les ingrédients doivent être de bonne qualité et convenir à la consommation;

-L'eau doit être de qualité potable;

-Les œufs et les produits à base d'œufs doivent être des œufs de poule (Anonyme, 2006).

III.6. Conservation

La mayonnaise est généralement stockée dans des bouteilles ou des pots en verre ou en plastique et doit être conservée à basse température, à savoir au réfrigérateur, à la fois avant et après ouverture d'emballage (Feriel et al., 2008).

III.7. Qualité microbiologique de la mayonnaise

Les mayonnaises sont sensibles aux contaminations microbiologiques, en particulier le jaune d'œuf frais qui peut être contaminé. La stabilité de la mayonnaise dépend de facteurs tels que la quantité d'eau disponible pour les micro-organismes et le pH. Ainsi, un contrôle rigoureux basé sur les bonnes pratiques de fabrication (GMP=Good Manufacturing Practices) ainsi que sur la qualité des matières premières, notamment les œufs, est crucial pour garantir la qualité du produit fini. De plus, il est important de prendre en compte la qualité de l'air et des emballages utilisés (Kone., 2001). La réglementation algérienne préconise la recherche de microorganismes cités dans le Tableau (06).

Tableau 6 : Critères microbiologiques de la mayonnaise (JORA N°39 de Juillet 2017)

Catégories de denrées alimentaires	Microorganismes	Plan Echantillonnage		Limite microbiologique UFC/g	
		n	c	m	M
Mayonnaise non stabilisée	Germe aérobies à 30	5	2	10 ⁴	10 ⁵
	Levures et moisissures	5	2	10 ²	10 ³
	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10	10 ²
	<i>Staphylocoques</i> à coagulase+	5	2	10 ²	10 ³
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25g	
Mayonnaise stabilisée	Levures et moisissures	5	2	10	10 ²
	<i>Escherichia coli</i>	5	2	4	40
	<i>Staphylocoques</i> à coagulase+	5	2	10	10 ²
	<i>Salmonella</i>	5	2	Absence dans 25g	

Partie

expérimentale

I. Matériel et méthodes

I.1. Matière végétale

Les échantillons de spiruline utilisée dans cette étude ont été achetés sous forme de poudre conditionnée en sac de contenance de 100g (figure 6) auprès d'un laboratoire de contrôle qualité au niveau de la ville Guelma.



Figure 5 : Spiruline en poudre

I.2. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) a été déterminée selon la méthode de **Singleton et Rossi (1965)** en utilisant le réactif de Folin-ciocalteu. Cette méthode est utilisée pour déterminer la teneur en polyphénols des plantes médicinales et des aliments (**Abdel-Hameed, 2009**). Le réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀). C'est un mélange d'oxydes bleus de phénol, de tungstène et de molybdène. La couleur est directement proportionnelle à la quantité de polyphénols contenus dans l'extrait végétal (**Boizot et Charpentier, 2006**).

I.2.1. Préparation de l'extrait de la spiruline

Une dose de 10 mg de poudre de spiruline a été trempée dans 10 ml d'éthanol pendant 10 min à température ambiante. L'extrait a été récupéré après filtration du mélange avec du papier filtre, ainsi un extrait caractérisé par une couleur verte obtenu.

I.2.2. Dosage des polyphénols

Une courbe d'étalonnage a été obtenue à partir de solution d'acide gallique de différentes concentrations préparées d'une solution mère de 1 mg d'acide gallique/ml de méthanol (polyphénol témoin ou standard utilisée dans cette méthode) (**Haddad et Reghmit, 2017**). 200 µl d'extrait aqueux de spiruline (préparé dans l'éthanol avec des dilutions convenables) ont été ajoutés à 1ml de réactif de Folin-ciocalteu (dilué 10 fois). Après l'agitation avec le vortex (pendant quelques secondes), les tubes ont été incubés à température ambiante pendant 5min à l'obscurité, un volume de 0,8 ml (800µl) d'une solution de carbonates de sodium (Na₂CO₃) (75mg/ml) a été additionné au milieu réactionnel avec agitation.

Après 90 min d'incubation à température ambiante, l'absorbance des échantillons (de couleur bleue) a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV Visible.

La concentration en polyphénols déduite de la courbe l'étalonnage qui a été établi avec l'acide gallique et exprimé en milligrammes équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g). Tous le test a été répété au moins trois fois.

I.3. Détermination de l'activité antibactérienne de la spiruline

I.3.1. Caractérisation des souches isolées

Les bactéries de référence ont été utilisées : *Staphylococcus aureus* ATCC 33862 et *Escherichia coli* ATCC 25922, du laboratoire de bactériologie de l'établissement public hospitalier IBN ZOHR, Guelma.

Des tests confirmant l'identité des souches ont été réalisés (coloration de Gram, tests catalase et oxydase) et un renouvellement de conservation a été effectué après caractérisation.

I.3.1.1. Aspect macroscopique des cultures

C'est une observation visuelle ou binoculaire des colonies obtenues sur gélose (Chapman et Mc-Conckey). Il s'agit d'un test direct qui fournit des informations sur la forme, la taille, la consistance, l'odeur, le contour et la couleur des colonies.

I.3.1.2. Caractères morphologiques

Après l'examen macroscopique des colonies sur gélose, une vérification microscopique d'une tache colorée. Cela a donné une idée de morphologie des cellules, de mode de

Matériel & méthodes

regroupement ou d'association et leurs caractéristiques structurales. La coloration discriminante la plus connue est la coloration de Gram (voir annexe 2) qui a été utilisée pour distinguer les bactéries Gram+ et Gram -.

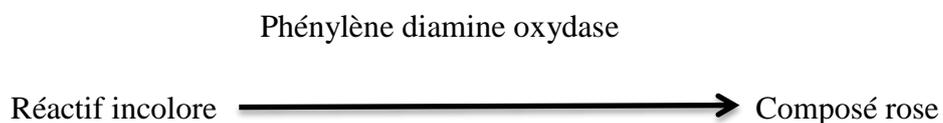
I.3.1.3. Caractères biochimiques et physiologiques

➤ Test de catalase

La catalase est une enzyme qui catalyse la dégradation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et oxygène selon la réaction suivante : $H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$. La technique consiste à déposer une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes sur une lame séchée et bien nettoyé et à l'aide d'une anse de platine, une colonie a été isolée du milieu de culture pendant moins de 24 h de cette souche pour le test. La lecture a été immédiate : s'il y a de la mousse, la souche testée est dite catalase+, sinon elle est considérée catalase-.

➤ Recherche de l'oxydase

Ce test permet de mettre en évidence une enzyme : la phénylène diamine oxydase de bactéries issues de leur culture en gélose. Ces enzymes sont capables d'oxyder un réactif : N diméthylparaphénylène diamine. Ce réactif est incolore et en présence d'enzymes, il libère un composé rouge rosé, noirci dans l'air.



I.3.2. Préparation de l'extrait de Spiruline

L'extraction a été effectuée en mélangeant 10g de poudre de spiruline avec 3 types de solution :

- 100 ml d'éthanol (96%),
- 100 ml eau distillé
- mélange de 100ml (eau distillé et l'éthanol (v/v)).

Le mélange a été agité à température ambiante pendant 60 min. Puis, il a été centrifugé à 4000 tr/min pendant 10 min et filtré à l'aide d'un papier filtre. Ensuite, le solvant a été évaporé sous pression réduite à 60 °C à l'aide d'un rotavapeur.

I.3.3. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne, de l'extrait de spiruline contre les deux souches bactériennes sélectionnées, a été évaluée par la technique de diffusion en milieu solide (ou méthode des disques). Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire d'hôpital Ibn Zohr Guelma.

Les antibiotiques de test ont été fournis par le laboratoire microbiologique de l'Université 8 Mai 1945 (amoxicilline, tétracycline et vancomycine). Les tests ont été réalisés en se référant aux données et expériences faites au préalable sur *E. coli* et *Staphylococcus aureus*.

Des échantillons préparés ont été utilisés pour inoculer des boîtes de Pétri contenant du milieu Mueller Hinton en utilisant la technique de l'écouvillon.

Des plaques stériles en papier Wattman de 5 mm de diamètre, chargées d'extrait aqueux ont été placées sur la surface de la gélose.

Des disques imprégnés d'eau distillée stérile et des disques d'antibiotiques chargés de 10 unités de TE et de 30 de VA et de 25 AMX.

Après incubation des boîtes à 37°C pendant 24 h, les résultats obtenus seront exprimés en diamètres des zones d'inhibition produites autour des disques. Cette analyse a été réalisée en triple.

I.4. Préparation de la mayonnaise à la spiruline

Les échantillons de mayonnaise ont été principalement constitués d'huile, du vinaigre et d'œufs frais, non pasteurisés, tels qu'ingrédients de base. Des produits annexes (le sel et le poivre) ont été ajoutés aux préparations dont l'objectif d'améliorer les propriétés physiques et sensorielles de la mayonnaise. La poudre de spiruline a été incorporée à pourcentage de 1% et 2%.

Les échantillons de mayonnaise préparés ont été conservés dans un récipient en verre stérile au réfrigérateur à température $5 \pm 1^\circ$ pendant au moins 24 heures avant de les utiliser pour les analyses sensorielles.

I.5. Evaluation de la qualité de mayonnaise

I.5.1. Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre électronique relié à une électrode de verre (Figure 7). L'électrode a été insérée dans la mayonnaise pour l'analyse et la lecture de résultat.



Figure 6 : pH mètre

I.5.2. Analyses sensorielles

L'évaluation sensorielle a été réalisée par un groupe de 20 dégustateurs naïfs (étudiants de l'Université de Guelma) en utilisant la fiche préalablement établie (annexe3).

Grâce à l'utilisation des tableaux (12, 13, 14, 15, 16 et 17), des tests statistiques ; l'analyse de variance a été réalisée par un logiciel statistique.

Résultats & discussion

II. Résultats et discussion

II.1. Teneur des polyphénols totaux

La détermination de la teneur en polyphénols totaux dans l'extrait de spiruline est estimée par la méthode de Folin-Ciocalteu.

Les résultats de la courbe d'étalonnage établie à partir des valeurs d'absorbance de l'acide gallique (Tableau 7), sont représentés dans la figure 7.

Tableau 7 : Résultats d'absorbance des différentes concentrations d'acide gallique exprimées en mg/ml.

Concentrations (mg/ml)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Densité optique moyenne des 3 essais à 765 nm	0,214	0,32	0,393	0,493	0,6

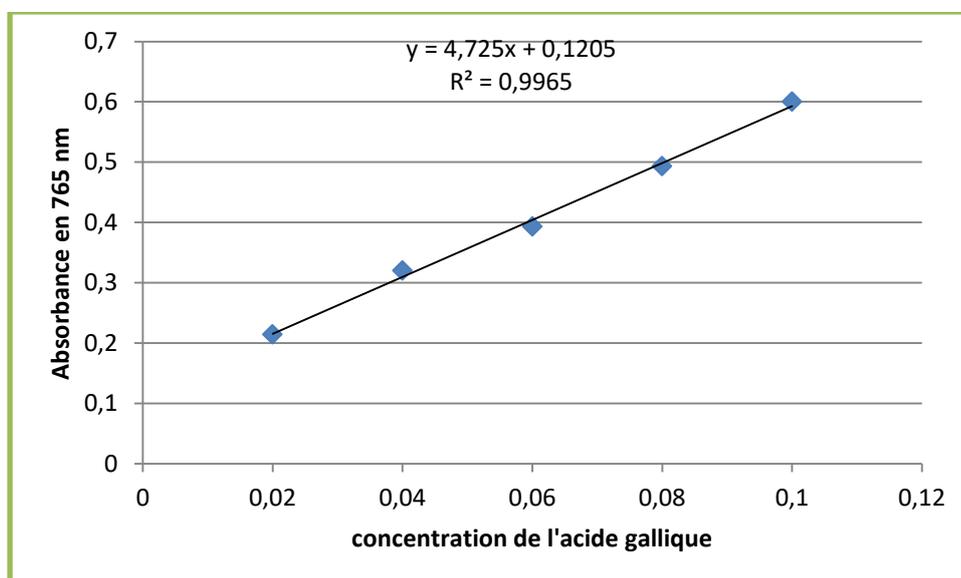


Figure 7 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (exprimée en mg/ml)

La teneur en polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique est 0,07 mg EAG / mg ou 70 µg/mg de spiruline. Cette teneur est proche à celle trouvée par (Lahoucine, 2019) qui est de l'ordre de

Résultats & discussion

(64,28 ± 0,47 µg/mg). D'autres auteurs ont enregistré des valeurs de 1,7 mg EAG/g MS (Shalaby et al., 2013) et 1,25 mg EAG/g MS (Colla et al., 2006).

Les différences en teneur de polyphénols totaux de la spiruline peuvent être observées, et ce en fonction de plusieurs facteurs, on cite comme exemples :

- La nature du polyphénol témoin (ou du standard) utilisé dans le dosage car l'intensité de la réaction varie en fonction du nombre de groupements hydroxyles (-OH) portés par les noyaux benzéniques des molécules ;
- La nature du solvant utilisé dans l'extraction (eau, méthanol ou éthanol) ;
- Et la température comme paramètre non négligeable dans la production de biomasse. Une température de 35°C a un effet négatif sur la production de biomasse, mais un effet positif sur la production des protéines, lipides et composés phénoliques synthétisés par les cellules (Lahoucine, 2019).

II.2. Caractères microbiologiques des souches isolées

II.2.1. Caractères cultureux

L'observation de l'inoculum sur gélose à l'œil nu (Chapman pour *Staphylococcus aureus* et McConckey pour *Escherichia coli*) montre des colonies visibles très appréciés et de taille similaire pour chaque genre (environ 1 à 2 mm de diamètre pour *Staph.a* et 2 à 3 mm de diamètre pour *E. coli*).

Les colonies de *Staphylococcus aureus* sont rondes, lisses et légèrement bombées, à une couleur blanc crème. Mais, les colonies d'*Escherichia coli* sur le milieu de McConckey sont incolores, rondes, lisses et de couleur crème (Figure 8).

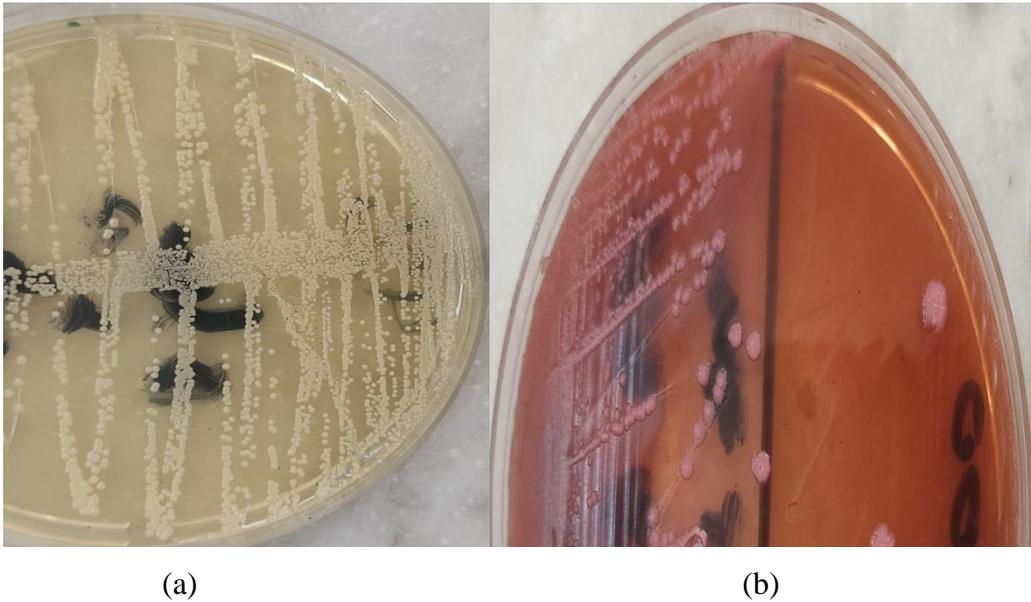


Figure 8 : Aspect macroscopique des deux souches, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* sur milieu Chapman (a) et milieu Mc-Conckey (b).

II.2.2. Caractères morphologiques

L'observation microscopique de *Staphylococcus aureus* après coloration de Gram montre que cette souche est présente sous forme de coques Gram positif, en grappes régulières (sous forme de grappes de raisin), liés par paires (diplocoques), ou en chaînes courtes. La description est tout à fait conforme avec celle donnée par **Lahoucine (2019)**.

Cependant, la même coloration effectuée sur la souche *E. coli* montre des cellules sous forme de bâtonnets à Gram négatif (bacilles) (Figure 9).

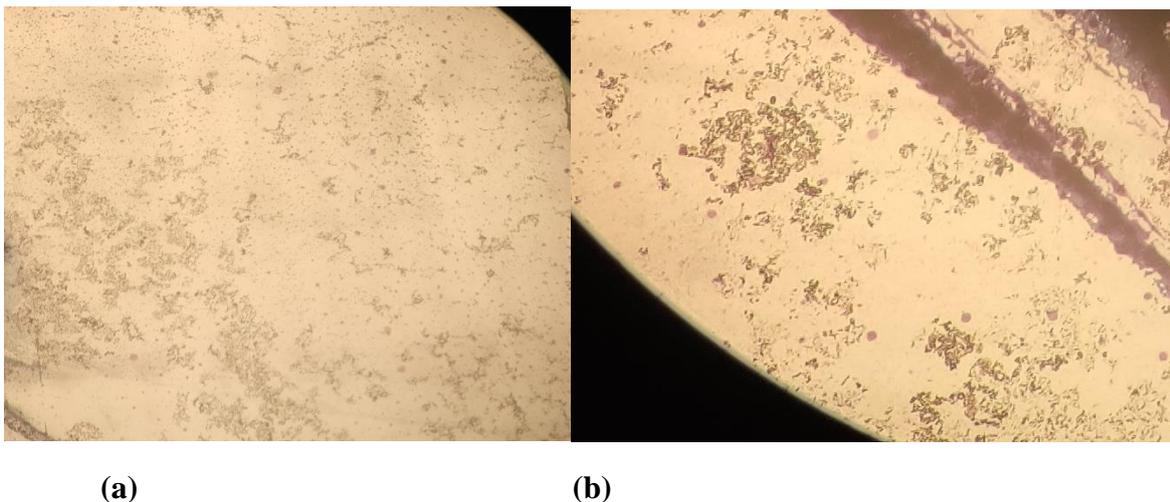


Figure 9 : Aspect microscopique des deux souches, (a) *Staphylococcus aureus* et (b) *Escherichia coli* après coloration de Gram.

Résultats & discussion

II.2.3. Caractères biochimiques et physiologiques

- **Test de catalase**

Le test de la catalase étant également un test important pour confirmer la pureté des souches. Le résultat est similaire à ceux de **Kihal (1996)**, **Carr *et al.* (2002)** et **Badis *et al.* (2005)**. Les deux souches *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* étaient positives pour la catalase (Figure 10).



Figure 10:Résultat du test de catalase des souches *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*

- **Test oxydase**

Le test de détection de l'enzyme cytochrome oxydase chez les bactéries étudiées (*Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*) n'a pas révélé un virage du réactif utilisé de l'incolore au violet, ce qui signifie que le résultat de ce test est négatif pour les deux souches.

II.3. Activité antibactérienne de l'extrait de spiruline

II.3.1. Choix du contrôle positif

Pour tester la sensibilité de nos souches bactériennes (*E. coli* et *staphylococcus aureus*) contre certains antibiotiques, un antibiogramme a été réalisé. L'intérêt de ce test est de déterminer au mieux le spectre d'activité antibactérienne d'antibiotiques sélectionnées pour bien choisir l'antibiotique qui montre le plus haut niveau d'activité antibactérienne afin de l'utiliser comme contrôle positif dans le test d'activité antibactérienne de la spiruline.

L'analyse de l'antibiogramme montre une sensibilité des souches aux antibiotiques testés. Cette sensibilité est traduite par l'apparition de zones d'inhibition autour des disques

Résultats & discussion

(Figure 11). Le diamètre des zones d'inhibition de chaque antibiotique, illustre bien le spectre d'activité élevé de ces derniers contre les souches étudiées. Les diamètres des zones d'inhibition sont mentionnés dans le tableau 8.

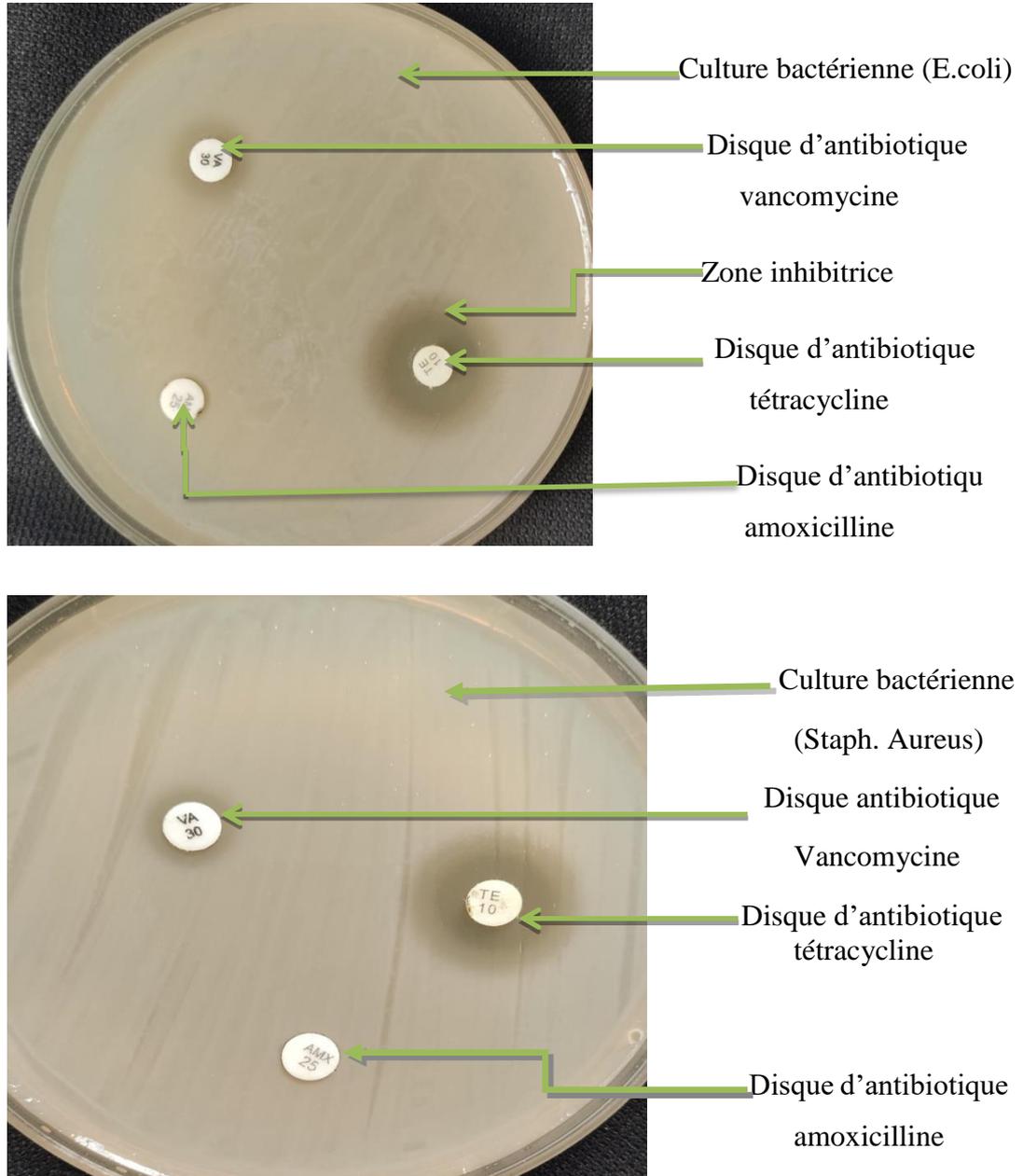


Figure 11 : Résultats du test d'antibiogramme des deux souches (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*) pour le choix du témoin positif

Résultats & discussion

Tableau 8 : Valeurs des diamètres de lyse pour chacune des souches étudiées exprimées en millimètres.

Souches étudiées	Antibiotiques testés	Charge du disque	Diamètre d'inhibition (en mm)	
			cibles	Limites acceptables
E. Coli	Vancomycine	-	-	-
	tétracycline	30	27	23-31
	amoxicilline	20	21	18-24
Staphylococcus aureus	Vancomycine	-	-	-
	tétracycline	30	27	23-31
	amoxicilline	20	21	18-24

D'après les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, nous pouvons noter que les diamètres de la zone d'inhibition, autour du disque d'antibiotique pour chaque type souches étudiées, sont en concordance avec ceux donnés par le comité d'antibiogramme de la société française de microbiologie (SFM, 2019). La grande sensibilité de deux souches (*E. coli* et *Staphylococcus aureus*) est enregistrée chez l'antibiotique Tétracycline ce qui nous conduit à le choisir comme le témoin (contrôle) positif au test d'activité antibactérienne de la spiruline.

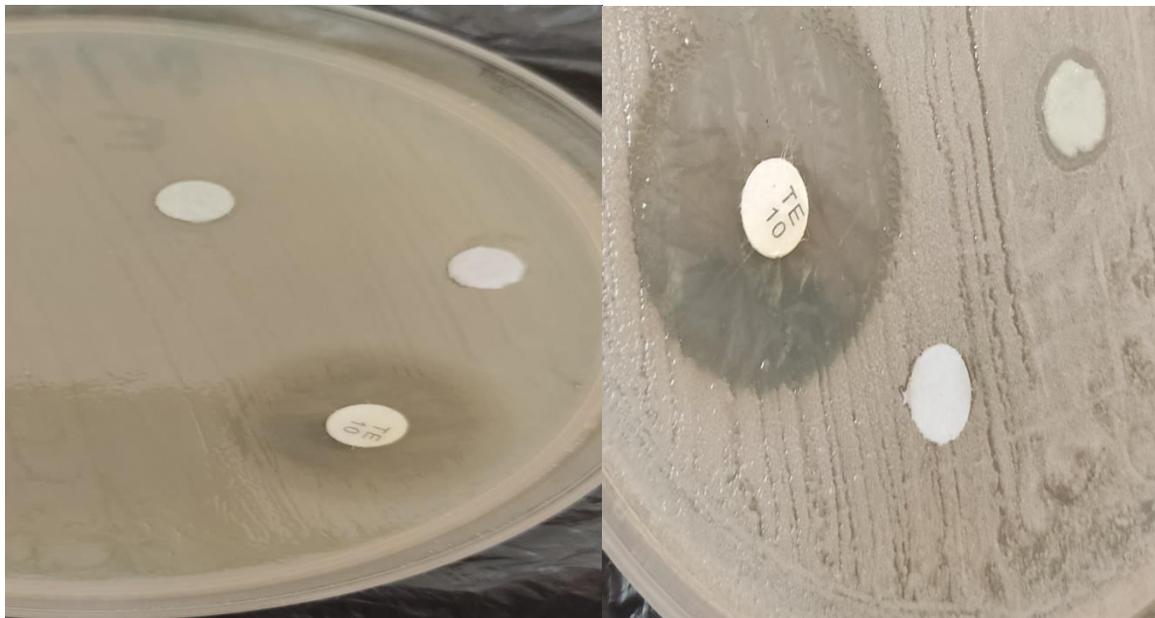
II.3.2. Activité antibactérienne de la spiruline

Les résultats (Figure 12, 13 et 14) de l'activité antibactérienne, montre que l'extrait de spiruline exerce une petite activité inhibitrice vis-à-vis *E. coli* et *Staphylococcus aureus* avec des diamètres d'inhibition de 8 mm et 7 mm respectivement (Tableau 9). Par ailleurs, l'effet inhibiteur de la spiruline était plus important avec son extrait de l'eau par rapport aux extraits du mélange de l'eau + éthanol ou l'éthanol (100%). Cependant, cet effet demeure faible par rapport au contrôle positif (tétracycline) qui présente un diamètre de zone d'inhibition de 30 mm contre *Staphylococcus aureus* et 20 mm contre *E. coli*.

Résultats & discussion

Tableau 9 : Diamètre des zones d'inhibition de la spiruline vis-à-vis *E. coli* et *Staphylococcus aureus*.

	Souches testées	Contenu des disques	Souches testés	
			E. coli	Staph. aureus
Diamètres d'inhibition en mm	spiruline	Extrait de l'eau	7	8
		Extrait eau +éthanol	6	7
		Extrait de l'éthanol	-	-
	témoin positif	Tétracycline	20	30
	témoin négatif	Eau distillé	-	-

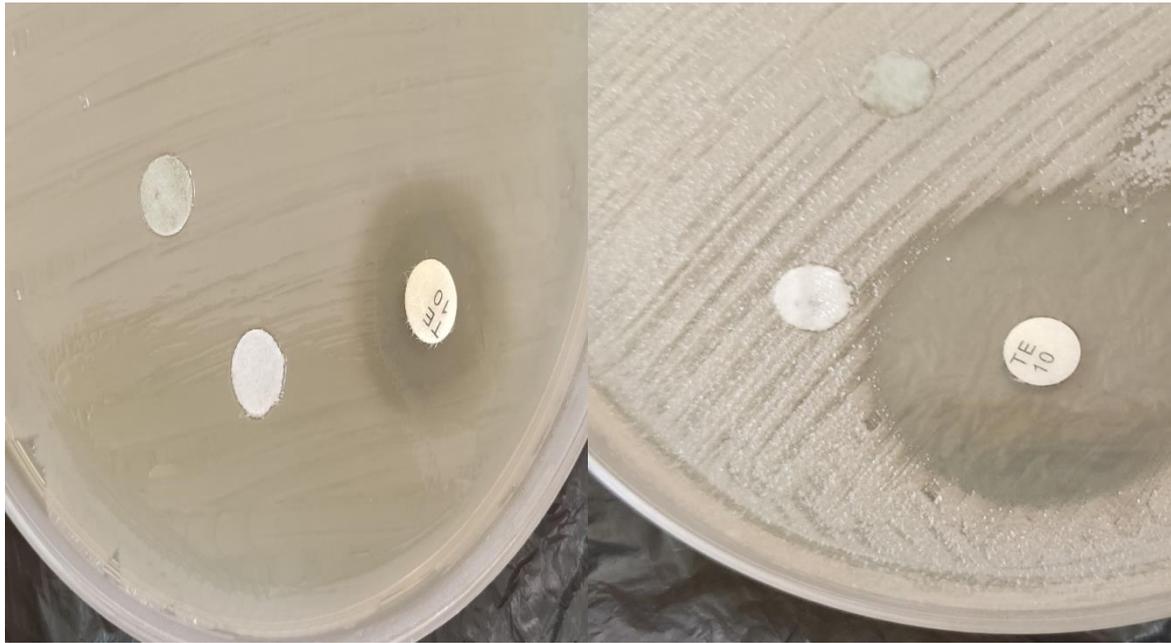


(A)

(B)

Figure 12 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'eau contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*

Résultats & discussion



(A)

(B)

Figure 13 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'eau + éthanol contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*



(A)

(B)

Figure 14 : résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait de spiruline avec l'éthanol contre : (a)*Escherichia coli* et (b) *Staphylococcus aureus*

Résultats & discussion

Les travaux de **Chakraborty *et al*, (2015)**, qui ont effectué une étude comparative de l'activité antimicrobienne des extraits de *Spirulina platensis* contre des bactéries Gram positive et Gram négative, montrent une activité antibactérienne claire des extraits de spiruline à des doses allant de 1,6 à 1,9 mg/ml, à travers les zones d'inhibitions observées contre *E. coli*, *Staphylococcus aureus* et bien d'autres bactéries telles que *Staphylococcus epidermidis* et *Klebsiella pneumonia*. A partir ces résultats, nous pouvons noter que l'extrait de spiruline à l'eau donne plus d'activité antibactérienne par rapport aux autres solvants tels que le méthanol, l'éthanol et l'acétone.

II.4. Appréciation de la qualité de mayonnaise à la spiruline

Les échantillons de mayonnaise préparés avec l'incorporation de 1% et 2% de la poudre de spiruline sont représentés dans la figure (15).

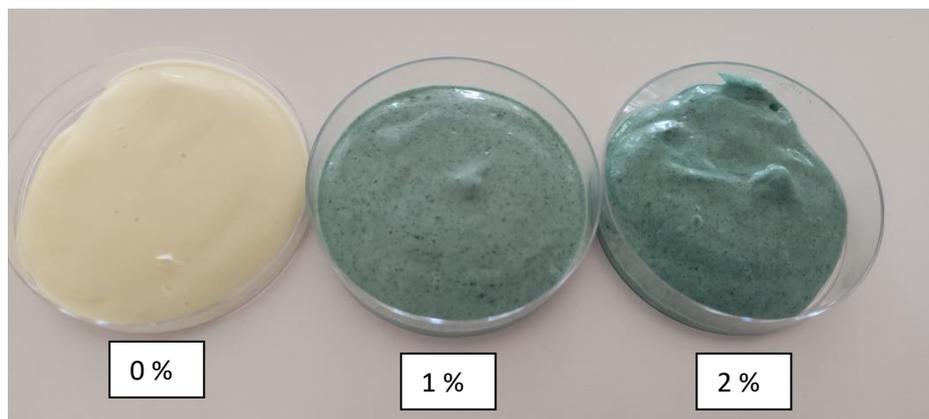


Figure 15 : Les échantillons expérimentaux de mayonnaises préparées.

II.4.1. pH

Les résultats obtenus (tableau 10) peuvent mettre en évidence l'évolution le pH des échantillons de mayonnaise au fil du temps (après stockage 12 jours).

Nous constatons chez l'échantillon témoin, une importante diminution du pH (6,22 à 5,72) par rapport à l'échantillon de spiruline 1% qui enregistre une baisse de pH un peu plus légère (6,14 à 5,80) par contre l'échantillon de spiruline 2% enregistré une petite augmentation de pH (6,22 à 6,35). A partir ces résultats, nous pouvons dire que l'extrait de la spiruline peut jouer un rôle dans la stabilité d'acidité des matières alimentaires sensibles comme la mayonnaise, ce qui augmente la durée de conservation de ces produits.

Résultats & discussion

Tableau 10 : pH des formules de mayonnaises préparées à la spiruline

	1 ^{ère} mesure Jour 0	2 ^{ème} mesure Jour 12
Echantillon 1 Témoin 0 % spiruline	6,22	5,72
Echantillon 2 1 % spiruline	6,14	5,80
Echantillon 3 2 % spiruline	6,22	6,35

II.4.2. Qualité organoleptique

Le tableau 11 récapitule le résultat des tableaux des analyses sensorielles (annexe 4) des appréciations des 20 personnes respectivement pour les critères : couleur, arôme, consistance, goût, acidité et l'acceptabilité. Il présente aussi le résultat du traitement statistique des données.

Tableau 11 : Résultats des moyennes de l'analyse sensorielle des trois types de Mayonnaise.

Attribut	Taux d'incorporation de la spiruline			Signification
	0%	1%	2%	<i>p</i>
Couleur	1.30 ± 0.97 ^c	6.30 ± 1.17 ^b	8.00 ± 0.85 ^a	< 0,0001**
Arôme	2.70 ± 1.26 ^c	5.05 ± 1.90 ^b	7.00 ± 1.41 ^a	< 0,0001**
Consistance	7.85 ± 1.75 ^a	7.52 ± 1.91 ^a	8.05 ± 1.39 ^a	> 0,05
Goût	5.70 ± 1.60 ^c	6.52 ± 1.06 ^b	7.30 ± 1.66 ^a	< 0,0001**
Acidité	0.80 ± 1.32 ^b	1.80 ± .06 ^{ab}	2.32 ± 2.31 ^a	= 0,050
Acceptabilité	5.10 ± 1.25 ^a	4.30 ± 1.03 ^a	4.50 ± 1.84 ^a	> 0,05

** hautement significatif

M ± ET

Les valeurs avec les mêmes lettres sont statistiquement égales. ANOVA : test LSD (test de moindre différence significative)

Résultats & discussion

Selon les résultats de l'évaluation sensorielle réalisée par des panelistes naïfs (tableau (11) ci-dessus et figure (17) dans l'annexe 5, l'incorporation de la spiruline dans la mayonnaise à 1% et 2 % a un effet hautement significatif ($p < 0,0001$) sur les paramètres de couleur, d'arôme et du goût. Néanmoins, elle n'a pas d'effet significatif ($p > 0,05$) sur la consistance et l'acceptabilité du produit. Donc, l'appréciabilité de la mayonnaise additionnée de la spiruline ne fait pas défaut par sa couleur. Nos résultats sont similaires aux autres produits, les travaux de Doumandji et *al*, (2011), Dahloum et *al*, (2014) et Boudaoud (2016), sur le couscous enrichi par la spiruline, montrent que la couleur ne risque pas d'influencer le choix du consommateur puisqu'il existe une gamme très riche sur le marché algérien de couscous de couleur plus foncée (couscous Lahlou) très appréciés depuis leur commercialisation. De même, sur le marché algérien, il existe une gamme très large de mayonnaise et des sauces à différents couleurs et goûts ce qui rend le consommateur habitué sur la variation dans ce genre du produit.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Cette étude s'inscrit dans l'objectif de promotion de la spiruline comme valeur ajoutée des aliments (sauces froides comme la mayonnaise) et l'effet de son incorporation sur la qualité organoleptique du produit.

En effet, d'après les résultats de cette étude :

L'extrait de spiruline contient une teneur en polyphénols non négligeable. Il présente également une activité antibactérienne contre certaines souches pathogènes telles que *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Ainsi, l'incorporation de la poudre de la spiruline dans la mayonnaise maintient la stabilité de l'acidité du produit et augmente sa durée de conservation. L'évaluation sensorielle de la mayonnaise à la spiruline révèle l'acceptabilité du produit.

Enfin, la spiruline est un excellent produit sur le plan nutritionnel et fonctionnel, il nécessite plus d'exploitation à l'échelle industrielle pour transformer ce microorganisme en différents produits alimentaires.

Ce travail est une contribution scientifique pour l'exploitation de la spiruline à l'échelle industrielle. Il peut être complété par l'étude de l'activité antioxydante de la spiruline dans les produits alimentaires. Il est intéressant aussi d'étudier les autres activités biologiques de la spiruline et de tester son aptitude technologique pour d'autre produit

Références bibliographiques

A

Abdel-Hameed E.S., 2009. Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain Egyptian Ficus species leaf samples. Food Chemistry, vol. 114:1271–1277.

ACHAT S., 2013. Polyphénols de l'alimentation : extraction, pouvoir antioxydant et Interactions avec des ions métalliques. Thèse de doctorat. Université de Béjaia, Université D'Avignon et des Pays Vaucluse. 173 pages.

Ahounou M.N., 2018. La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. Doctoral dissertation, Université de Rouen. 169 pages.

Anonyme., 2007. La mayonnaise ? Une sauce hypocrite ! Online on <http://www2.agroparistech.fr/La-mayonnaise-Une-sauce-hypocrite.html>.

Anonyme., 2012. Mayonnaise biologique kivinat. Online on www.markal.fr/media/Mayonnaisesqueeze- KIVINAT. Pdf.

Arbaoui O., Bourdjiba R., 2022. Intérêt alimentaire et biotechnologique de la spiruline. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 Guelma. 70 pages.

Arditty S., Schmitt V., Giermanska-Kahn J., Leal-Calderon F., 2004. Materials based on Solid-stabilized emulsions. J. Colloid and Interface Science, 275(2), 659-664. Doi : 10.1016/j.jcis.2004.03.001.

B

Bengmark S., 2004. Acute and « chronic » phase reaction-a mother of disease. Clinical Nutrition, 23, 1256-1266.

Boizot N. et Charpentier J.P., 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques : 79-82.

Bors W., 1990. Phenols Have a Remarkable Antioxidant Properties invitro. Are a result Of their ability to inhibit lipids peroxidation ,Chelate Redox-active Metals, and Attenuate Other Processus InVolving ROS.activité anti-radicalaire de composés Phénolique, 24(21) 39-52.

Bossokpi I.P.L., 2002. Etude des activités biologiques de Fagara xanthoxyloïdes LAM (Rutaceae). Thèse de pharmacie, Bamako, 133p

Bouchouka E., 2016. Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydantes et Antibactériennes de quelques plantes Sahariennes. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba, p24.

Boudaoud S., 2016. L’Incorporation de la Spiruline sur les Qualités Nutritionnelles, Organoleptiques et Technologiques du Couscous Artisanal, Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 66 pages.

Bruneton J., 2009. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4ème Edition Lavoisier. Paris. 1234p

C

Chakraborty B., Rajesh P.J., Pranay P.P., 2015. Antimicrobial Activity of *Spirulina platensis* Extract Against Gram Positive and Gram Negative Bacteria- A Comparative Study Available online on www.ijcpr.com International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research ; 6(4) ; 212-214, Research Article. ISSN: 0976 822X.

Charpy L., Langlade M J., Alliod R., 2008. La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. Institut de Recherche pour le Développement UR 167 (CYROCO).

Choi H., Song J. & Park K. 2009. Inhibitory effects of quercetin 3-rhamnoside on Influenza A virus replication. Eur.J.Pharm.Sci, 37 (3-4), 329-33.

Cowan M.M., 1999. Plant products as antimicrobial agents. Clinical microbially Reviews., 12 (4), 564-570.

Cruchot H., 2008. La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse de doctorat. Université de France-Comite. 285 pages.

D

Doumandji A., Boutekrabt L., Saidi N.A., Doumandji S., Hamerouch D., Haouari S., 2011. Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal. Revue « Nature & Technologie ».n° 06/Janvier 2012. Pages 40 à 50.

E

El Gharras H., 2009. Polyphenols : Food sources, properties and applications – A Review. International Journal of Food Science and Technology 44(12) ; 2512-2518.)

F

Fabian F. W., Wetherington M.C., 1950. Spoilage in salad and French dressing Due to yeasts. Food Res. 15, 135-137.

Ferhat W., Lakehal S., 2019. Culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued. Mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, 47 pages.

Ferial M., Abou-salem Azza A., Abou-arab., 2008. Chemical, Microbiological and sensory evaluation of mayonnaise prepared from ostrich eggs. Grasas y Aceites, 59 (4). P. 352-360.

Flaquet J. et Hunri J.P. 2006. Spiruline Aspects Nutritionnels, Antenna Technologies Novembre 2006.

Fox, 1999. Spiruline, Technologie pratique et promesse – France, 240p.

G

Gastronomayo., 1901. La Mayonnaise. Online on <http://gastronomayo.centerblog.net/>

Geitler, L., 1932. Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, ED : Leipzig, Akad. Verslagsges. Allemand 1932. Reprinted 1971, New York, Johnson. 1196 p.

Ghedadba N., Hambaba L., Ayachi A., Aberkane M.C., Bousselfela H. & OueldMokhtar S.M., 2015. Polyphénols totaux, activités antioxydante et Antimicrobienne des extraits des feuilles de Marrubium deserti de Noé. *Phytothérapie*, 13(2), 118-129.

Girardin-Andréani C., 2005. Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*. Numéro 4: 158-161. DOI 10.1007/s10298-005-0095-9.

Gonzalez-Gallego J., Garcia-Mediavilla M.V., Sanchez-Campos S. & Tunon M.J., 2010. Fruit polyphenols, immunity and inflammation. *British Journal of Nutrition*, 104, 15-27.

Goyder D. J., 2006. A revision of the genus *Pergularia* L. (Apocynaceae : Asclepiadoideae), The board of the royal botanic gardens, *Kew Bulletin*, 61(22), 45–256.

Grisebach H., 1975. Enzymologie de flavonoid biosynthesis, *ber dtsch, bot. Ges.*, VOL 88, pp.61.

H

Haddad A. et Reghmit A., 2017. Optimisation de l'extraction des polyphénols à partir d'une plante locale *Calicotome villosa* (Poir.) Link par une technique innovante et l'évaluation de l'activité antimicrobienne. Mémoire de Master. Université M'hamed Bougara Boumerdes. P29.

Hakim I., Alsaif A., Alduwaihy M., 2003. Tea consumption and the prevalence of coronary Heart disease in Saudi adults : results from a Saudi national study. *Preventive*.

Harrison L J., Cunningham F. E., 1985. Factors influencing the quality of Mayonnaise. *J. Food Quality* 8, 1-20 pages.

Hartmann T., 2007. From waste products to ecochemicals : fifty years research Of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68 (22-24), 2831-2846.)

Hodek P., Trefil P., Stiborova M., 2002. Flavonoids-potent and versatile biologically.

Hodgson J., Croft K.D., 2010. Tea flavonoids and cardiovascular health. *Molecular*.

Hug C., Weid D., 2011. La spiruline dans la lutte contre la malnutrition. *Fondation antenna technologie*, 30 pages.

J

Jarisoa, T., 2005. Adaptation de la spiruline du sud de madagascar a la culture en eau de mer. Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise. Thèse de doctorat. 179pages.

K

Khouas H., 2013. Effet Antioxydant De La Spiruline En Association Avec Les Bifidobacteriums Sur Le Diabete. Mémoire de master. Université Saad Dahlab – Blida

Kone S., 2001. Fabrication artisanale de la mayonnaise. Pmb.sicac.org/opac_css/doc_num.php ?explnum_id=474

Kuster R., Arnold N. et Wessjohann L., 2009. Anti-fungal flavonoids from *Tibouchina grandifolia*. *Biochem. Syst. Ecol*, 37 (1), 63-5.

L

Lahcini Z., Achab S., Dahnoun K., 2022. Contribution à l'activité biologique des extrait éthanolique et méthanolique de microalgue (spiruline). Mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar El-oued, 62 pages.

Lahoucine H.A., 2019. Etude de l'impact de l'incorporation de la Spiruline sur la qualité organoleptique et physicochimique de la Mayonnaise. Mémoire de Master. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. P37.

Laurent I., 2019. La spiruline (*Spirulina platensis*) : de l'aliment au médicament, utilisations et conseils à l'officine. Université de lorraine. 116 pages.

Lhuillier A., 2007. Contribution à l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches : *Agauria salicifolia* Hook.f ex Oliver, *Agauria polyphylla* Baker (Ericaceae), *Tambourissa Trichophylla* Baker (Monimiaceae) et *Embelia concinna* Baker (Myrsinaceae). Thèse de doctorat, Toulouse. 171 pages.

Lupatini A.L., Colla L.M., Canan C. et Colla E., 2017. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *J Sci Food Agric*;97:724–32

M

Manet A., 2016. La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes. 99 pages.

Mann J., Truswell S., 2002. Essentials of Human Nutrition. 2nd edition. Buch. P682. Softcover Oxford University Press. ISBN 978-0-19-850861-8.

Mimouni Z., Ameur N., 2017. Possibilité de culture de spirulina platensis dans divers produits agricoles. universite mouloud mammeri tizi-ouzou. 34 pages.

N

Nassiri-Asl M. & Hosseinzadeh H., 2009. Review of the pharmacological effects of Vitis vinifera (grape) and its bioactive compounds. Phytotherapy Research, 23(9) , 1197-1204.

Niangoran N'goran U.F., 2017. Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé: Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 120 pages.

O

Ould bellahcen T., bouchabchoub A., massoui M., El Yachioui M., 2013.Qualite nutritionnelle de spirulina platensis en croissance dans les eaux usées domestiques. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14.

P

Peer W.A., Brown D.E., Tague B.W., Muday G.K., Taiz L. et Murphy A.S., 2001. Modèles d'accumulation de flavonoïdes de testa mutants transparents d'arabidopsis. Journal of Plant physiology, 126 : 536-548.

Pierlovisi C., 2007. L'Homme et la Spiruline: Un avenir commun? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Paris V- René Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris (162) Prise en charge''. *Rev Med Suisse.*, 3: 1001 - 1006.

Peer W.A., Brown D.E., Tague B.W., Muday G.K., Taiz L. et Murphy A.S., 2001. Modèles d'accumulation de flavonoïdes de testa mutants transparents d'arabidopsis. *Journal of Plant physiology*, 126 : 536-548.

R

Rahman I., Biswas S.K. & Kirkham P.A., 2006. Regulation of inflammation and redox Signaling by dietary polyphenols. *Biochem Pharmacol*, 72, 1439-1452.

Riahi L., Elferchichi M., HaneneGhazhazi H., Jebali J., Ziadi S., ChediaAouadhi C., Chograni H., Zaouali Y., Zoghlami N. and Ahmed Mliki A., 2013. Phytochemistry, Antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of *Mentha rotundifolia* L. In Tunisia. *Journal of Industrial Crops and Products*, 49 : 883– 889

S

Saarela A. M., Paula H., Sinikka M., Atte V. W., 2010. Elintarvikeprosessit 3. uudistettu painos. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja. D5/9/2010. Kuopio : Savonia-ammattikorkeakoulu.

Santangelo C., Vari R., Scazzocchio B., 2007. Polyphenols, intracellular signaling And inflammation. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 43(4), 394-405.

Sguera S., 2008. Spirulina platensis et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse de doctorat. universite henri poincare - nancy 1 lorraine, 162 pages.

Shao W., Ebaid R., El-Sheekh M., Abomohra A., Eladel H., 2019. Pharmaceutical applications and consequent environmental impacts of Spirulina (*Arthrospira*): An overview. *Grasas y Aceites*, 70(1), 292. ISSN-L: 0017-3495.

Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Viticult* 16:144–153

Soni, R.A., Sudhakar K., Rana R.S., 2017. Spirulina–From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*, 69, 157-171.

T

Tavakoli S., Hong H., Wang K., Yang Q., Gahruie HH., Zhuang S., Li Y., Liang Y., Tan Y., Luo Y., 2021. Ultrasonic-assisted food-grade solvent extraction of high-value added compounds from microalgae *Spirulina platensis* and evaluation of their antioxidant and antibacterial properties. *Algal Research*. 60 : 102493.

Toudert M et Bouzidi O., 2020. Intérêt de l'utilisation de la spiruline dans les aliments fonctionnels. Mémoire de Master. Université Akli Mohand Oulhadj Bouira, 49 pages.

U

Udenigwe C.C., Ramprasath V.R., Aluko R.E. & Jones P.J.H. 2008. Potential of Resveratrol in anticancer and anti-inflammatory therapy. *Nutrition Reviews*, 66(8) , 445-454

V

Van Acker S., Van Balen G.P., Van Den Berg D.J. & Van Der Vijgh W.J.F. 1996. Influence of iron chelation on the antioxidant activity of flavonoids. *Biochem. Pharmacol*, 56, 935– 943.

Vidalo J.L., 2008. Spiruline: l'algue bleue de santé et de prévention. Paris: Edition Dauphin.352 page.

Webographies

- (1) [http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13043/MEMOIRE %20 FINAL%202019](http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13043/MEMOIRE%20FINAL%202019). (dernière consultation 25 février 2023 13 :53).
- (2) <http://dspace.univ-eloued.dz/bitstream/123456789/4207/1/589.01.024.pdf> (dernière consultation 25 février 2023 13 :55).
- (3) <https://www.spirulinefrance.fr/la-compositon-record-de-la-spiruline/proteines> (dernière consultation 25 février 2023 13 :54).
- (4) <https://cheval-partenaire.fr/la-spiruline-pour-le-cheval> (dernière consultation 19 février 2023 16 :45).
- (5) **CASAL A., 2019.** l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, disponible sur : www.spirulinefrance.fr (dernière consultation 02 Mai 2023 22 :16)

Annexes

Annexe 1

La composition des milieux de culture

Toutes les compositions sont pour la préparation d'un litre de milieu.

Gélose Chapman

- Peptone 10,0 g
- Extrait de viande de bœuf..... 1,0 g
- Chlorure de sodium 75,0 g
- Mannitol 10,0 g
- Rouge de phénol 0,025 g
- Agar-Agar 15,0 g
- Eau distillée qsp 1 Litre

pH = 7,4

Gélose Mac-Conckey

- Peptone pancréatique de gélatine 17,0 g
- Tryptone 1,5 g
- Peptone pepsique de viande 1,5 g
- Lactose 10,0 g
- Sels biliaires 1,5 g
- Chlorure de sodium 5,0 g
- Rouge neutre 30,0 mg
- Cristal violet 1,0 mg
- Agar agar bactériologique 13,5 g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 7,1 ± 0,2.

Gélose Mueller – Hinton

- Hydrolysât acide de caséine17,5 g
- Infusion de viande2,0 g
- Amidon soluble1,5 g
- Agar agar bactériologique17,0 g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : $7,3 \pm 0,2$.

Bouillon nutritif

- Tryptone10,0 g
- Extrait de viande5,0 g
- Chlorure de sodium5,0 g

Annexe 2

La coloration de Gram

A- Principe

La coloration de Gram est la base de l'identification d'une souche bactérienne. Elle doit être parfaitement maîtrisée car c'est le point de départ du choix des examens complémentaires à effectuer, des milieux à ensemencer etc...

Au terme du processus de coloration, les bactéries dites « Gram Négatives » apparaissent roses tandis que les bactéries dites « Gram Positives » sont colorés en bleu foncé/violet (rem : certaines bactéries telles que les Bacillus, apparaissent parfois roses et violettes sur le même frottis, on les dit « Gram labiles » et les différences de coloration sont dues à des différences d'âge des bactéries).

La coloration de Gram est une coloration qui teste l'alcool résistance d'une souche bactérienne. En effet, les différences de coloration des bactéries reposent sur des différences de constitution de la paroi :

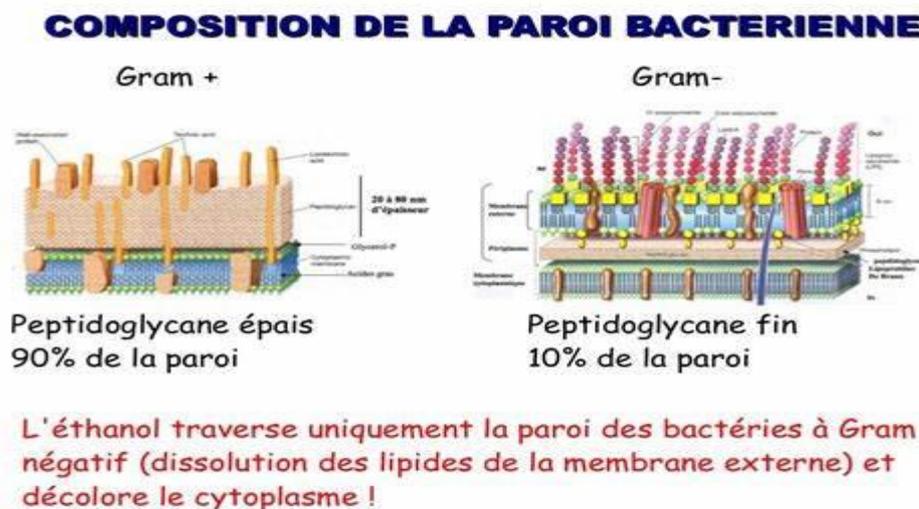


Figure 16 : coloration de Gram

Les bactéries Gram négatives ont une paroi plus fine que celles à Gram positives. De plus, cette paroi est très riche en lipides (membrane externe de la paroi) dans laquelle l'éthanol est fortement soluble...

B- Technique

- Réaliser un frottis et le fixer.
- Coloration : violet de gentiane phéniqué durant une minute. Toutes les bactéries prennent ce colorant et sont donc colorées en violet.
- rincer à l'eau du robinet

- Mordançage : recouvrir la lame de réactif de Lugol 1 minute (réactif iodo-ioduré qui accentue la coloration).

- Rincer à l'eau

- Epreuve (alcoolo résistance) : Plonger 3 ou 4 fois une demi-seconde dans un pot d'alcool puis rincé à l'eau du robinet immédiatement. Pendant cette étape, les lipides de la paroi des Gram moins sont dissous et l'alcool peut donc pénétrer dans le corps bactérien et expulser le violet de gentiane.

Les bactéries Gram moins sont alcoolosensibles et sont donc décolorées. La paroi des Gram plus ne laisse pas passer l'alcool et sont dites alcoolo-résistantes et restent colorées en violet.

- Contre coloration : **Fuschine diluée au 1/20ème ou de safranine pendant une minute.** Toutes les bactéries prennent le colorant mais le violet masque la fuschine. Les « Gram positives » apparaissent donc violettes, les « Gram négatives », recolorées par la fuschine, apparaissent roses.

- Rincer à l'eau du robinet et sécher entre deux feuilles de papier absorbant.

- Observer à l'objectif 100 à immersion, à pleine lumière.

Remarque : la coloration de Gram est parfois appelée coloration V.L.A.F afin de se rappeler les colorants et dans quel ordre ils doivent être utilisés (Violet, Lugol, Alcool, Fuschine).

Annexe 3

QUESTIONNAIRE D'ANALYSE DE LA MAYONNAISE

Age : Sexe :

Nous vous proposons de déguster plusieurs échantillons de Mayonnaise –codés A, B, C .Donner votre avis sur leur qualité sensorielle. Il vous est demandé d'attribuer une note (de 0 à 9) qui correspond à votre niveau de satisfaction pour chaque critère.

1. La couleur de la Mayonnaise

De 0 à 3 : Non appréciée

De 3 à 6 : Moyennement appréciée

De 6 à 9 : Bien appréciée



2. L'arôme de la Mayonnaise (l'odeur)

De 0 à 3 : Non appréciée

De 3 à 6 : Moyennement appréciée

De 6 à 9 : Bien appréciée



3. La consistance de la Mayonnaise

De 0 à 3 : Non appréciée

De 3 à 6 : Moyennement appréciée

De 6 à 9 : Bien appréciée



4. Le gout de la Mayonnaise

De 0 à 3 : Non appréciée

De 3 à 6 : Moyennement appréciée

De 6 à 9 : Bien appréciée



5. L'acidité de la Mayonnaise

De 0 à 3 : Non appréciée

De 3 à 6 : Moyennement appréciée

De 6 à 9 : Bien appréciée



6. Attribuez une note de 1 à 7 pour chaque échantillon selon votre préférence, (1 pour le produit le moins préféré et 7 au produit le plus préféré comme présenté dans l'échelle ci-dessous).

1 : Extrêmement désagréable

2 : Très désagréable

3 : Désagréable

4 : Ni désagréable ni agréable

5 : Agréable

6 : Très agréable

7 : Extrêmement agréable

Mayonnaise	A	B	C
Note			

7. Quels sont les critères qui ont motivé votre préférence ?

- La couleur**
- L'arôme (odeur)**
- Le gout**
- L'acidité**
- La consistance**
- Autres (précisez)**

Annexe 4

Tableau 12 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**couleur**)

Nombre de pénale	Pourcentage de spiruline ajouté		
	0%	1%	2%
1	1	7	8
2	1	7	8
3	1	6	7
4	1	5	8
5	2	6	8
6	1	7	8
7	2	4	6
8	4	6	7
9	1	8	9
10	0	7	9
11	2	3	7
12	1	6	8
13	0	7	8
14	1	7	8
15	1	6	7
16	0	7	8
17	1	7	9
18	1	7	9
19	2	6	9
20	3	7	9
Moyenne	1,3	6,3	8

Tableau 13 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**arome**)

Pourcentage de spiruline ajouté	0%	1%	2%
Nombre de pénale			
1	1	2	5
2	4	7	8
3	2	7	6
4	1	5	8
5	2	5	6
6	3	7	8
7	2	5	7
8	2	5	5
9	2	3	4
10	3	2	8
11	3	1	6
12	4	7	8
13	4	7	8
14	2	4	5
15	1	4	8
16	2	7	7
17	2	5	8
18	4	5	8
19	5	7	9
20	5	6	8
Moyenne	2,7	5,05	7

Tableau 14 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**consistance**)

Pourcentage de spiruline ajouté	0%	1%	2%
Nombre de pénale			
1	9	9	9
2	7	5	8
3	9	9	9
4	9	9	9
5	4	5	8
6	9	9	9
7	4	5	6
8	5	6	4
9	9	9	9
10	9	7	9
11	6	4	7
12	9	9	9
13	8	8,5	7
14	9	9	8
15	9	9	9
16	9	9	9
17	9	9	9
18	9	8	8
19	8	4	6
20	7	8	9
Moyenne	7,85	7,52	8,05

Tableau 15 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**gout**)

Pourcentage de spiruline ajouté	0%	1%	2%
Nombre de pénale			
1	2	4	5
2	5	8	9
3	5	7	8
4	5	7	9
5	5	6	8
6	5	7	8
7	4	5	7
8	3	7	8
9	5	6	7
10	3	5	8
11	5	6	4
12	6	7	6,5
13	4	5	9
14	5	6	5,5
15	5	6	6
16	8	7	9
17	5	7	9
18	5	6	7
19	7	5	4
20	9	8	9
Moyenne	5,05	6,25	7,3

Tableau 16 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**acidité**)

Pourcentage de spiruline ajouté	0%	1%	2%
Nombre de pénale			
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	2
4	0	1	4
5	2	4	6
6	0	5	6
7	2	3	5
8	2	5	0
9	0	0	0
10	0	2	5
11	4	6	2
12	1	0,5	2
13	0	0,5	1
14	1	1,5	2
15	0	0	1
16	0	1	0,5
17	0	0,5	0
18	0	1	2
19	4	5	7
20	0	0	1
Moyenne	0,8	1,8	2,32

Tableau 17 : résultats du test de dégustation des mayonnaises préparées (**acceptabilité**)

Pourcentage de spiruline ajouté Nombre de pénale	0%	1%	2%
	1	4	5
2	6	4	2
3	6	5	4
4	6	4	5
5	6	5	7
6	5	6	5
7	6	4	4
8	4	5	6
9	4	4	6
10	3	3	6
11	3	3	6
12	5	6	3
13	6	4	2
14	3	4	6
15	6	4	6
16	4	5	6
17	6	3	1
18	6	3	2
19	7	6	5
20	6	3	2
Moyenne	5,1	4,3	4,5

Annexe 5

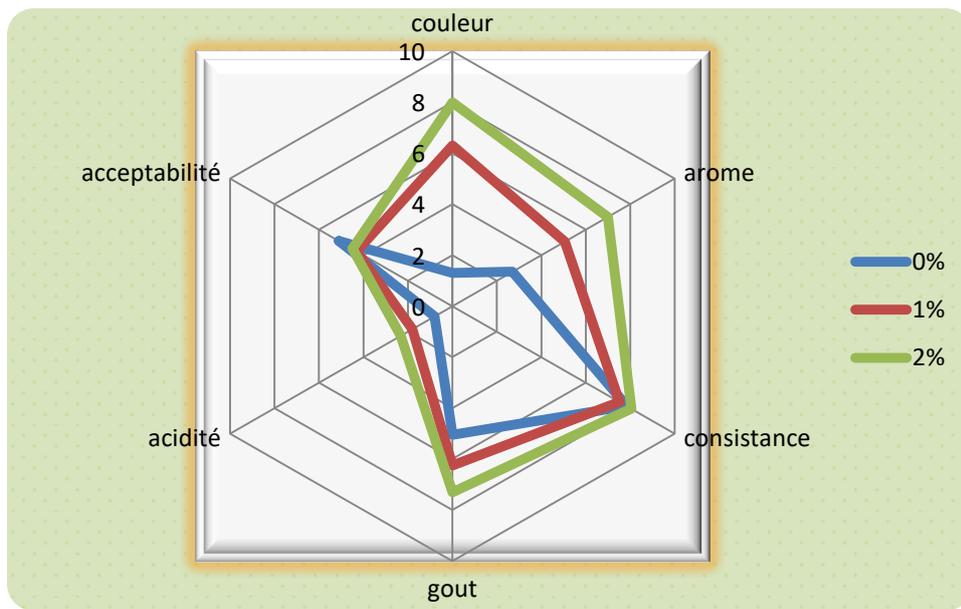


Figure 17 : Note moyenne obtenue du test hédonique par produit par descripteur.