



HAL
open science

La spiruline (*Spirulina platensis*), de l'aliment au médicament : utilisations et conseils à l'officine

Isabelle Laurent

► **To cite this version:**

Isabelle Laurent. La spiruline (*Spirulina platensis*), de l'aliment au médicament : utilisations et conseils à l'officine. Sciences pharmaceutiques. 2019. hal-03297932

HAL Id: hal-03297932

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297932>

Submitted on 23 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**UNIVERSITE DE LORRAINE
2019**

FACULTE DE PHARMACIE

T H E S E

Présentée et soutenue publiquement

Le 11 Juillet 2019

sur un sujet dédié à :

« La spiruline (*Spirulina platensis*) : de l'aliment au médicament,
utilisations et conseils à l'officine »

pour obtenir

le Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie

par Isabelle Laurent

née le 16 Février 1994

Membres du Jury

Présidente : Mme Brigitte Leininger-Muller

Directrice de thèse : Mme Marie-Noëlle Vaultier

Juges : Mme Claire Cornelise
Mme Isabelle Bertrand

FACULTÉ DE PHARMACIE

Année universitaire 2018-2019

DOYEN

Raphaël DUVAL

Vice-Doyen

Julien PERRIN

Directrice des études

Marie SOCHA

Conseil de la Pédagogie

Présidente, Brigitte LEININGER-MULLER

Vice-Présidente, Alexandrine LAMBERT

Collège d'Enseignement Pharmaceutique Hospitalier

Présidente, Béatrice DEMORE

Commission Prospective Facultaire

Président, Christophe GANTZER

Vice-Président, Jean-Louis MERLIN

Commission de la Recherche

Présidente, Caroline GAUCHER

Chargés de Mission

Communication

Innovation pédagogique

Référente ADE

Référent dotation sur projet (DSP)

Marie-Paule SAUDER

Alexandrine LAMBERT

Virginie PICHON

Dominique DECOLIN

Responsabilités

Filière Officine

Caroline PERRIN-SARRADO

Julien GRAVOULET

Filière Industrie

Isabelle LARTAUD,

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Filière Hôpital

Béatrice DEMORE

Marie SOCHA

Pharma Plus ENSIC

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Pharma Plus ENSAIA

Xavier BELLANGER

Pharma Plus ENSGSI

Igor CLAROT

Cellule de Formation Continue et Individuelle

Luc FERRARI

Commission d'agrément des maîtres de stage

François DUPUIS

ERASMUS

Mihayl VARBANOV

DOYENS HONORAIRES

Chantal FINANCE
Francine PAULUS
Claude VIGNERON

PROFESSEURS EMERITES

Jeffrey ATKINSON
Max HENRY
Claude VIGNERON

PROFESSEURS HONORAIRES

Jean-Claude BLOCK
Pierre DIXNEUF
Chantal FINANCE
Marie-Madeleine GALTEAU
Thérèse GIRARD
Michel JACQUE
Pierre LABRUDE
Vincent LOPPINET
Alain NICOLAS
Janine SCHWARTZBROD
Louis SCHWARTZBROD

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES

Monique ALBERT
Marianne BEAUD
François BONNEAUX
Gérald CATAU
Jean-Claude CHEVIN
Jocelyne COLLOMB
Bernard DANGIEN
Marie-Claude FUZELLIER
Françoise HINZELIN
Marie-Hélène LIVERTOUX
Bernard MIGNOT
Blandine MOREAU
Dominique NOTTER
Francine PAULUS
Christine PERDICAKIS
Marie-France POCHON
Anne ROVEL
Gabriel TROCKLE
Maria WELLMAN-ROUSSEAU
Colette ZINUTTI

ASSISTANTS HONORAIRES

Marie-Catherine BERTHE
Annie PAVIS

Section CNU*

ENSEIGNANTS

Discipline d'enseignement

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

| | |
|--------------------------------|----|
| Danièle BENSOUSSAN-LEJZEROWICZ | 82 |
| Béatrice DEMORE | 81 |
| Jean-Louis MERLIN | 82 |
| Jean-Michel SIMON | 81 |
| Nathalie THILLY | 81 |

Thérapie cellulaire
Pharmacie clinique
Biologie cellulaire
Economie de la santé, Législation pharmaceutique
Santé publique et Epidémiologie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

| | |
|-------------------------------|----|
| Christine CAPDEVILLE-ATKINSON | 86 |
| Igor CLAROT | 85 |
| Joël DUCOURNEAU | 85 |
| Raphaël DUVAL | 87 |
| Béatrice FAIVRE | 87 |
| Luc FERRARI | 86 |
| Pascale FRIANT-MICHEL | 85 |
| Christophe GANTZER | 87 |
| Frédéric JORAND | 87 |
| Isabelle LARTAUD | 86 |
| Dominique LAURAIN-MATTAR | 86 |
| Brigitte LEININGER-MULLER | 87 |

Pharmacologie
Chimie analytique
Biophysique, Acoustique, Audioprothèse
Microbiologie clinique
Hématologie, Biologie cellulaire
Toxicologie
Mathématiques, Physique
Microbiologie
Eau, Santé, Environnement
Pharmacologie
Pharmacognosie
Biochimie

| | | |
|-------------------------------|----|--|
| Pierre LEROY | 85 | <i>Chimie physique</i> |
| Philippe MAINCENT | 85 | <i>Pharmacie galénique</i> |
| Patrick MENU | 86 | <i>Physiologie</i> |
| Jean-Bernard REGNOUF de VAINS | 86 | <i>Chimie thérapeutique</i> |
| Bertrand RIHN | 87 | <i>Biochimie, Biologie moléculaire</i> |

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

| | | |
|-----------------|----|--|
| Alexandre HARLE | 82 | <i>Biologie cellulaire oncologique</i> |
| Julien PERRIN | 82 | <i>Hématologie biologique</i> |
| Loïc REPEL | 82 | <i>Biothérapie</i> |
| Marie SOCHA | 81 | <i>Pharmacie clinique, thérapeutique et biotechnique</i> |

MAITRES DE CONFÉRENCES

| | | |
|-------------------------|-------|---|
| Sandrine CAPIZZI BANAS | 87 | <i>Parasitologie</i> |
| Xavier BELLANGER | 87 | <i>Parasitologie, Mycologie médicale</i> |
| Emmanuelle BENOIT | 86 | <i>Communication et Santé</i> |
| Isabelle BERTRAND | 87 | <i>Microbiologie</i> |
| Michel BOISBRUN | 86 | <i>Chimie thérapeutique</i> |
| Ariane BOUDIER | 85 | <i>Chimie Physique</i> |
| Cédric BOURA | 86 | <i>Physiologie</i> |
| Joël COULON | 87 | <i>Biochimie</i> |
| Sébastien DADE | 85 | <i>Bio-informatique</i> |
| Dominique DECOLIN | 85 | <i>Chimie analytique</i> |
| Roudayna DIAB | 85 | <i>Pharmacie galénique</i> |
| Natacha DREUMONT | 87 | <i>Biochimie générale, Biochimie clinique</i> |
| Florence DUMARCAY | 86 | <i>Chimie thérapeutique</i> |
| François DUPUIS | 86 | <i>Pharmacologie</i> |
| Reine EL OMAR | 86 | <i>Physiologie</i> |
| Adil FAIZ | 85 | <i>Biophysique, Acoustique</i> |
| Anthony GANDIN | 87 | <i>Mycologie, Botanique</i> |
| Caroline GAUCHER | 86 | <i>Chimie physique, Pharmacologie</i> |
| Stéphane GIBAUD | 86 | <i>Pharmacie clinique</i> |
| Thierry HUMBERT | 86 | <i>Chimie organique</i> |
| Olivier JOUBERT | 86 | <i>Toxicologie, Sécurité sanitaire</i> |
| Alexandrine LAMBERT | 85 | <i>Informatique, Biostatistiques</i> |
| Julie LEONHARD | 86/01 | <i>Droit en Santé</i> |
| Christophe MERLIN | 87 | <i>Microbiologie environnementale</i> |
| Maxime MOURER | 86 | <i>Chimie organique</i> |
| Coumba NDIAYE | 86 | <i>Epidémiologie et Santé publique</i> |
| Arnaud PALLOTTA | 86 | <i>Bioanalyse du médicament</i> |
| Marianne PARENT | 85 | <i>Pharmacie galénique</i> |
| Caroline PERRIN-SARRADO | 86 | <i>Pharmacologie</i> |
| Virginie PICHON | 85 | <i>Biophysique</i> |
| Sophie PINEL | 85 | <i>Informatique en Santé (e-santé)</i> |
| Anne SAPIN-MINET | 85 | <i>Pharmacie galénique</i> |
| Marie-Paule SAUDER | 87 | <i>Mycologie, Botanique</i> |
| Guillaume SAUTREY | 85 | <i>Chimie analytique</i> |
| Rosella SPINA | 86 | <i>Pharmacognosie</i> |
| Sabrina TOUCHET | 86 | <i>Pharmacochimie</i> |
| Mihayl VARBANOV | 87 | <i>Immuno-Virologie</i> |
| Marie-Noëlle VAULTIER | 87 | <i>Mycologie, Botanique</i> |
| Emilie VELOT | 86 | <i>Physiologie-Physiopathologie humaines</i> |
| Mohamed ZAIYOU | 87 | <i>Biochimie et Biologie moléculaire</i> |

PROFESSEUR ASSOCIE

| | | |
|------------------|----|---------------------------|
| Julien GRAVOULET | 86 | <i>Pharmacie clinique</i> |
|------------------|----|---------------------------|

PROFESSEUR AGREGE

| | | |
|--------------------|----|----------------|
| Christophe COCHAUD | 11 | <i>Anglais</i> |
|--------------------|----|----------------|

**Disciplines du Conseil National des Universités :*

80 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

81 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

82 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

85 ; Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

86 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

87 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

11 : Professeur agrégé de lettres et sciences humaines en langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes

SERMENT DES APOTHICAIRES

Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

« LA FACULTE N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION, NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LES THESES, CES OPINIONS DOIVENT ETRE CONSIDEREES COMME PROPRES A LEUR AUTEUR ».

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

Madame Leininger, présidente de jury

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury, recevez toute ma gratitude

Madame Vaultier, directrice de thèse

Pour m'avoir accompagnée au fur et à mesure de ces mois, pour votre implication et vos précieux conseils. Trouvez en cette thèse l'expression de mes plus sincères remerciements

Madame Cornelise, docteur en pharmacie

Pour toutes les connaissances que vous m'avez transmises

Pour votre temps, votre attention et votre gentillesse. Trouvez en ce travail toute ma reconnaissance

Madame Bertrand, docteur en pharmacie

Pour avoir accepté de faire partie de ce jury et pour vos précieux enseignements au cours de ces années d'études, un grand merci

À mes parents

Pour m'avoir soutenue tout au long de ces années de faculté.

Cela n'a pas toujours été facile, ni pour vous, ni pour moi. Je suis heureuse de clôturer ce chapitre de ma vie par cette thèse. J'espère que vous en serez fiers.

À Adrien et Élise,

Pour tous les très bons moments passés avec vous, entre frère et sœurs

À Nancy,

Pour avoir été présente et t'être toujours impliquée dans mes études

À mes grands-parents

A Madeleine et Gilles, déjà partis, en espérant que vous êtes fiers depuis là-haut

A Fernande et Michel, présents à mes côtés depuis toujours

À Monsieur Lanterne, spirulinier

Pour m'avoir fait visiter si gentiment votre exploitation de spiruline et pour avoir partagé vos connaissances sur le sujet

Aux différentes équipes officinales qui m'ont accueillie,

La Pharmacie des Portes de la Forêt à Darney, la Pharmacie des Sources à Vittel, la

Pharmacie Isabelle Fléchon à Mirecourt et la Pharmacie Claire Cornelise à Golbey

Pour votre implication, votre patience et votre bienveillance

À mes amis d'ici

Julie, Salomé, Manon

Pour l'entre-aide que l'on s'est apportée

Pour tous les bons moments passés ensemble

À mes amis d'ailleurs

Biche et Ninie

Pour toutes ces années passées ensemble

Pour avoir été auprès de moi aux périodes difficiles

À Julie

Pour avoir été mon binôme de choc pendant toutes ces études et dans la vie

J'ai toujours admiré ton courage et ta volonté

À Jean-Baptiste,

Pour avoir été là et pour avoir été toi

Je t'aime

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| LISTE DES ABREVIATIONS..... | 1 |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS | 2 |
| I. INTRODUCTION | 3 |
| II. DESCRIPTION DE LA SPIRULINE | 4 |
| 1. CLASSIFICATION | 4 |
| 2. MORPHOLOGIE ET STRUCTURE | 4 |
| 3. HABITAT | 5 |
| 4. ORIGINE DE L'UTILISATION | 5 |
| 5. CULTURE ET RECOLTE ACTUELLES | 6 |
| a. Règles générales | 6 |
| b. Présentation d'une exploitation vosgienne..... | 6 |
| III. LES VERTUS DES ALGUES..... | 16 |
| 1. CLASSIFICATION, ORIGINE, DEVELOPPEMENT | 16 |
| 2. LES ALGUES COMESTIBLES | 17 |
| a. L'agar-agar | 17 |
| b. La chlorelle | 18 |
| c. Le wakamé | 18 |
| 3. VERTUS MEDICINALES | 18 |
| a. L'agar-agar | 18 |
| b. La chlorelle | 19 |
| c. Le wakamé | 19 |
| d. La spiruline | 20 |
| 4. VERTUS COSMETIQUES | 20 |
| a. L'agar-agar | 20 |
| b. La chlorelle | 21 |
| c. Le wakamé | 21 |
| d. La spiruline | 22 |
| 5. VERTUS CULINAIRES | 22 |
| a. L'agar-agar | 23 |
| b. La chlorelle | 23 |
| c. Le wakamé | 23 |
| d. La spiruline | 23 |
| IV. COMPOSITION DE LA SPIRULINE..... | 25 |
| 1. MACRONUTRIMENTS ET MICRONUTRIMENTS..... | 25 |
| 2. PROTEINES ET ACIDES AMINES..... | 25 |
| 3. VITAMINES..... | 27 |
| a. Généralités | 27 |
| b. Provitamines A..... | 28 |
| c. Vitamine B1..... | 29 |
| d. Vitamine B2..... | 30 |
| e. Vitamine B3..... | 30 |
| f. Vitamine B5..... | 30 |
| g. Vitamine B6..... | 31 |
| h. Vitamine B8..... | 31 |
| i. Vitamine B9..... | 32 |
| j. Vitamine B12..... | 32 |
| k. Vitamine E | 33 |
| l. Vitamine K | 34 |
| m. Vitamine C | 34 |
| 4. PIGMENTS | 34 |
| a. Les caroténoïdes..... | 35 |
| b. Les chlorophylles..... | 37 |
| c. La phycocyanine | 39 |
| d. Les porphyrines..... | 41 |
| 5. ENZYMES | 42 |
| 6. OLIGOELEMENTS ET MINERAUX | 43 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| a. | Les oligo-éléments | 43 |
| a) | Le bore | 43 |
| b) | Le chrome..... | 44 |
| c) | Le cobalt | 44 |
| d) | Le cuivre..... | 45 |
| e) | Le fer | 45 |
| f) | Le manganèse | 47 |
| g) | Le sélénium | 47 |
| h) | Le zinc..... | 48 |
| b. | Les minéraux | 49 |
| a) | Le calcium | 49 |
| b) | Le magnésium | 50 |
| c) | Le phosphore..... | 50 |
| d) | Le potassium | 51 |
| e) | Le sodium..... | 51 |
| 7. | LIPIDES | 52 |
| 8. | GLUCIDES | 53 |
| 9. | RECAPITULATIF DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA SPIRULINE | 54 |
| V. | LA SPIRULINE POUR LA SANTE..... | 56 |
| 1. | LA MALNUTRITION | 56 |
| a. | La dénutrition | 56 |
| b. | Le surpoids | 58 |
| 2. | LE SYSTEME IMMUNITAIRE | 60 |
| 3. | LES TROUBLES DIGESTIFS | 62 |
| 4. | LES TROUBLES CARDIO-VASCULAIRES..... | 64 |
| 5. | LE DIABETE..... | 66 |
| 6. | LES ALLERGIES | 69 |
| 7. | LES TROUBLES DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL | 70 |
| a. | Troubles mineurs..... | 71 |
| b. | Maladie d'Alzheimer | 72 |
| c. | Maladie de Parkinson..... | 73 |
| d. | Maladie de Willis-Ekborn..... | 76 |
| e. | Troubles de l'attention | 77 |
| 8. | LES INFECTIONS VIRALES | 78 |
| 9. | COMMENTAIRE CRITIQUE DES SOURCES UTILISEES | 80 |
| 10. | RECAPITULATIF DES PROPRIETES DE LA SPIRULINE | 81 |
| VI. | LA SPIRULINE AU QUOTIDIEN..... | 83 |
| 1. | DE LA NAISSANCE A L'ADOLESCENCE | 83 |
| a. | Du nouveau-né au nourrisson | 83 |
| b. | L'enfant..... | 84 |
| c. | L'adolescent..... | 85 |
| 2. | LA FEMME..... | 86 |
| a. | La grossesse..... | 86 |
| b. | Le syndrome prémenstruel | 89 |
| c. | La ménopause | 90 |
| d. | L'esthétique..... | 90 |
| 3. | LE SPORTIF..... | 92 |
| 4. | LA PERSONNE AGEE..... | 94 |
| 5. | LES ANIMAUX | 95 |
| 6. | RECAPITULATIF DES ACTIVITES DE LA SPIRULINE | 98 |
| VII. | LA SPIRULINE EN PRATIQUE | 99 |
| 1. | LES DIFFERENTES FORMES GALENIQUES | 99 |
| a. | Les paillettes | 99 |
| b. | La poudre..... | 100 |
| c. | Les gélules..... | 101 |
| d. | Les comprimés..... | 101 |
| 2. | LES POSOLOGIES | 102 |
| 3. | LES PRECAUTIONS D'EMPLOI..... | 103 |
| 4. | LES EFFETS INDESIRABLES | 105 |
| 5. | LES INTERACTIONS MEDICAMENTEUSES | 105 |
| 6. | LES CONSEILS D'UTILISATION ET DE CONSERVATION | 106 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| VIII. | ALIMENT, ALICAMENT, COMPLEMENT ALIMENTAIRE ET MEDICAMENT | 107 |
| 1. | DEFINITIONS | 107 |
| a. | Aliment et alicament | 107 |
| b. | Complément alimentaire | 107 |
| c. | Le médicament..... | 108 |
| 2. | DIFFERENCES ENTRE COMPLEMENT ALIMENTAIRE ET MEDICAMENT | 109 |
| 3. | LA SPIRULINE EN TANT QUE COMPLEMENT ALIMENTAIRE | 110 |
| a. | Critère de composition..... | 111 |
| b. | Critère d'allégations..... | 112 |
| c. | Discussion | 113 |
| IX. | CONCLUSION..... | 114 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 116 |

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique

AESA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

AJR : Apport Journalier Recommandé

ANC : Apports Nutritionnels Conseillés

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé

AQR : Apport Quotidien Recommandé

COX : Cyclo-oxygénase

DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

DGAL : Direction Générale de l'Alimentation

EFSA : European Food Safety Authority

EPO : Erythropoïétine

FDA : Food and Drugs Association

FSF : Fédération des Spiruliniers de France

GBPH : Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène

GLA : Acide Gamma-Linolénique

HDL : High Density Lipoprotein

IL : Interleukine

INR : International Normalized Ratio

LDL : Low Density

NAC : Nouveaux Animaux de Compagnie

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

ONG : Organisations Non Gouvernementales

SME : Syndrome Métabolique Equin

SOD : Superoxyde dismutase

TDAH : Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|-----|
| Illustration 1 : Spiruline vue au microscope | 5 |
| Illustration 2 : Concept de l'économie circulaire de l'exploitation de Spirul'In Vosges..... | 7 |
| Illustration 3 : Bassins de spiruline, exploitation Spirul'In Vosges..... | 8 |
| Illustration 4 : Étape de la filtration, photographies de Spirul'In Vosges..... | 9 |
| Illustration 5 : Étape de pressage, photographies de Spirul'In Vosges | 10 |
| Illustration 6 : Étape de l'extrudage, photographie de Spirul'In Vosges | 10 |
| Illustration 7 : Étape de séchage, photographie de Spirul'In Vosges, Rancourt..... | 11 |
| Illustration 8 : Étape du conditionnement, photographie de Spirul'In Vosges..... | 11 |
| Illustration 9 : Sachets utilisés pour le conditionnement | 12 |
| Illustration 10 : Exemple d'un résultat d'analyse microbiologique, réalisé sur un extrait de spiruline de Spirul'In Vosges | 13 |
| Illustration 11 : Extraits d'une analyse alimentaire d'un échantillon de spiruline de Spirul'In Vosges..... | 15 |
| Illustration 12 : Photographies de la composition des Smarties et de bonbons Haribo | 24 |
| Illustration 13 : Comparatif de la teneur en protéines dans différents aliments | 26 |
| Illustration 14 : Comparatif du PDCAAS de divers aliments | 27 |
| Illustration 15 : Structure chimique des différents composants du groupe des caroténoïdes | 36 |
| Illustration 16 : Structures des différentes chlorophylles..... | 38 |
| Illustration 17 : Structure chimique de la phycocyanine..... | 39 |
| Illustration 18 : Noyau porphyrine..... | 41 |
| Illustration 19 : Noyau porphyrine combiné à un atome de fer (hème)..... | 42 |
| Illustration 20 : Tableau récapitulatif de la composition biochimique moyenne d'une production de cinq grammes de spiruline..... | 55 |
| Illustration 21 : Récapitulatif des propriétés de la spiruline | 82 |
| Illustration 22 : Récapitulatif des activités de la spiruline | 98 |
| Illustration 23 : Photographie de spiruline en paillettes..... | 100 |
| Illustration 24 : Spiruline sous forme de poudre | 100 |
| Illustration 25 : Spiruline en gélules..... | 101 |
| Illustration 26 : Spiruline sous forme de comprimés | 102 |
| Illustration 27 : Tableau comparatif, complément alimentaire vs médicament | 110 |
| Illustration 28 : Vitamines et minéraux autorisés à la composition des compléments alimentaires..... | 112 |

I. Introduction

« Que ton aliment soit ta seule médecine » : qui n'a jamais entendu cet adage émanant d'un médecin grec de l'Antiquité appelé Hippocrate ?

L'époque du 21^{ème} siècle, caractérisée par un mode de vie moderne et effréné, tend vers un monde où tout doit être facile d'accès et prêt à l'emploi, souvent au détriment de la qualité. Ce phénomène s'applique particulièrement au domaine de la nutrition par l'apparition de la « malbouffe » bien visible dans les pays développés, avec pour conséquence l'émergence de pathologies comme l'obésité, le diabète ou encore le cancer.

C'est peut-être pour cela que depuis quelques années, la population tend à revenir vers des choses plus « naturelles » afin de limiter les facteurs de risque susceptibles de favoriser un mauvais état de santé. Les médias, la presse et même l'industrie agro-alimentaire sont friands de ce type de message : « naturel », « bio » ou encore « bon pour la santé » et s'en servent dans la vie quotidienne pour faire passer un certain nombre de messages sur le rapport de l'alimentation à la santé.

La spiruline fait partie d'un de ces éléments pour lesquels un regain de popularité est notable depuis quelques années. Des exploitations de spiruline fleurissent un peu partout en France, des livres, des publicités ou encore des reportages vantent ses incroyables vertus. Mais qui est-elle et qu'en est-il vraiment de cette spiruline ?

La spiruline ou *Spirulina platensis*, est en réalité une cyanobactérie du genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, anciennement appelée « algue bleue ». Elle est consommée depuis plusieurs siècles par des peuples d'Amérique centrale et d'Afrique pour ses propriétés nutritionnelles au vu de sa riche composition en protéines, vitamines ou minéraux.

Au-delà de ses propriétés nutritionnelles, certains scientifiques s'intéressent à la spiruline pour ses potentielles vertus thérapeutiques dans le diabète, les allergies ou encore les troubles neurologiques. Autant dire un bien grand panel de vertus diverses et qui intrigue.

Souvent utilisée comme complément alimentaire dans des pays comme le nôtre, il est essentiel de garder un œil critique sur les allégations qui lui sont attribuées et de démêler ce qui relève du « potentiel » face à ce qui est « avéré », qui plus est au comptoir d'une officine, lorsqu'un patient vient demander conseil auprès de son pharmacien.

II. Description de la spiruline

1. Classification

La spiruline est un organisme difficile à classer puisqu'elle se trouve à la frontière des règnes animal, végétal et bactérien. En effet, elle dispose de parois cellulaires dépourvues de cellulose, est capable de photosynthèse, contient de la chlorophylle (végétal) et a la capacité d'échanger de l'information génétique (bactéries).

La spiruline, souvent désignée de façon plus commune sous le terme « d'algue » a été définie comme une cyanobactérie en 1974 et comme faisant partie du groupe des Cyanophycées ou « algues bleues de type procaryote ». Ces cyanobactéries font partie d'une des formes de vie les plus anciennes sur Terre et disposent des capacités de production d'oxygène et de photosynthèse grâce à trois pigments : la phycocyanine, la chlorophylle et les caroténoïdes (1).

Son nom de genre se décline en *Arthrospira* ou *Spirulina*, accompagné d'un nom d'espèce dont il existe une quinzaine de variétés. La *Spirulina platensis* est l'espèce la plus commune et celle chez qui le plus grand nombre d'études ont été réalisées.

2. Morphologie et structure

A l'état naturel, il s'agit d'une algue de couleur bleu-vert. Observée au microscope, la spiruline se caractérise par un filament hélicoïdal multicellulaire d'environ 250 micromètres. Elle est composée de filaments mobiles de 10 à 12 micromètres de diamètre, non ramifiés et enroulés (seulement si l'environnement s'avère favorable) en spirale de six à sept spires (*Illustration 1*). C'est cette forme particulière spiralée qui lui a valu son appellation de « spiruline » car en latin, *spira* signifie enroulement.

Les filaments de la spiruline, aussi appelés trichomes, sont protégés du soleil grâce à des vacuoles de gaz, qui lui permettent aussi d'atteindre les fonds des lacs remplis de sels nutritifs (2).



Illustration 1 : Spiruline vue au microscope (Wikimedia)

3. Habitat

La spiruline croît essentiellement dans des eaux saumâtres, alcalines et chaudes (30 à 40 degrés). D'ailleurs, à l'état naturel, elle colonise certains lacs de la ceinture tropicale d'Amérique centrale ou d'Afrique. L'algue doit bénéficier d'une exposition solaire satisfaisante et d'une eau riche en nutriments et en azote.

Ces conditions de croissance limitent la prolifération de certains autres micro-organismes.

4. Origine de l'utilisation

Spirulina platensis est une cyanobactérie qui est apparue sur Terre il y a environ 3,5 milliards d'années. La spiruline semblait déjà consommée il y a fort longtemps par les Aztèques.

En effet, le conquistador Espagnol nommé Cortès décrit dans ses mémoires que ce peuple amérindien avait pour habitude de ramasser à la surface des lacs une sorte de substance verte. Ils faisaient sécher celle-ci au soleil pour être consommée ensuite sous forme de galettes, gâteaux ou pains appelés « techuitlatl ». De la même façon au Nigeria, des membres de la tribu Kanembu consommaient une « boue » verte qu'ils récoltaient à la surface du lac Tchad. Ils en font des « dihés » qui est un gâteau populaire dans la région et qui se conserve bien. Il peut d'ailleurs être ajouté à certaines préparations culinaires.

Il est fort probable que les écrits du conquistador fassent référence à la spiruline puisque dans les années 1960, le botaniste belge Jean Léonard, en expédition en Afrique, tombe sur une sorte de galette bleu-vert lors d'un marché agricole, se rapprochant de la description faite au Mexique et au Nigeria il y a bien longtemps. Après analyse, cette galette à la couleur particulière correspond bel et bien à de la spiruline. C'est à ce moment que l'algue fut identifiée

scientifiquement pour ses propriétés nutritionnelles et que les premières cultures furent lancées (3).

5. Culture et récolte actuelles

a. Règles générales

La demande croissante en matière de spiruline a conduit au développement mondial et intensif d'exploitations productrices de spiruline, à plus ou moins grande échelle. En France, la Fédération des Spiruliniers de France (FSF) recense les différentes exploitations du territoire, une centaine à l'heure actuelle. Elles sont pour la plupart de petites entreprises avec une production à destination locale.

Pour les sites de production à grande échelle, la productivité est souvent le critère numéro un, au détriment de la qualité du produit. C'est pourquoi il est essentiel de bien choisir sa spiruline en identifiant le lieu de production.

Pour cultiver la spiruline, l'homme doit reproduire les conditions naturelles de développement et de croissance de l'algue, c'est-à-dire alcalinité et chaleur de l'eau. De plus, la concentration en minéraux de cette eau doit se situer entre 0,1 mg et 2 mg par litre et son pH sensiblement entre 9 et 11. La spiruline se développe de manière optimale lorsque la température de l'eau se trouve entre 25 et 40°C, avec un ensoleillement suffisant et une agitation régulière et douce (4).

Après récolte, la spiruline doit être séchée. Les spiruliniers utiliseront plutôt un chauffage à basse température afin de ne pas dénaturer les composants de l'algue, plutôt que l'exposition solaire naturelle qui reste inconstante.

Une fois que la spiruline est sèche, il est temps de passer au conditionnement : elle pourra être retrouvée sous forme de paillettes (surtout pour les petites exploitations locales), de poudre, de comprimés ou encore de gélules. La spiruline est à conserver dans un endroit sec et à l'aide d'un emballage qui la protège de la lumière afin d'éviter toute oxydation. Des tests de qualité microbiologique et une analyse de métaux lourds seront réalisés avant toute mise à disposition sur le marché afin de garantir une sécurité et une qualité optimales.

b. Présentation d'une exploitation vosgienne

Pour illustrer les propos précédents, j'ai choisi de présenter une exploitation de spiruline, *Spirul'In Vosges*, basée à Rancourt, un petit village vosgien.

Cette exploitation est née d'un agriculteur et producteur laitier qui a choisi de récupérer la chaleur émanant de son unité de méthanisation pour produire de la spiruline.

En fait, la méthanisation consiste à la fermentation des déchets organiques des vaches (lisier) en digestat, pouvant être utilisé comme engrais ; et en biogaz (électricité et chaleur), une énergie renouvelable.

L'électricité et la chaleur se dégageant de ce système peuvent être utilisées pour des activités diverses (ici : chaleur pour la production de spiruline et alimentation de foyers en électricité) et ne sont donc pas « perdues » : il s'agit du concept de l'économie circulaire (*Illustration 2*).

Ce concept permet de revisiter nos modes de consommation et de production afin d'utiliser aux mieux les ressources naturelles et de limiter au maximum les déchets générés.

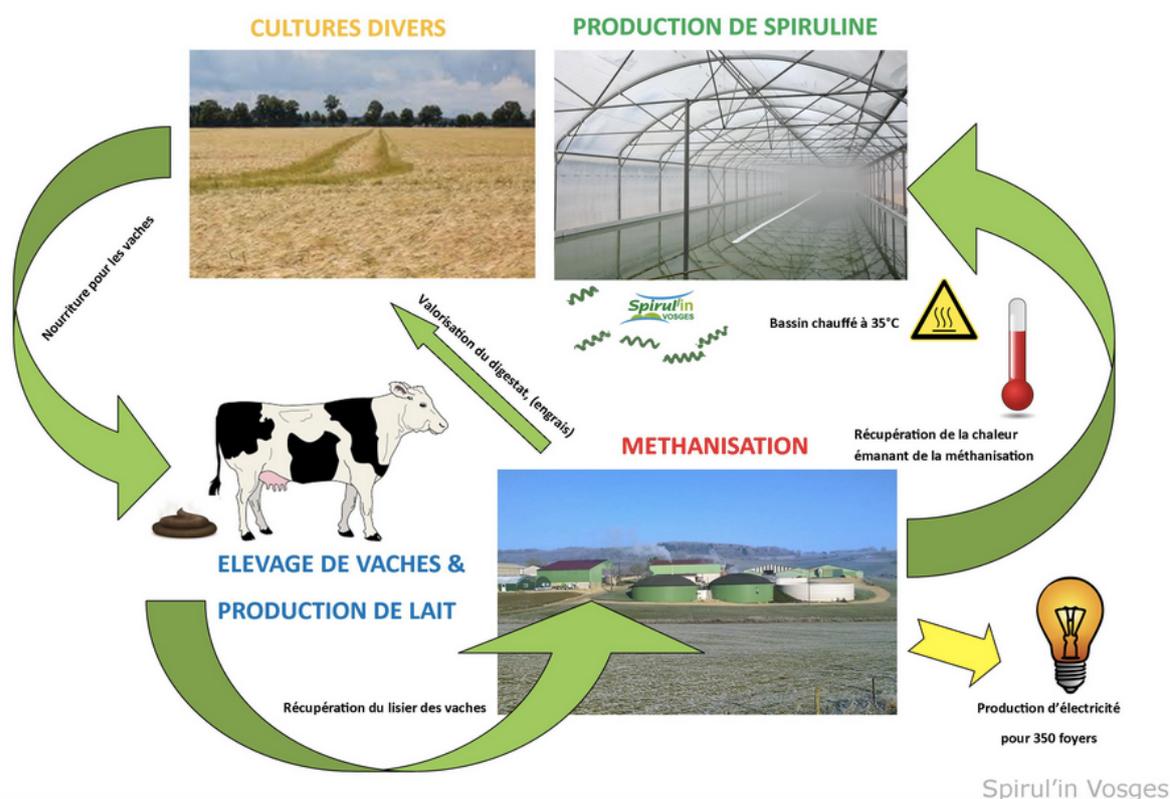


Illustration 2 : Concept de l'économie circulaire de l'exploitation de Spirul'in Vosges (5)

L'exploitation vosgienne de spiruline est constituée de deux bassins d'eau de 450 mètres carrés (*Illustration 3*), installés sous une serre chauffée entre 25 et 32 degrés (chaleur issue de la méthanisation).

Dans ces bassins, la spiruline pousse dans un milieu de culture avec un pH supérieur à 10, une salinité à 10-15 grammes et avec une agitation proportionnelle à l'ensoleillement.

La saison optimale pour la production de spiruline repose sur les longues journées ensoleillées avec un écart de température assez faible. Ainsi, les premières récoltes débutent fin Janvier avec une récolte par semaine, puis deux récoltes par semaine en Mars pour arriver à une moyenne de 3 par semaine pour la période du 15 avril au 15 septembre. Les récoltes peuvent se poursuivre à une fréquence moins élevée jusque fin décembre. Finalement, sur une année complète, la récolte n'a pas lieu sur une période d'environ un mois (fin décembre à fin Janvier).



Illustration 3 : Bassins de spiruline, exploitation Spirul'In Vosges

La récolte se décline en plusieurs étapes : la filtration, le pressage, l'extrudage, le séchage et le conditionnement.

Lorsque la spiruline arrive à un niveau de concentration satisfaisant, une pompe automatique fait passer le milieu de culture à travers une membrane de filtration d'environ 35 microns. Cette toile de filtration retient la biomasse et le jus de filtration retourne dans le bassin (*Illustration 4*). Il s'agit de la première étape de la récolte : la filtration.

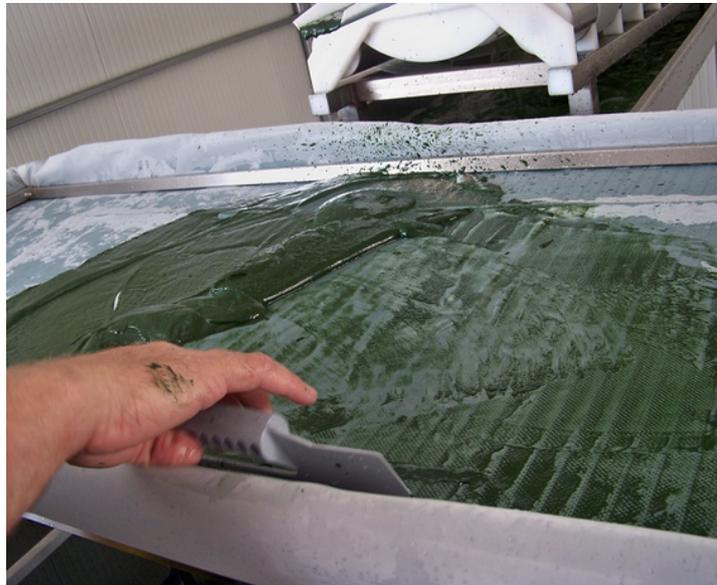
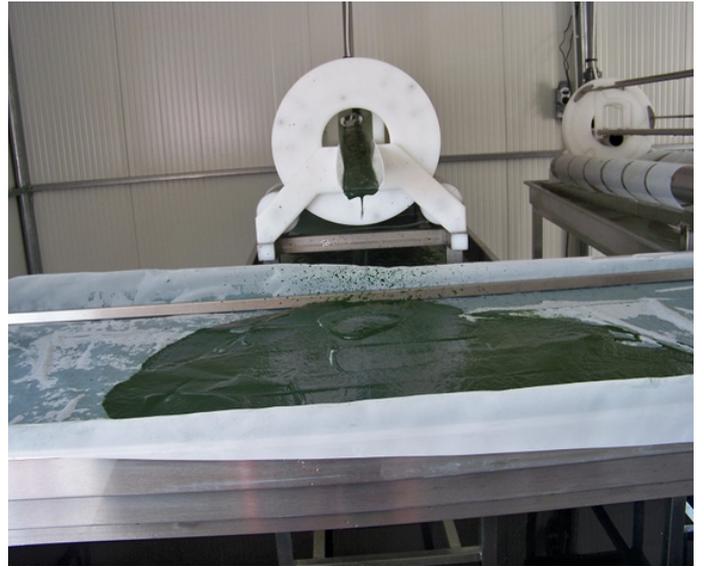


Illustration 4 : Étape de la filtration, photographies de Spirul'In Vosges

A ce moment, la spiruline contient encore une majorité d'eau et n'est pas consommable. Vient donc l'étape de pressage : un égouttage sous vide à une pression de 0,6 bars permet d'extraire la plus grande partie de l'eau, sans faire éclater la biomasse. On peut alors de parler de spiruline fraîche après cette étape (*Illustration 5*).



Illustration 5 : Étape de pressage, photographies de Spirul'In Vosges

Après le pressage, la spiruline fraîche est placée sur des clayettes en inox afin d'en faire des spaghettis fins pour faciliter le séchage ultérieur : il s'agit de l'extrudage (*Illustration 6*).



Illustration 6 : Étape de l'extrudage, photographie de Spirul'In Vosges

Une fois que la spiruline a été découpée en spaghettis, il faut la sécher : elle est placée dans un séchoir, à basse température, afin de ne pas dénaturer ses composants (*Illustration 7*). Une dizaine d'heures sont nécessaires pour que la spiruline soit bien sèche.



Illustration 7 : Étape de séchage, photographie de Spirul'In Vosges, Rancourt

Lorsque la spiruline est bien sèche, le conditionnement est réalisé à la main (*Illustration 8*) : la spiruline est brisée et placée dans des sachets à base d'aluminium, qui la protégeront de l'humidité et de la lumière (*Illustration 9*). Elle doit alors être consommée dans les deux ans suivants.



Illustration 8 : Étape du conditionnement, photographie de Spirul'In Vosges



Illustration 9 : Sachets utilisés pour le conditionnement

Il existe un Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène (GBPH) qui recueille les différentes recommandations à appliquer en termes d'hygiène, au vu des dispositions du Journal Officiel, avec les règlements (CE) numéro 852/2004 du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires et du numéro 183/2005 (CE) du 12 janvier 2005 relatif à l'hygiène des aliments pour animaux.

Ces guides sont spécifiques à certaines branches professionnelles et sont soumis à l'avis de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) et au Conseil National de la Consommation. Une fois validés, un avis sur les guides est publié au Journal Officiel de la République Française.

Pour l'heure, un GBPH a été déposé par la Fédération des Spiruliniers de France (FSF) à la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) en Avril 2016 et est en cours d'évaluation par les autorités.

Pour patienter, un avis de l'ANSES a été publié en 2017 afin de répondre aux différentes problématiques soulevées par le dispositif de Nutrivigilance, concernant des toxines retrouvées dans des compléments alimentaires de spiruline pouvant être potentiellement responsables de certains effets indésirables.

Dans cet avis, l'ANSES recommande aux consommateurs de privilégier les circuits d'approvisionnement les mieux contrôlés par les pouvoirs publics et estime que « *en dehors du risque de contamination (commun à toutes les productions alimentaires), la spiruline ne semble pas présenter de risque sanitaire à de faibles doses (jusqu'à plusieurs grammes par jour chez l'adulte)* » (6).

Cela n'empêche pas l'exploitant vosgien de suivre un bon nombre de recommandations d'hygiène tirées du GBPH « général » de la filière agro-alimentaire et de réaliser les tests en vigueur.

Une analyse microbiologique mensuelle (*Illustration 10*) est obligatoire pour chaque lot de spiruline produit, avant chaque mise en vente. Elle est réalisée par un laboratoire d'analyses indépendant et se réfère à un cahier des charges proposé par la FSF, qui détermine si la qualité microbiologique est acceptable ou non.

Tableau de résultats

| Paramètres recherchés | Méthodes | Unités | Critères | Résultats | S/conclusion |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------|----------|-------------|-----------------|
| Micro-organismes aérobies à 30°C | XP V08-034* | UFC/g | 100 000 | <1000 | CH Satisfaisant |
| Colliformes thermotolérants à 44°C | NF V08-060* | UFC/g | 100 | <10 | CH Satisfaisant |
| Anaérobie Sulfito-réducteur 46°C | NF V 08-061 Boîte* | UFC/g | 100 | 370 | CH Acceptable |
| Clostridium perfringens | NF EN ISO 7937* | UFC/g | 10 | <5 | CS Satisfaisant |
| Staphylocoques à coagulase positive | NF V08-057-1/Méthode spirale* | UFC/g | 100 | <100 | CS Satisfaisant |
| Salmonella | BKR 23X7-10/11* | /25g | Absence | Non détecté | CS Satisfaisant |
| Listeria monocytogenes | AES 10/05-09/06* | UFC/g | 100 | <10 | CS Satisfaisant |

BILAN

| | |
|----------------|--|
| Conclusions* : | Qualité microbiologique acceptable |
| Commentaires : | Cahier des charges proposé par la FSF : issu du projet GBPH "spiruline paysanne" (CH = Critère Hygiène, CS = Critère Sécurité). Un CH acceptable ou non satisfaisant entraîne la mise en place d'action corrective. Un CS non satisfaisant peut entraîner le retrait du lot. |

(*) : paramètres de la portée d'accréditation, (B) : nombre estimé, (*) : nombre N, (<n) : micro-organisme détecté avec moins de n ufc/g. NC : information non communiquée et/ou non renseignée. Le rapport d'essai ne concerne que les objets soumis aux essais. La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale, sauf autorisation du laboratoire AQMC. Les déclarations de conformité ne tiennent pas compte de l'incertitude de mesure sur les résultats.

Illustration 10 : Exemple d'un résultat d'analyse microbiologique, réalisé sur un extrait de spiruline de Spirul'In Vosges

Une analyse alimentaire (*Illustration 11*) est réalisée une à deux fois par an : celle-ci s'intéressera plutôt à des paramètres comme la quantité de protéines, de vitamines ou de glucides.

Une analyse de métaux lourds est également réalisée une à deux fois par an, en même temps que l'analyse alimentaire.

| Valeurs nutritionnelles moyennes | Résultats pour 100g | Résultats par portion de 100 g | Apport quotidien de référence (1) | Résultats en % des apports de référence par portion |
|----------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| Energie | 366 kcal 1 542 kJ | 366 kcal 1 542 kJ | 2 000kcal 8 400kJ | 18% 18% |
| Matières grasses | 7.5g | 7.5g | 70g | 11% |
| Acides gras saturés | 2.9g | 2.9g | 20g | 15% |
| Acides gras monoinsaturés | 0.8g | 0.8g | | |
| Acides gras polyinsaturés | 3.8g | 3.8g | | |
| Glucides | 7.9g | 7.9g | 260g | 3% |
| dont sucres | 0.6g | 0.6g | 90g | 1% |
| Fibres alimentaires | 5.6g | 5.6g | | |
| Protéines | 64g | 64g | 50g | 128% |
| Sel | 2.6g | 2.6g | 6g | 43% |

Mentions obligatoires
Mentions facultatives

(1) Apport quotidien de référence pour un adulte type (8 400kJ /2000 kcal)

Etiquetage nutritionnel par portion

| | Energie | Matières grasses | Acides gras saturés | Sucres | Sel |
|---|----------|------------------|---------------------|--------|------|
| par portion de 100 g | 366 kcal | 7.5g | 2.9g | 0.6g | 2.6g |
| % des apports quotidiens de référence par portion | 18% | 11% | 15% | 1% | 43% |

Acides gras selon NF EN ISO 12966, -4 et -2 méthode rapide Résultats exprimés en % d'acides gras totaux

Echantillon : 2017 4.8902.1

Sample identification

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|-----------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|---------------------------|------|
| C4:0 | n.d. | C5:0 | n.d. | C6:0 | n.d. | C8:0 | n.d. | C10:0 | n.d. |
| C10:1 | n.d. | C11:0 | n.d. | C12:0 | n.d. | C13:0 A Iso | n.d. | C13:0 Iso | n.d. |
| C13:0 | n.d. | C14:0 Iso | n.d. | C14:0 | 0.1 | C14:1 cis-9 | n.d. | C15:0 A Iso | n.d. |
| C15:0 Iso | n.d. | C15:0 | n.d. | C15:1 cis-10 | n.d. | C16:0 Iso | n.d. | C16:0 | 38.1 |
| C16:1 cis-7 | n.d. | C16:1 trans-9 | 2.1 | C16:1 cis-9 | 5.6 | C16:2 | 0.1 | C16:3 | n.d. |
| C17:0 Iso | 0.1 | C17:0 | 0.2 | C17:1 A Iso | 0.2 | C17:1 cis-10 | n.d. | C18:0 | 0.4 |
| C18:0 Iso | 0.6 | C18:1 cis-6 | n.d. | C18:1 cis-9 | 1.5 | C18:1 cis-11 | 0.7 | C18:1 cis-12 | n.d. |
| C18:1 cis-13 | n.d. | C18:1 cis-14 | n.d. | C18:1 cis-15 | n.d. | C18:1 cis-16 | n.d. | C18:1 trans-11 | n.d. |
| C18:1 trans-6 | n.d. | C18:1 trans-9 | 0.1 | C18:2 cis-9,12 | 17.2 | C18:2 cis-9,13 | n.d. | C18:2 cis-9,15 | 0.1 |
| C18:2 cis-9, trans-11 | n.d. | C18:2 cis-9, trans-12 | 0.1 | C18:2 trans-9,12 | n.d. | C18:2 trans-9,cis-12 | 0.2 | C18:2 trans-10,cis-12 | n.d. |
| C18:3 cis-6,9,12 | 27.0 | C18:3 cis-9,12,15 | 0.1 | C18:3 cis-9,trans-12,15 | n.d. | C18:3 trans-9,cis-12,15 | n.d. | C18:3 trans-9,12,cis-15 | 4.8 |
| C18:3 trans-9,12,15 | n.d. | C18:4 cis-3,6,9,12 | n.d. | C18:4 cis-6,9,12,15 | n.d. | C20:0 | n.d. | C20:1 cis-8 | n.d. |
| C20:1 cis-11 | n.d. | C20:1 cis-5 | n.d. | C20:2 cis-11,14 | 0.3 | C20:3 cis-8,11,14 | 0.4 | C20:3 cis-11,14,17 | n.d. |
| C20:4 cis-5,8,11,14 | n.d. | C20:4 cis-8,11,14,17 | n.d. | C20:5 cis-5,8,11,14,17 | n.d. | C21:0 | n.d. | C22:0 | n.d. |
| C22:1 cis-11 | n.d. | C22:1 cis-13 | n.d. | C22:2 cis-13,16 | n.d. | C22:3 cis-10,13,16 | n.d. | C22:3 cis-13,16,19 | n.d. |
| C22:4 cis-7,10,13,16 | n.d. | C22:4 cis-10,13,16,19 | n.d. | C22:5 cis-4,7,10,13,16 | n.d. | C22:5 cis-7,10,13,16,19 | n.d. | C22:6 cis-4,7,10,13,16,19 | n.d. |
| C23:0 | n.d. | C24:0 | n.d. | C24:1 cis-15 | n.d. | | | | |

n.d. : <0.1 % d'acides gras totaux

LA = C18:2 cis-9,12 - ALA = C18:3 cis-9,12,15 - EPA = C20:5 cis-5,8,11,14,17 - DHA = C22:6 cis-4,7,10,13,16,19

CLA = C18:2 cis-9,trans-11 et C18:2 trans-10,cis-12

Utilisation de facteurs de correction, selon la norme NF EN ISO 12966-4, pour le calcul des résultats d'acides gras.

Les résultats des acides gras sont exprimés sur la matière grasse extraite (méthode interne MONU59 : extraction n-hexane/isopropanol)

| Paramètre Compound | Résultat Result | Unité Unit | Méthode d'analyse Analysis method |
|--|--------------------|---------------|---------------------------------------|
| Humidité à 70 ° C et pression réduite Moisture at 70 ° C and low pressure | 8.42 | g/100g | MI MONU79 Etuvage |
| Cendres brutes Ashes | 6.68 | g/100g | MI MONU07 Incinération |
| Protéines brutes "N*6,25" Protein "N*6.25" | 63.96 | g/100g | MI MONU08 Kjeldahl |
| Lipides totaux Fat "B" | 7.46 | g/100g | MI MONU81 Soxhlet |
| Sucres solubles totaux Total soluble sugars | 0.59 | g/100g | MI MONU88 Flux continu - colorimétrie |
| Glucides totaux Total carbohydrates | 13.48 | g/100g | MI MONU84 Calcul |
| Fibres alimentaires totales Total dietary fiber | 5.6 | g/100g | AOAC 985.29 |
| Glucides assimilables Carbohydrates | 7.88 | g/100g | MI MONU84 Calcul |
| Valeur calorique Energy | 365.7 | kcal/100g | Règlement UE 1169/2011 - Calcul |
| Valeur énergétique Energy | 1542.2 | kJ/100g | Règlement UE 1169/2011 - Calcul |

Illustration 11 : Extraits d'une analyse alimentaire d'un échantillon de spiruline de Spirul'In Vosges

III. Les vertus des algues

1. Classification, origine, développement

D'après Catherine Crépeau, les algues sont « des organismes vivants capables de pratiquer la photosynthèse et qui, comme les plantes, fixent le gaz carbonique et produisent de l'oxygène » (7).

Deux types d'algues sont à différencier : les algues procaryotes et les algues eucaryotes.

Les algues procaryotes (ou unicellulaires) n'ont pas de noyau et procèdent à la photosynthèse depuis leur cytoplasme. Il s'agit notamment des cyanobactéries, des prochlorophytes ou des chloroxybactéries.

Les algues eucaryotes (ou pluricellulaires), quant à elles, possèdent une membrane qui va séparer le noyau du cytoplasme.

Les algues peuvent aussi être réparties en deux groupes : les micro-algues et les macro-algues. Les micro-algues sont généralement des organismes unicellulaires constituant le plancton alors que les macro-algues sont des végétaux multicellulaires plus imposants.

Les macro-algues se divisent en quatre sous-groupes : les algues bleues (cyanobactéries), les algues rouges (Rhodophytes), les algues vertes (Chlorophytes) et les algues brunes (Phéophycées).

Les micro-algues se divisent quant à elle en trois sous-groupes : les diatomées, les dinoflagellés et les coccolithophores qui sont toutes des algues unicellulaires.

Les algues bleues sont apparues il y a 3,7 milliards d'années et sont les premières à avoir produit de l'oxygène sur Terre. Souvent apparentées au règne bactérien, ces algues unicellulaires ont des pigments bleus qui leur permettent de capter la lumière et de réaliser la photosynthèse. La spiruline et la chlorelle font partie de cette catégorie.

Les algues rouges sont apparues plus récemment, il y a environ 1,7 milliards d'années. Elles disposent d'un noyau et produisent de l'amidon à partir de l'énergie solaire. Leurs pigments « phycobilines » les rendent rouge à violet. S'y retrouvent notamment la nori (*Porphyra/Pyropia*), la dulse (*Palmaria palmata*) ou encore la mousse d'Irlande (*Chondrus crispus*).

Encore plus récentes, les algues vertes datant d'il y a 1,3 milliards d'années, peuvent être uni ou pluricellulaires. Elles sont retrouvées au niveau des rivages des océans, dans les rivières ou même sur la terre ferme. Parmi elles, il existe la laitue de mer (*Ulva lactuca*) et l'aonori (*Enteromorpha*).

Pour finir, les algues brunes sont les plus récentes avec une apparition estimée à 1,1 milliard d'années. Généralement accrochées aux rochers, elles peuvent être de taille microscopique ou au contraire, atteindre plusieurs mètres de longueur. Elles sont de couleur jaune à marron et on y retrouve notamment le wakamé (*Undaria pinnatifida*), le haricot de mer (*Himanthalia elongata*) ou le kombu (*Laminaria Digitata*).

Les algues sont retrouvées sur tous les continents (sauf en Antarctique) et poussent dès lors qu'il y a de l'eau et de la lumière. Elles peuvent être retrouvées aussi bien en eaux douces, qu'en eaux salées ou en milieux humides. À noter que les algues d'eaux douces se multiplient rapidement, sont propices à la culture et ne contiennent pas d'iode : ceci est le cas de la spiruline (7).

2. Les algues comestibles

Parmi les milliers de variétés d'algues existantes, seulement une petite cinquantaine semble comestible. Elles peuvent être récoltées de manière sauvage ou bien cultivées. Leur point commun reste leur utilisation alimentaire, que ce soit comme aliment à part entière ou bien comme complément alimentaire. Parmi les algues comestibles, trois des algues les plus courantes seront présentées, sauf la spiruline pour laquelle le développement sera au cœur du sujet pour la suite.

a. L'agar-agar

L'agar-agar, extrait des algues rouges, est un galactane (polysaccharide), avant tout reconnu pour son véritable pouvoir gélifiant et est de ce fait, utilisé dans des milieux comme l'agro-alimentaire, la cosmétique ou la pharmacie.

Il est particulièrement utilisé dans le milieu alimentaire grâce à son pouvoir gélifiant, qui est même sept à huit fois supérieur à celui de la gélatine animale, constituant une solution alternative pour les personnes suivant un régime végétarien. Dans l'agro-alimentaire, il est retrouvé sous la codification de E406.

Il est également retrouvé dans le domaine de la cosmétologie de par ses propriétés épaississantes et stabilisatrices, nécessaires à la bonne fabrication de produits cosmétiques tels que les gels, les crèmes ou les émulsions. D'autre part, il entre dans la composition de capsules médicamenteuses ou sert encore de lubrifiant en chirurgie. En microbiologie, il peut aussi être utilisé pour la fabrication de milieux de culture gélifiés (7).

Enfin, il semblerait que l'agar-agar dispose d'un rôle dans la santé, de par sa richesse nutritionnelle en minéraux et oligo-éléments et de par sa propriété de laxatif mécanique (8).

b. La chlorelle

La chlorelle ou *Chlorella vulgaris* est une algue verte unicellulaire d'eau douce. Elle est riche en toutes sortes d'aliments nutritifs : protéines, vitamines, oligo-éléments (...) ce qui en fait un élément de choix, notamment pour ses propriétés cicatrisantes et détoxifiantes (9). Avant 1970, la chlorelle n'était pas digestible : il a fallu procéder à un éclatement de sa membrane cellulaire pour qu'elle soit rendue assimilable (10).

c. Le wakamé

Le wakamé ou *Undaria pinnatifida*, qui fait partie de la famille des algues brunes, est une algue aux feuilles larges et de couleur vert foncé. Prenant l'allure d'une sorte de fougère, ce sont les parties qui ressemblent à des feuilles qui sont consommées, fraîches ou séchées, crues ou cuites. La nervure centrale semble pouvoir être consommée, il faudra toutefois penser d'abord à la laisser tremper, puis à la cuire.

Le wakamé a une saveur iodée particulière, d'où son nom « fougère de mer » et est riche en acides aminés essentiels, calcium et protéines.

3. Vertus médicinales

a. L'agar-agar

L'agar-agar fait partie d'un des extraits d'algues connues pour accompagner les régimes minceur.

En effet, de par leur faible apport calorique et leur richesse en fibres, certaines algues sont considérées comme des coupe-faim naturels. Par exemple, lorsque l'agar-agar est ingéré celui-ci va gonfler au contact du contenu de l'estomac et va provoquer une sensation de satiété en occupant une grande partie de l'espace. La consommation de cette algue avant le repas permet alors de réduire les apports alimentaires.

De plus, les algues marines contenant de l'iode stimulent la glande thyroïde et permettent de brûler plus de calories.

Toutefois, les algues riches en iode sont déconseillées aux personnes souffrant de dysfonctionnements thyroïdiens, aux femmes enceintes et allaitantes.

Puis, étant riches en fibres, l'agar-agar lutte contre la constipation en accélérant le transit intestinal et contribue à la cicatrisation des parois intestinales. Cette forte teneur en fibres ralentit l'assimilation des glucides et permet à la glycémie de ne pas augmenter de façon très importante après les repas : il est donc conseillé aux diabétiques de demander un avis médical avant la consommation en grande quantité de cet agar-agar (7).

b. La chlorelle

La chlorelle contient de la phénylalanine, qui est un acide aminé « inhibiteur d'appétit ». La consommation de chlorelle pourrait donc être un outil pour limiter la sensation de faim entre les repas, dans l'accompagnement d'un régime minceur bien conduit (7).

Outre ce potentiel d'arme minceur, une étude scientifique montre que la chlorelle pourrait disposer d'un rôle important dans la prévention du diabète en protégeant les cellules pancréatiques du stress oxydatif (11). Des études plus poussées seraient intéressantes pour estimer l'impact que la chlorelle pourrait avoir dans la prévention et le traitement du diabète.

Une autre étude clinique a utilisé la chlorelle pour entrer dans la composition de nanoparticules d'argent afin d'estimer le pouvoir antibactérien contre *Staphylococcus aureus*. Il en ressort que ces nanoparticules ont bel et bien un effet inhibiteur sur la croissance bactérienne et sur l'expression de l'alpha-hémolysine de la bactérie (12). Une fois de plus, des études plus approfondies seraient nécessaires pour confirmer le potentiel antibactérien de la chlorelle.

La chlorelle pourrait aussi être une voie d'ouverture dans la prise en charge du carcinome pulmonaire, puisqu'une étude a permis de montrer que des extraits de chlorelle ont été responsables d'une apoptose et de lésions de l'ADN au niveau de cellules pulmonaires cancéreuses (13).

c. Le wakamé

Certaines algues se sont vues attribuées des propriétés « anticancéreuses ». C'est le cas notamment pour le wakamé. Il contient deux substances : le fucoïdane et la fucoxanthine, pour lesquelles des activités anticancéreuses ont été mises en évidence.

Le fucoïdane, qui est en fait un polymère de sucres, a montré dans des études *in vitro* sa capacité à limiter la croissance de cellules cancéreuses, notamment dans la leucémie et le cancer du sein (7). Il permettrait également de réduire l'inflammation et de stimuler le système immunitaire et pourrait, en combinaison avec les traitements anticancéreux actuels, rendre ceux-ci plus efficaces (14). La fucoxanthine semble également présenter une activité anticancéreuse. Des études sur des animaux et sur des cellules de tumeurs humaines ont

montré que ce composé diminuerait la viabilité de cellules malignes (15) dans les cancers du côlon et de la prostate.

D'autre part, une autre étude clinique s'est intéressée au potentiel pouvoir antioxydant du fucoïdane en l'utilisant chez des rats arthritiques. Après traitement, leurs paramètres hématologiques et biochimiques sont nettement améliorés, laissant à penser que cette substance possède des bienfaits contre le stress oxydatif, l'inflammation et les œdèmes, produits par l'arthrite (16).

Un groupe de scientifiques pense également que le fucoïdane pourrait avoir un rôle dans la prévention voire le traitement de l'hypertension artérielle, en réduisant l'inflammation vasculaire et en contrôlant le stress oxydatif des structures vasculaires. Leur étude clinique chez des rats hypertendus a montré que le traitement au fucoïdane a entraîné une réduction puissante et persistante de leur pression artérielle(17).

En parallèle, une équipe coréenne démontre que ce fucoïdane possède un effet thrombolytique, en stimulant de manière dose-dépendante la libération d'activateur de plasminogène tissulaire dans un modèle de thrombose chez la souris (18).

d. La spiruline

Les vertus médicinales de la spiruline seront détaillées ultérieurement dans une partie dédiée à l'utilisation de la spiruline pour la santé.

4. Vertus cosmétiques

a. L'agar-agar

L'industrie cosmétique connaît bien cet agar-agar et l'utilise principalement comme épaississant et stabilisant pour la préparation de diverses formes galéniques (crèmes, gels, masques...). Riche en minéraux et en antioxydants, l'agar-agar nourrit les cellules de la peau et lutte contre le vieillissement cutané et la perte d'élasticité. Il est aussi capable de retenir l'eau dans la peau en formant un gel hydrocolloïde lorsqu'il est porté à ébullition.

Après refroidissement, il peut alors être appliqué sur la peau pour lui redonner une certaine élasticité.

Il apparaîtrait également que des applications locales d'agar-agar disposent d'un pouvoir de lutte contre la cellulite. L'iode contenu dans l'algue serait absorbé localement par la peau et permettrait alors de stimuler les circulations veineuse et lymphatique, favorisant le drainage et l'élimination des graisses (7).

b. La chlorelle

La chlorelle, de par ses propriétés anti-infectieuses, dispose d'un spectre d'action se concentrant plutôt sur les affections cutanées telles que l'herpès, l'acné ou la névrodermite (7). Elle sera dans ce cas utilisée comme acteur complémentaire dans la prise en charge globale de pathologies cutanées.

D'ailleurs, une étude clinique a permis de démontrer que des extraits de diverses souches de chlorelle avaient des pouvoirs d'inhibition sur le *Propionibacterium acnes* (bactérie de l'acné) et sur des cytokines pro-inflammatoires, révélant un pouvoir anti-acnéique de l'algue. La chlorelle pourrait être un outil dans l'accompagnement de la prise en charge des patients acnéiques et permettrait notamment de réduire le recours aux antibiotiques pour des souches bactériennes qui deviennent aussi de plus en plus résistantes à certains traitements (19).

c. Le wakamé

Le wakamé aurait la propriété de maintenir des niveaux de collagène et d'élastine satisfaisants, contribuant au maintien d'une peau souple et ferme, expliquant que l'on puisse le retrouver dans des crèmes aux vertus hydratantes ou antirides (7).

En effet, une étude clinique réalisée sur des plaies cutanées de rats semble lui attribuer des activités antioxydantes et anti-inflammatoires, par une meilleure distribution du collagène, une augmentation de l'angiogénèse ou encore une réduction de la peroxydation des lipides (20).

Le wakamé semble également contribuer à la croissance des cheveux et à une amélioration de leur aspect (force, brillance, souplesse...) (7).

En effet, une équipe de chercheurs a étudié l'effet sur la croissance de poils de souris d'un mélange de *Saccharina japonica* et de wakamé en comparaison à celui du minoxidil (médicament utilisé dans la chute de cheveux) : il en ressort que les effets semblent similaires de l'algue au médicament, c'est-à-dire que le mélange d'algues est aussi efficace que le minoxidil dans la lutte contre la perte des poils.

Toutefois, le minoxidil présente de nombreux effets secondaires à l'inverse du wakamé qui pourrait être une alternative potentielle dans la prévention voire le traitement de la perte de cheveux (21).

Reste à vérifier que cette efficacité soit due, entre autres, au wakamé et non pas seulement à l'autre algue brune testée, la *Saccharina japonica* (et inversement). Pour cela, il serait pertinent de réaliser un essai clinique similaire à celui cité précédemment, mais incluant seulement le wakamé.

d. La spiruline

Au vu de sa composition naturelle (vitamines, acides gras, acides aminés...), la spiruline en application externe favorise la pousse des cheveux. Elle est d'ailleurs retrouvée dans la composition de certains shampooings et certains traitements (22).

Possédant des propriétés antioxydantes, la spiruline en application externe comme masque au niveau du cuir chevelu participe à l'élimination des pellicules et rend les cheveux plus forts et plus brillants. Des cures de quatre semaines peuvent être nécessaires.

Utilisée en crème pour le visage, les propriétés antioxydantes de la spiruline permettent de rendre la peau plus tonique, en détoxifiant la peau du visage et en limitant le vieillissement cutané. Elle contribuerait aussi à la bonne santé des ongles, en favorisant la synthèse de kératine (7).

La spiruline, riche en bêta-carotène (composé qui accélère la synthèse de mélanine), peut s'avérer utile pour préparer la peau au soleil.

Certaines études, réalisées chez des souris avec des tumeurs induites par les UVB, laissent à penser que la spiruline exerce un effet protecteur contre l'irradiation par ces UVB et inhibe l'induction et le développement de ces dites tumeurs (23).

Une autre étude corrobore cette hypothèse en mettant en avant le rôle de la phycocyanine dans ce processus de protection contre les UVB (24). Toutefois, cela ne dispense évidemment pas de continuer à se protéger du soleil par le biais d'une crème solaire efficace et d'une exposition raisonnée.

Les différents atouts dont semble disposer la spiruline font d'elle un élément potentiel à développer dans l'industrie cosmétique (25).

5. Vertus culinaires

Dans le monde occidental, consommer des algues ne fait pas vraiment partie de la culture ou des traditions. Alors que dans les pays asiatiques, les algues sont la plupart du temps consommées sous leur forme « naturelle », celles consommées dans le reste du Monde le sont plutôt sous forme d'additifs alimentaires grâce à leurs pouvoirs de gélifiant ou d'émulsifiant. Ces algues sont d'ailleurs souvent ajoutées à tous types de préparations transformées et sont retrouvées sous les dénominations de E400 à E407.

Les algues fraîches peuvent être dégustées crues ou cuites. Dans le cas d'algues crues, elles peuvent être conservées au réfrigérateur pendant 24 heures. Dans le cas d'algues cuites, la conservation peut alors aller jusque 3 jours (7).

a. L'agar-agar

L'agar-agar a l'avantage de disposer d'un pouvoir gélifiant bien supérieur à celui de la gélatine animale. Il n'a ni couleur ni goût et peut donc parfaitement remplacer la gélatine en tant que liant, en prenant garde toutefois à ajuster les quantités et éventuellement modifier quelques étapes de préparation lors de la réalisation de la recette. En effet, un gramme d'agar-agar équivaut à huit grammes de gélatine animale et d'autre part, la gélatine ne nécessite pas de cuisson alors que l'agar-agar doit être porté à ébullition pour être intégré à une préparation. Il est aussi important de noter que la texture obtenue avec l'agar-agar peut être un peu différente de celle obtenue avec la gélatine (7).

L'agar-agar peut donc convenir aux personnes souhaitant respecter un régime végétarien.

b. La chlorelle

La chlorelle est assez peu utilisée pour ses vertus culinaires car son goût ne semble pas spécialement agréable et elle ne dispose pas d'un pouvoir texturant comme celui de l'agar-agar. Utilisée plutôt comme complément alimentaire, le but est de conserver au maximum l'intégrité de ses nutriments et leurs propriétés. Pour cela, il faut donc éviter de la cuire ou la chauffer et il est préférable d'en faire un « ingrédient support », c'est-à-dire l'apporter en complément dans une vinaigrette ou en saupoudrage par exemple.

Attention cependant car la chlorelle peut être la cause de réactions allergiques : si des éruptions cutanées ou des démangeaisons apparaissent après l'ingestion, il est préférable de stopper la consommation de l'algue (7).

c. Le wakamé

Connu principalement pour être l'ingrédient indispensable de la soupe « miso » japonaise, le wakamé a un goût qui peut s'apparenter à celui de l'huître et une texture à celle de l'épinard. Sa nervure centrale doit être consommée cuite ou blanchie alors que ses feuilles peuvent être consommées crues ou cuites. Il peut accompagner facilement des fruits de mer ou des poissons, sans le laisser cuire trop longtemps pour qu'il puisse conserver sa couleur et ses nutriments. Les feuilles de wakamé peuvent aussi faire partie intégrante de salades composées, de plats ou de soupes.

d. La spiruline

Souvent retrouvée séchée sous forme de poudre ou de paillettes, la spiruline est de couleur vert-bleu et a une odeur assez prononcée, qui est susceptible de ne pas plaire au plus grand nombre. De la même façon que la chlorelle, elle est plutôt utilisée dans l'accompagnement

d'un plat ou d'une boisson. Si la spiruline se voit compléter un plat chaud, elle doit alors y être placée au dernier moment puisqu'elle perd ses propriétés nutritionnelles au-delà de 40 degrés. Il est possible que, lors de sa croissance, la spiruline accumule une certaine quantité de métaux lourds. Il est donc essentiel de prendre garde au type de spiruline consommée en identifiant le lieu de production et en se renseignant sur les contrôles réalisés (7).

Par ailleurs, la spiruline est également utilisée comme colorant alimentaire naturel dans de nombreux produits de marque comme Haribo® ou Smarties® (Illustration 12). Elle est d'ailleurs l'unique colorant bleu naturel autorisé en Europe et cette couleur est due à son fameux pigment bleu : la phycocyanine.

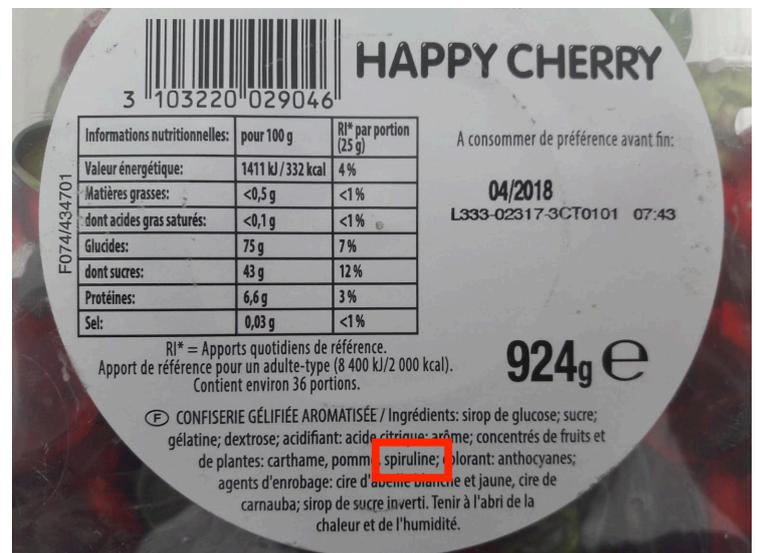


Illustration 12 : Photographies de la composition des Smarties et de bonbons Haribo (Septembre 2018), par Isabelle Laurent

IV. Composition de la spiruline

1. Macronutriments et micronutriments

Par définition, les macronutriments sont des « produits chimiques fournissant de l'énergie » ou des « substances requises dans des quantités relativement importantes par les organismes vivants. »

Il existe trois catégories de macronutriments : les protéines, les glucides et les lipides. Ceux-ci sont indispensables à la vie car ils ont un rôle à jouer dans les fonctions essentielles de l'organisme comme : la croissance, le développement, l'équilibre hormonal, le bon fonctionnement du système immunitaire...

L'organisme a également besoin de micronutriments, qui regroupent principalement les minéraux et les vitamines. Ils sont présents en très petites quantités (environ 2% de l'alimentation) et ne contiennent pas de calories (donc n'apportent pas d'énergie) mais assurent différentes fonctions essentielles, notamment celle d'antioxydants.

2. Protéines et acides aminés

Les protéines font partie du grand groupe des macronutriments, c'est-à-dire qu'elles contribuent à un apport énergétique pour l'organisme. Les protéines sont en fait constituées par l'assemblage de plus petites unités, appelées acides aminés. Ces acides aminés sont reliés entre eux selon le code génétique de chaque être vivant.

Il existe vingt-deux acides aminés. Parmi eux, deux sont spécifiques de seulement quelques protéines (la pyrrolysine et la sélénocystéine, retrouvées dans la famille des *Archaea*) et tous les autres sont dits standards.

Onze ont la capacité d'être synthétisés par l'organisme et sont « non essentiels » alors que les neuf autres sont dits essentiels car l'organisme n'est pas capable de les fabriquer lui-même. C'est pour cela que ces acides aminés essentiels devront être apportés par l'alimentation (26).

Les neuf acides aminés dits essentiels sont : la leucine, l'isoleucine, la valine, la thréonine, la méthionine, la phénylalanine, le tryptophane, la lysine et l'histidine (chez l'enfant). Les autres acides aminés, non essentiels sont : l'alanine, la glutamine, l'acide glutamique, l'acide aspartique, l'asparagine, la cystéine, la proline, la glycine, l'arginine, la tyrosine et la sérine (27).

En 2016, l'ANSES a déterminé un apport nutritionnel conseillé (ANC) de 0,83 g/kg/j de protéines chez l'adulte en bonne santé. Celui-ci peut être légèrement augmenté chez des populations cibles comme : les personnes âgées, la femme enceinte, la femme allaitante... Au vu de l'insuffisance des données, il est difficile de pouvoir donner une limite de sécurité supérieure. Des apports de 0,83 g/kg/j à 2,2 g/kg/j sont considérés comme satisfaisants. Ces protéines peuvent provenir à la fois de source animale (viande, poisson, œuf...) ou de source végétale (légumineuses, céréales...) (26).

Par rapport à son poids sec, la spiruline disposerait d'un taux de 60 à 70% de protéines ce qui en fait une source extrêmement riche en protéines (*Illustration 13*).

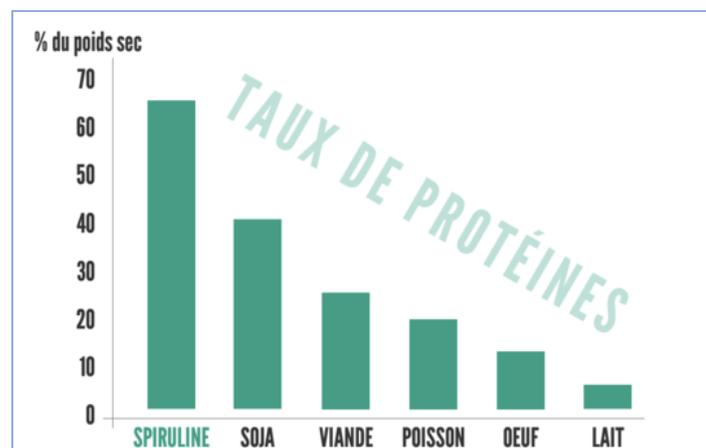


Illustration 13 : Comparatif de la teneur en protéines dans différents aliments (28)

Mais attention, la valeur nutritive des protéines dépend également de leur digestibilité. En effet, un aliment riche en protéines mais dont celles-ci ne disposent pas d'un bon état de digestibilité, ne représente pas une source fiable en protéines. Dans le cas de la spiruline séchée, ce taux de digestibilité est particulièrement élevé puisqu'il se trouve autour de 83 à 90%.

La digestibilité correspond à l'assimilation des composants d'un aliment par l'organisme, ce qui va finalement déterminer sa valeur énergétique. Les protéines végétales sont souvent considérées comme moins digestibles que les protéines animales car l'intestin de l'Homme aurait en fait besoin de plus de protéases pour digérer les matrices végétales que celles animales. De plus, avec le vieillissement physiologique de l'individu, l'intestin arrive de moins en moins bien à assimiler les nutriments, notamment les protéines végétales. C'est donc pour cela qu'un fort taux de protéines ne conduit pas forcément à une bonne assimilation de celles-ci : ces protéines se doivent avant tout d'être digestibles.

Pour déterminer la valeur nutritionnelle de divers aliments, la FDA et l'ONU ont mis en place un outil : le PDCAAS(29) (Protein Digestibility Corrected Aminoacid Score) ou le « score en acides aminés corrigé de la digestibilité des protéines » (*Illustration 14*).

Il est défini par $PDCAAS (\%) = [\text{mg d'acide aminé limitant dans 1g de la protéine testée}] / [\text{mg du même acide aminé dans 1g de la protéine de référence} \times \text{digestibilité fécale vraie}(\%) \times 100]$ (30).

Cet outil donne un résultat entre 0 et 1 permettant de quoter la « qualité » nutritionnelle de l'aliment en tenant compte de la composition en acides aminés indispensables et de la digestibilité des protéines.

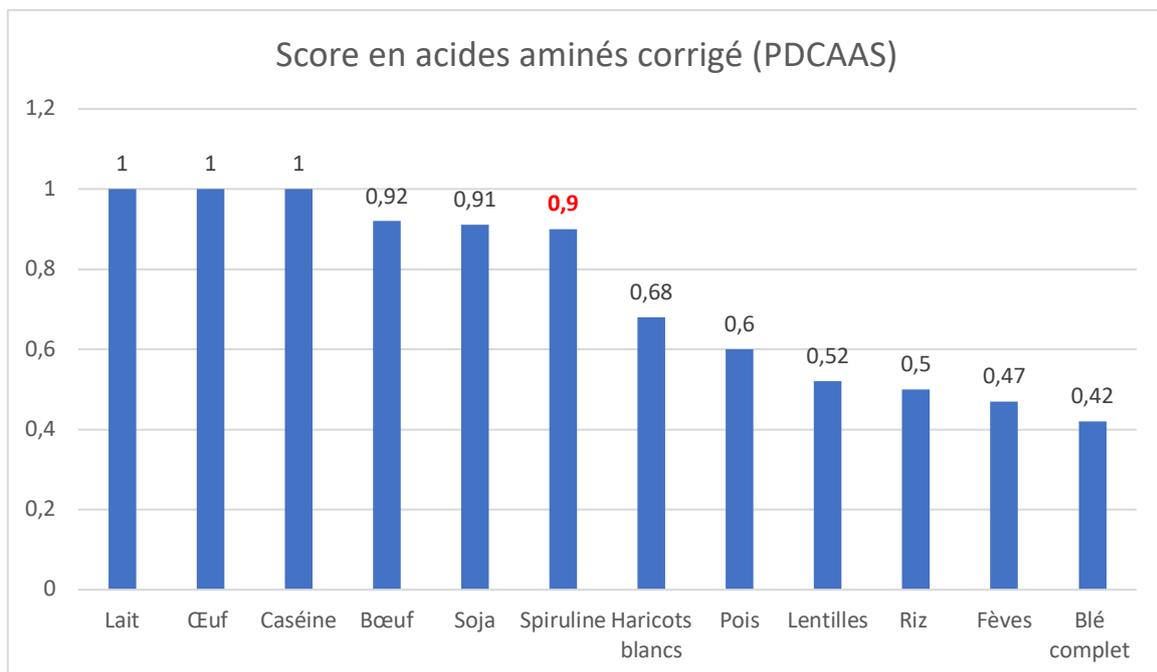


Illustration 14 : Comparatif du PDCAAS de divers aliments (29), par Isabelle Laurent

Dans le cas de la spiruline, l'algue présente d'une part un fort taux de protéines, un taux de digestibilité élevé et un PDCAAS de 0,9 ; ce qui en fait une excellente source de protéines.

3. Vitamines

a. Généralités

Les vitamines sont indispensables à la survie de l'organisme car elles participent à de nombreuses réactions biochimiques vitales. Les vitamines sont classées en deux groupes : les liposolubles (solubles dans les graisses) et les hydrosolubles (solubles dans l'eau).

Les vitamines liposolubles regroupent les vitamines A, D, E, K et peuvent généralement être stockées dans l'organisme car elles ne peuvent être éliminées dans les urines. Il n'est donc pas nécessaire d'en consommer en grande quantité tous les jours. Cependant, l'inconvénient de ce stockage est que, consommées en quantités trop importantes, ces vitamines pourraient conduire à une éventuelle hypervitaminose, notamment pour les vitamines A et D (31).

Les vitamines hydrosolubles, quant à elles, correspondent aux vitamines du groupe B en plus de la vitamine C. Celles-ci sont éliminées dans les urines, les selles et la sueur dès lors qu'il y a excès d'apport. Il est donc essentiel d'assurer un apport constant en ces vitamines en adoptant une alimentation quotidienne variée.

De façon générale, les vitamines n'apportent aucune calorie et sont présentes en très faible quantité. Elles ne peuvent être fabriquées par l'Homme (sauf les vitamines D, K et D3) d'où la nécessité d'un apport exogène par l'alimentation (32).

b. Provitamines A

La spiruline contient des provitamines A, ou caroténoïdes, dont font notamment partie le bêta carotène et la cryptoxanthine. Ces deux éléments sont en fait des précurseurs de la vitamine A : ils se convertissent en cette vitamine selon les besoins de l'organisme. Ils jouent le rôle d'antioxydant en piégeant les radicaux libres.

La vitamine A, qui découle de ces pigments orange et jaune, joue un rôle primordial dans la bonne vision de l'œil. En effet, c'est grâce à elle que l'œil s'adapte à l'obscurité et réussit à voir certaines couleurs par le biais de la synthèse de divers pigments rétiniens. De plus, elle permet de conserver une conjonctive et une cornée solides (33).

Elle intervient également dans le développement de l'embryon et la croissance de l'enfant ainsi que dans la réponse immunitaire. Elle est aussi reconnue pour avoir un rôle dans la cicatrisation de la peau et dans la régulation des glandes sébacées et sudoripares (32).

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) en bêta-carotène pour une personne adulte sont de 3 335 µg par jour. Les ANC en vitamine A sont de 800 µg par jour pour l'homme et de 600 µg pour la femme. Chez les enfants, les ANC vont de 450 à 550 µg selon la classe d'âge. La vitamine A peut être retrouvée dans diverses sources alimentaires : le beurre, le lait, le jaune d'œuf, abats, charcuterie, foie, poissons gras ...

Une carence en vitamine A dans les pays industrialisés semble assez peu probable du fait de l'accès à des nutriments variés, contrairement aux pays en voie de développement où l'accès à une alimentation équilibrée peut s'avérer plus difficile.

S'il y avait carence en cette vitamine, un des premiers signes serait la baisse de l'acuité visuelle et une plus grande sensibilité aux infections du fait d'un affaiblissement du système immunitaire (34).

Toutefois, il est important de noter qu'un excès de consommation de vitamine A est corrélé à des malformations congénitales : une prudence est de mise pour les femmes enceintes et pour celles ayant un désir de grossesse. Toutefois, les apports de provitamines A sont sans danger durant la grossesse autorisant donc la consommation de spiruline (34).

Il n'existe pas de recommandation officielle pour les ANC en caroténoïdes totaux, il est donc difficile de positionner la spiruline quant à une source satisfaisante ou non en ces caroténoïdes. Puis, la transformation de ces caroténoïdes en vitamine A dépendant des besoins de l'organisme à un instant t, il est également délicat de positionner la spiruline comme source suffisante ou non en cette vitamine A.

c. Vitamine B1

La vitamine B1, ou thiamine, est une vitamine hydrosoluble et ne peut par conséquent être stockée dans l'organisme. Un apport quotidien d'au moins un milligramme par jour est nécessaire pour éviter tout état de déficience. Une éventuelle carence pourrait se traduire par une pathologie appelée « béri-béri » se caractérisant par un amaigrissement, une asthénie et des troubles cardiaques ou neurologiques.

Cette vitamine a un rôle essentiel dans le métabolisme énergétique et dans l'équilibre nerveux. En effet, elle permet l'assimilation des glucides par l'organisme. Et comme les cellules nerveuses puisent leur énergie dans les glucides, cette vitamine est essentielle au maintien du système nerveux. D'autres propriétés lui sont reconnues notamment dans le bon fonctionnement du cœur, la stimulation de la mémoire ou encore sa capacité à intervenir dans le métabolisme de l'alcool.

Une étude a été réalisée dans les années 80 pour comparer, un groupe de rats consommant de la spiruline quotidiennement, à un groupe témoin sans supplémentation. Il a été démontré que le groupe se nourrissant de spiruline avait alors un taux de lactobacilles plus élevé que le groupe témoin. Ces bactéries intestinales participeraient en plus à une meilleure absorption de la vitamine B1 et des autres vitamines.

Les ANC en thiamine sont d'environ 1,1 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 10% de cet ANC (3).

d. Vitamine B2

La vitamine B2 ou riboflavine intervient dans divers types de métabolismes, notamment ceux des glucides, des lipides ou encore des protéines. Elle est reconnue pour posséder un effet antioxydant en permettant au glutathion de se régénérer.

En effet, le glutathion a un effet protecteur pour l'organisme contre le stress oxydatif (3).

Au départ, cette vitamine est synthétisée par la flore intestinale mais en quantité insuffisante : un apport extérieur, notamment par l'alimentation (produits laitiers, levure de bière, poisson, légumes verts...) est alors nécessaire. Une carence en cette vitamine peut se manifester par une fatigue et une certaine irritabilité. La peau, les muqueuses, les ongles et les cheveux peuvent aussi être touchés.

Les ANC en riboflavine sont d'environ 1,2 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 10% de cet ANC.

e. Vitamine B3

La vitamine B3, ou niacine, ou acide nicotinamique, ou encore vitamine PP est une vitamine qui peut être stockée dans le foie, contrairement aux autres vitamines du groupe B. Elle joue un rôle primordial dans la production d'énergie mais aussi dans la transmission de l'influx nerveux. Elle est notamment utilisée par certains psychiatres pour traiter différents troubles mentaux comme la schizophrénie, la bipolarité ou encore la dépression (35).

Cette vitamine posséderait aussi une action antianémique en participant notamment à la synthèse de l'ADN des cellules sanguines, grâce à une synergie d'action avec la vitamine B12 (36).

La vitamine PP est en partie apportée par l'alimentation mais résulte aussi de la transformation du tryptophane par les bactéries intestinales via les vitamines B1, B2 et B6. Une carence en vitamine B3 peut alors conduire à ce que l'on appelle la pellagre ou maladies des « 3D » pour : diarrhée, dermatose et démence.

Les ANC en vitamine B3 sont de 1,3 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à un peu plus de 5% de cet ANC.

f. Vitamine B5

La vitamine B5, ou acide pantothénique, est souvent associée à la bonne santé des phanères, des cheveux et des ongles puisqu'elle veille à la survie des cellules et à la régénération des tissus épithéliaux. En effet, elle intervient dans le métabolisme cellulaire sous forme de

coenzyme A qui participe à la synthèse des acides gras. Une action dans le maintien du bon fonctionnement du système nerveux central a également été notifiée (3).

Cette vitamine doit être apportée par l'alimentation notamment avec les céréales complètes, les abats, les lentilles, le lait ou encore la levure de bière.

Les ANC en vitamine B5 sont de 5 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à 0,1 % de cet ANC.

g. Vitamine B6

La vitamine B6 ou pyridoxine joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre psychique grâce à la participation à la synthèse de neurotransmetteurs tels que la dopamine ou la sérotonine. Elle est aussi reconnue pour avoir un pouvoir antioxydant et intervient dans l'hydrolyse du glycogène en glucose. La carence en vitamine B6 semble relativement faible dans les pays développés sauf en cas de dénutrition extrême ou d'alcoolisme. S'il y a bel et bien une carence en cette vitamine, différents troubles peuvent apparaître comme : une baisse de l'immunité, une perturbation de la croissance, des troubles psychiques (dépression, irritabilité...) ou encore des troubles digestifs. Un excès en vitamine B6 peut, quant à lui, conduire à des polynévrites (engourdissement des extrémités, perte de sensibilité, difficulté à marcher ...) (32).

Les ANC en vitamine B6 sont de 1,6 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq milligrammes de spiruline permet de répondre à un peu plus de 2% de cet ANC.

h. Vitamine B8

La vitamine B8 ou biotine est une vitamine hydrosoluble apportée à l'organisme à la fois par l'alimentation mais aussi par synthèse au niveau de la flore intestinale. Elle intervient dans divers métabolismes comme celui des protéines, des lipides ou encore des glucides. De plus, elle participe à la synthèse de la vitamine B12 et de l'acide folique : c'est en fait une coenzyme qui aide à la croissance des cellules et à la production d'acides gras. Elle est reconnue pour avoir un rôle dans la protection de la peau et pour ralentir la chute de cheveux.

Une carence en cette vitamine peut être retrouvée chez l'alcoolique chronique ou chez le patient étant nourri uniquement par voie parentérale. Celle-ci se traduira essentiellement par des anomalies au niveau des phanères (alopécie, ongles cassants...), des troubles cutanés ou encore différentes atteintes au niveau des muqueuses (glossite, candidose, muguet...) (32).

A l'heure actuelle, aucun cas d'hypervitaminose en vitamine B8 n'a été recensée : elle est en effet bien tolérée et d'autre part hydrosoluble, donc éliminée dans les urines et peu stockée au niveau de l'organisme.

Les ANC en biotine sont d'environ 50 microgrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 0,5% de cet ANC.

i. Vitamine B9

L'acide folique, ou vitamine B9, est une vitamine hydrosoluble qui est apportée par l'alimentation mais qui est aussi synthétisée par l'organisme. Elle participe à la croissance, à la fabrication de l'ADN et au bon fonctionnement du système nerveux et du système immunitaire. Elle est également indispensable à l'érythropoïèse, c'est-à-dire à la production des globules rouges puisqu'elle intervient dans le métabolisme du fer.

En synergie avec les vitamines B6 et B12, elle prévient la formation d'homocystéine, acide aminé qui se révèle être toxique pour les neurones et qui semble être un facteur de risque de maladie cardio-vasculaire.

Une carence en acide folique pourra conduire à une anémie, à des troubles de la croissance ou encore à des troubles psychiques. Il est important de noter qu'une carence pendant la grossesse est susceptible de provoquer un avortement spontané ou ce que l'on appelle le spina bifida se caractérisant par une anomalie de fermeture du tube neural. C'est d'ailleurs pour cela que certaines femmes se voient supplémentées en acide folique lorsqu'elles ont un projet de grossesse.

Toutefois, une prise trop importante d'acide folique pourrait masquer une carence installée en vitamine B12 et donc aggraver les symptômes qui résultent de celle-ci.

Il semble également que, si non associée aux vitamines B1 et B6, la vitamine B9 puisse devenir toxique pour les centres nerveux (32).

Les ANC en acide folique sont d'environ 400 microgrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 0,1% de cet ANC.

j. Vitamine B12

La vitamine B12, ou cobalamine, est une vitamine hydrosoluble mais qui se retrouve pourtant stockée dans le foie. Sous forme de coenzyme, elle participe à la croissance de nombreuses cellules de l'organisme, à l'assimilation du fer et à la synthèse d'ADN ; ce qui en fait donc un puissant antianémique. Il existe en plus une synergie d'action avec l'acide folique pour la fabrication des globules rouges.

Des actions antiallergique et détoxifiante ont également été prouvées. Une carence en vitamine B12 amènera avant tout à une anémie pernicieuse, une fatigue, des troubles digestifs ou encore des douleurs musculaires. Aucune toxicité n'a été relevée quant à un excès en cette vitamine, mis à part une favorisation de l'acné si la vitamine est consommée de façon vraiment excessive et prolongée.

Il semble que la spiruline soit une des seules sources végétales qui contienne cette vitamine B12 (3). Elle est alors recommandée aux personnes qui souffrent d'anémie pernicieuse, aux personnes adoptant un régime végétarien ou végétalien ou à différentes populations avec un régime carné pauvre (personnes âgées, convalescents ou enfants par exemple) (37).

Toutefois, certains chercheurs sont en désaccord quant à l'assimilation de la vitamine B12 de la spiruline et des formes qui la composent. Certains pensent qu'elle n'est pas absorbée par l'organisme et qu'elle n'est présente seulement que sous forme d'une substance analogue inactive et non assimilable. La forme active se trouverait seulement dans des produits d'origine animale. Elle apparaîtrait alors inadaptée à la correction d'une déficience en vitamine B12 chez le végétarien par exemple (38).

Pourtant en 2010, Kumudha et son équipe identifient dans la spiruline et quantifient la méthylcobalamine, la forme dite active de la vitamine B12. En se basant sur les résultats obtenus lors de cette dernière étude, une dose journalière de 5 grammes de spiruline apporterait autour de 1,1 microgrammes de vitamine B12 active, soit environ 46% des apports journaliers recommandés (39).

Des études complémentaires devraient être réalisées pour caractériser les formes de vitamine B12 réellement présentes dans la spiruline, actives vs inactives et assimilables vs non assimilables, afin de définir si l'algue est une source fiable ou non en ce type de vitamine.

k. Vitamine E

La vitamine E ou alpha-tocophérol est une vitamine liposoluble qui regroupe divers composés apparentés dits « tocophérols » (alpha, bêta, delta, gamma tocophérol...). L'alpha-tocophérol se trouve être l'élément le plus actif. Cette vitamine est très peu synthétisée par l'organisme et il est donc essentiel de l'apporter par l'alimentation ou par une éventuelle supplémentation. Elle joue un rôle puissant d'antioxydant en neutralisant les radicaux libres. D'autres propriétés lui sont attribuées telles que : le ralentissement du vieillissement des cellules, la prévention de certaines maladies cardio-vasculaires, le renforcement du système immunitaire ou encore le développement des cellules sexuelles.

Une carence en vitamine E peut conduire à des troubles de la reproduction, des troubles neurologiques et/ou cardio-vasculaires ou participer à un vieillissement cutané prématuré.

Les ANC en vitamine E sont d'environ 10 milligrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 5% de cet ANC.

I. Vitamine K

La vitamine K est une vitamine liposoluble qui regroupe elle aussi plusieurs composés apparentés dits « quinones » (K1, K2, K3, K4, K5, K6). La majorité de la vitamine K est synthétisée par la flore intestinale, le reste est apporté par l'alimentation. Celle-ci est absorbée rapidement puis stockée en quantité assez minime au niveau du foie : cette réserve permettrait de couvrir les besoins de l'organisme pendant huit jours. La vitamine K est connue pour intervenir dans la synthèse de divers facteurs de la coagulation : ceux-ci permettent la bonne formation des « caillots » sanguins et empêchent donc les hémorragies. Elle joue aussi un rôle dans la minéralisation osseuse puisqu'elle permet la synthèse de certains acides aminés qui fixent le calcium dans la matrice osseuse.

Les besoins de l'organisme semblent être couverts par une alimentation équilibrée. Toutefois, une carence en vitamine K peut se traduire par un retard de coagulation, voire des hémorragies (32).

La spiruline fait partie d'une des sources végétales les plus riches en cette vitamine parmi les épinards, les navets ou encore le chou frisé (3).

Les ANC en vitamine K sont d'environ 40 microgrammes par jour : un apport quotidien de cinq grammes de spiruline répond à plus de 200% de l'ANC.

m. Vitamine C

La vitamine C semblerait être un des seuls micronutriments essentiels à la vie que l'on ne retrouve pas dans la spiruline. C'est une vitamine liposoluble qui doit être apportée quotidiennement à l'organisme car elle ne peut pas être stockée par celui-ci. Elle est retrouvée dans de très nombreux fruits et légumes.

Toutefois, une alimentation équilibrée accompagnée de spiruline présente un effet antioxydant remarquable. En effet, même si la spiruline ne contient pas de vitamine C proprement dite, elle possède des coenzymes qui permettront à la vitamine C apportée par d'autres sources alimentaires, d'exécuter pleinement son rôle d'antioxydant (3).

4. Pigments

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.

a. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes représentent en fait un groupe de pigments (*Illustration 15*) et non pas un pigment seul. Le carotène (alpha et bêta) est le pigment le plus connu de cette famille, suivi par le lycopène, la physoxanthine, la zéaxanthine, la lutéine et l'astaxanthine et la cryptoxanthine.

Les caroténoïdes se divisent donc en deux sous-types : les provitamines A (carotène, cryptoxanthine) et les autres, cités précédemment (40).

Il s'agit de pigments non azotés avec une couleur qui peut varier du jaune jusqu'au rouge et dont l'apport se fait par l'alimentation (3).

Dans la littérature, ils sont décrits comme de puissants antioxydants, des stimulateurs du système immunitaire, des protecteurs contre les ultraviolets et le vieillissement ou encore comme fortifiants des phanères (4).

La spiruline est considérée à ce jour comme l'un des aliments les plus riches en bêta carotène qu'il existe.

Un essai clinique a permis de démontrer que la consommation de spiruline permettait un apport identique de caroténoïdes à une alimentation avec des légumes à feuilles et des carottes (41), ce qui en fait une source privilégiée de caroténoïdes avec en plus une bonne biodisponibilité et une excellente valeur nutritionnelle (42).

Cela laisse à penser que pour les personnes éventuellement carencées en vitamine A, la consommation de spiruline peut être un avantage, associée à un rééquilibrage alimentaire.

Un apport trop important en vitamine A peut toutefois s'avérer toxique pour l'organisme mais la spiruline apportant seulement des caroténoïdes, qui ne seront convertis en vitamine A que si l'organisme en a besoin ; il n'y a donc aucun risque de surdosage en vitamine A dû à la présence des caroténoïdes.

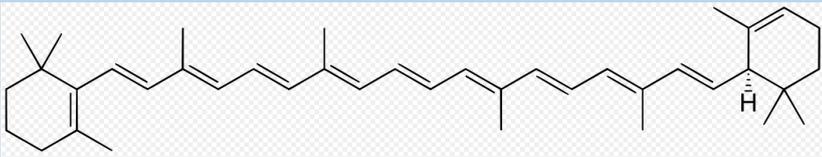
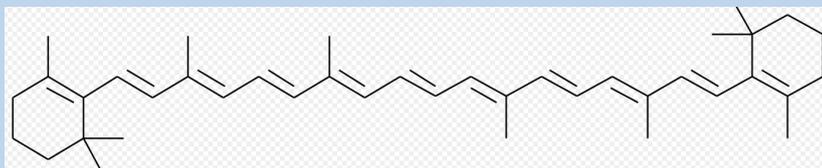
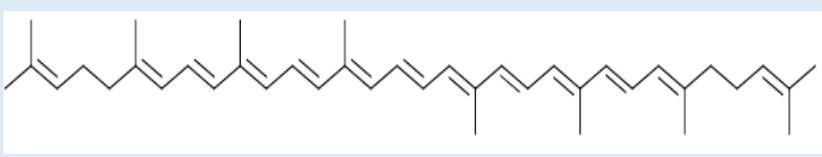
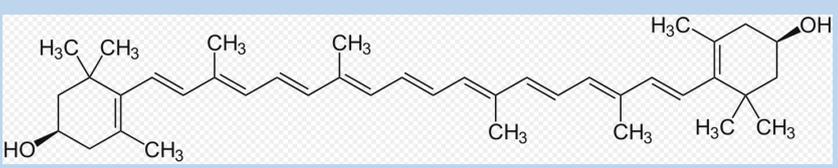
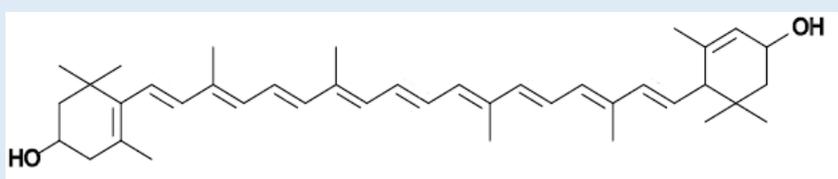
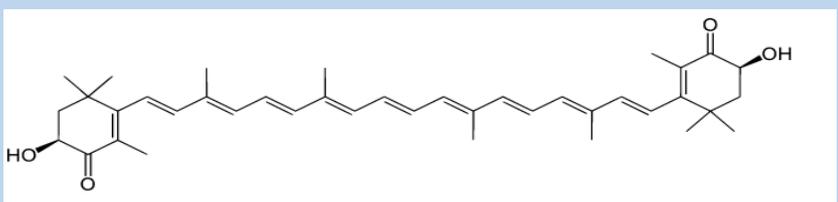
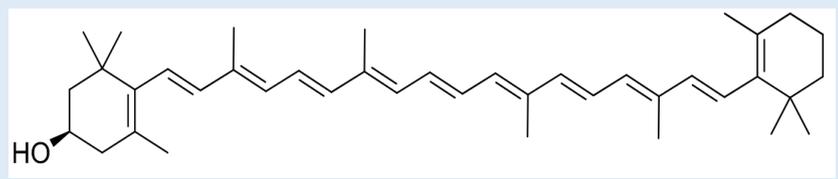
| Les caroténoïdes | |
|------------------|--|
| Alpha carotène |  |
| Bêta-carotène |  |
| Lycopène |  |
| Zéaxanthine |  |
| Lutéine |  |
| Asthaxanthine |  |
| Cryptoxanthine |  |

Illustration 15 : Structure chimique des différents composants du groupe des caroténoïdes, Wikipedia

Chlorophylle f

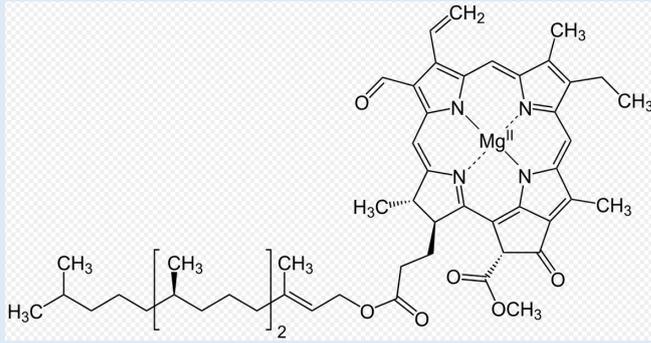


Illustration 16 : Structures des différentes chlorophylles, Wikipedia

La chlorophylle est le pigment connu pour donner la couleur verte à certains végétaux.

Elle permet de réaliser la première étape de la photosynthèse et est contenue à hauteur d'environ 1% dans la spiruline (chlorophylle b), proportion très élevée par rapport à d'autres éléments naturels.

La chlorophylle a une structure moléculaire que l'on peut apparenter à celle de l'hémoglobine puisque la différence se situe au niveau d'un seul atome : il s'agit du magnésium pour la chlorophylle et du fer pour l'hémoglobine. Cette similitude permet à la chlorophylle de la spiruline d'être bien assimilable et surtout disponible pour l'organisme humain car contrairement aux végétaux, la spiruline ne dispose pas de paroi cellulaire en cellulose ce qui facilite sa biodisponibilité (4).

A l'instar des plantes vertes qui captent le carbone atmosphérique pour l'assimiler et détoxifier notre environnement, notre organisme capte le magnésium de la chlorophylle afin de maintenir l'équilibre acido-basique.

La chlorophylle s'associe à un cofacteur que l'on appelle la porphyrine dans le but de former un complexe qui emprisonne les divers métaux lourds (arsenic, plomb, mercure...) et qui les élimine une fois la liaison réalisée : il s'agit de l'étape de chélation. Cette chélation peut aussi bien enfermer un métal indispensable à la vie en lui donnant une structure particulière, qu'un métal indésirable à éliminer.

Il est important de noter que la chlorophylle ne supporte pas le chauffage, donc la consommation de spiruline ne doit pas faire intervenir de processus de chaleur, au risque de perdre tous les bénéfices que la chlorophylle peut apporter à l'organisme (1).

De nombreux bienfaits sont attribués à ce pigment. Elle renforcerait le système circulatoire et stimulerait la production d'hémoglobine et de globules rouges chez les personnes anémiées, en apportant de l'oxygène au sang. Elle aurait aussi un rôle favorable dans la cicatrisation en

neutralisant les diverses bactéries et toxines présentes au niveau d'une plaie. Elle posséderait également des propriétés d'anti-inflammatoire, d'antiseptique, d'antioxydant ou encore de stimulant immunitaire.

La chlorophylle est retrouvée à hauteur d'environ 40 milligrammes pour une consommation quotidienne de cinq grammes de spiruline.

c. La phycocyanine

La phycocyanine (*Illustration 17*) est un pigment qui est retrouvé uniquement chez la spiruline. Ce pigment bleu cyan peut atteindre des taux de présence d'environ 10 % selon la qualité de l'échantillon. La phycocyanine a une composition très proche des pigments biliaires de l'homme, expliquant en partie ses fonctions hépatoprotectrice et détoxifiante (4).

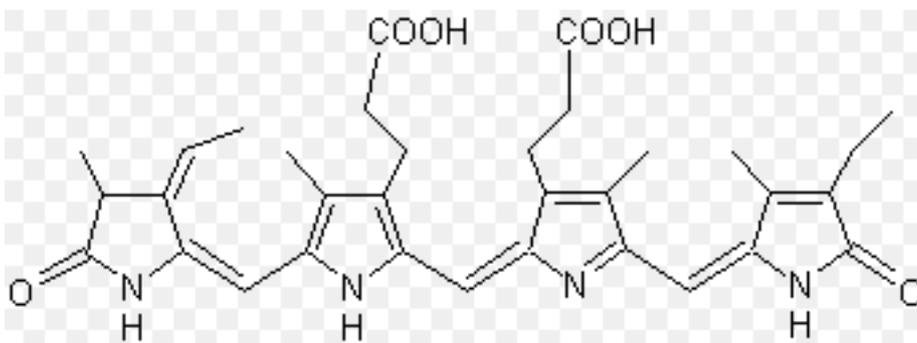


Illustration 17 : Structure chimique de la phycocyanine, Wikipedia

De plus, elle dispose d'une structure moléculaire qui peut être apparentée à celle de l'érythropoïétine (EPO) : l'EPO dispose d'un atome de fer en son centre alors que la phycocyanine dispose d'un atome de fer et d'un atome de magnésium. D'ailleurs, une équipe de scientifiques chinois a réussi à démontrer que la phycocyanine exerçait un effet similaire à l'EPO en stimulant à la fois la production des globules rouges et des globules blancs, même si la moelle osseuse se trouve endommagée (44).

En effet, des enfants nourris avec des aliments produits dans des terres radioactives (depuis Tchernobyl) sont anémiés, immunodéprimés et souffrent de réactions allergiques plus fréquentes. Un groupe d'étude a décidé de compléter le régime alimentaire d'une partie de ces enfants de cinq grammes journaliers de spiruline, afin d'observer l'effet de celle-ci quant au groupe non supplémenté. Le groupe recevant la spiruline a vu son état largement s'améliorer par une augmentation des globules rouges et des globules blancs, alors que le groupe non supplémenté a vu son état continuer à se dégrader (3). La spiruline est même

désignée comme « aliment thérapeutique » en Russie depuis le triste évènement de Tchernobyl.

La phycocyanine semble disposer d'un autre atout fondamental : certaines études s'intéressent à son potentiel rôle neuroprotecteur, qui pourrait se révéler efficace dans la prévention de diverses maladies neurodégénératives comme les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson (45). Diverses études scientifiques ont pu prouver ses propriétés antioxydantes, hépatoprotectrices (46)(47)(48) et anti-inflammatoires (49)(50).

Ces différentes propriétés citées précédemment peuvent en partie être expliquées par le fait que la phycocyanine est en fait un inhibiteur de la cyclo-oxygénase-2 (COX 2)(51), enzyme fondamentale dans les processus inflammatoires.

La réaction inflammatoire est un processus physiologique de l'organisme permettant de lutter contre une agression extérieure. Cependant, si cette réaction se trouve disproportionnée, elle devient alors néfaste et peut avoir un impact négatif sur d'autres processus physiologiques. C'est au niveau du processus inflammatoire qu'interviennent alors l'acide arachidonique et les prostaglandines. Les cyclo-oxygénases sont des enzymes qui vont permettre de transformer cet acide arachidonique en diverses prostaglandines, métabolites qui participent notamment au déclenchement de la sensation douloureuse.

Il existe trois sous types de cyclooxygénases : la COX1, la COX2 et la COX3. La COX1 est une enzyme que l'on appelle constitutive, c'est-à-dire qu'elle se trouve dans l'organisme de façon permanente, notamment au niveau du rein ou du système digestif. La COX2, quant à elle, est une enzyme inductible, c'est-à-dire que ce sont les stimuli de l'inflammation qui conditionnent sa présence. Elle sera donc concentrée essentiellement sur le site de la réaction inflammatoire.

Les anti-inflammatoires non stéroïdiens classiques (AINS) sont des médicaments qui inhibent à la fois les COX1 et les COX2 et qui peuvent alors être responsables de divers effets indésirables plus ou moins graves, dus notamment à cette non spécificité. Les Coxibs quant à eux, sont des médicaments qui inhibent uniquement les COX2, provoquant en théorie moins d'effets indésirables, dû à cette spécificité d'action (52).

La spiruline, grâce à sa teneur en phycocyanine, peut donc se présenter comme anti-inflammatoire grâce à son action inhibitrice sur la COX2, limitant théoriquement les effets indésirables que l'on connaît aux AINS.

Toutefois, l'ANSM reste vigilante quant à leur utilisation et rappelle que ces inhibiteurs de COX2 doivent être utilisés avec les mêmes recommandations de bon usage que les AINS

classiques car ils présentent finalement un profil d'effets indésirables assez semblables : risques digestifs, cardio-vasculaires et cutanés notamment (53) (54).

Cette précaution reste donc valable avec la spiruline qui, de par la phycocyanine, a une action inhibitrice sur les COX2. Il apparaît donc plus prudent d'en limiter son utilisation chez certaines populations : ulcère gastro-duodéal évolutif, antécédents d'ulcère, insuffisance hépatocellulaire sévère, antécédents de saignement ou de perforation digestifs survenus sous AINS, insuffisance cardiaque sévère ou encore insuffisance rénale sévère.

d. Les porphyrines

Les porphyrines sont des pigments retrouvés dans les cellules vivantes animales et végétales et y compris dans la spiruline. Ces molécules, en absorbant la lumière visible, donnent une couleur spécifique aux cellules qui les contiennent.

Elles disposent d'un noyau central « porphyrine » au sein duquel un ion métallique (fer, cobalt ou encore magnésium) peut se greffer (*Illustration 18*) : il convient alors de parler de métalloporphyrines.

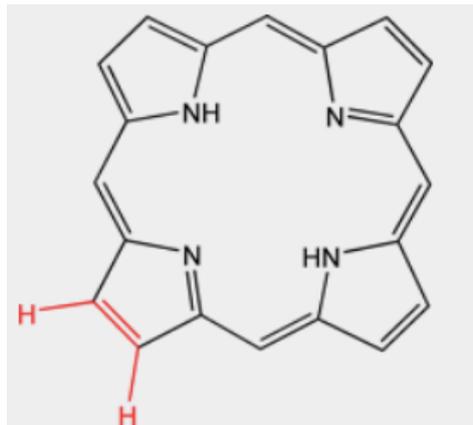


Illustration 18 : Noyau porphyrine (55)

Elles ont un rôle clé chez les organismes vivants en participant à divers processus métaboliques et sont notamment utilisées dans l'agriculture, la santé ou les énergies renouvelables (56).

Elles constituent, par exemple, un élément essentiel de la composition du globule rouge puisqu'elles sont combinées au fer dans l'hémoglobine et forment l'hème (*Illustration 19*). Celui-ci permet le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans le sang.

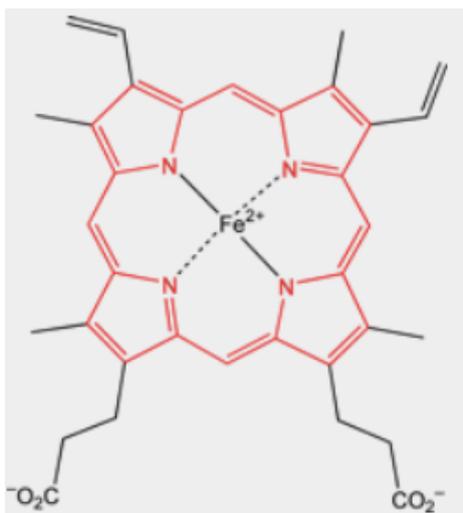


Illustration 19 : Noyau porphyrine combiné à un atome de fer (hème)(55)

Les porphyrines font partie de la constitution de la myoglobine, des catalases ou des peroxydases (3). Les porphyrines peuvent aussi s'associer à la chlorophylle par une liaison à un ion magnésium afin de participer à l'élimination de divers métaux lourds (28).

5. Enzymes

Les enzymes, aussi retrouvées sous le nom de catalyseurs, sont des substances qui permettent d'accélérer diverses réactions chimiques. La spiruline en contient un grand nombre dont une particulièrement intéressante : la superoxyde dismutase (SOD). Il s'agit d'une enzyme antioxydante qui représente un élément important pour la défense de l'organisme contre les radicaux libres. Ceux-ci, à cause du stress oxydatif, peuvent être responsables de lésions cellulaires pouvant donner suite à des processus pathologiques. C'est à ce moment que chacune des cellules de l'organisme peut utiliser cette SOD pour combattre les radicaux libres (3).

De plus, comme la spiruline ne dispose pas de paroi cellulosique, il se trouve que la SOD est parfaitement assimilable par notre organisme (1).

Une étude scientifique suggère que cette SOD est une enzyme contenant du fer et que son activité est dépendante de la présence de certains acides aminés (arginine, histidine, tryptophane, tyrosine et acide aspartique) (57) : acides aminés se révèlent tous être présents dans la spiruline, laissant à penser que la SOD de la spiruline ait une potentielle activité antioxydante, de par une synergie d'action entre tous ces acides aminés.

6. Oligoéléments et minéraux

Un minéral est une substance inorganique naturelle définie par un groupement d'atomes répété dans un motif cristallin. En alimentation, les minéraux peuvent être classés en deux catégories : les micronutriments et les macronutriments.

Les micronutriments sont appelés « oligo-éléments » : ils sont également indispensables à l'organisme, mais en quantité beaucoup plus faible que les macronutriments. Parmi ceux-ci sont retrouvés: le cuivre Cu, le zinc Zn, le fluor F, l'iode I, le brome Br, le nickel Ni, le sélénium Se, le manganèse Mn, l'arsenic As, le chrome Cr, le cobalt Co, le fer Fe, le molybdène Mo, le silicium Si et le vanadium V (32).

Les macronutriments sont ceux dont l'organisme a besoin en quantité importante : ils participent à la fabrication de nouvelles cellules, à la bonne utilisation des nutriments énergétiques, à la fabrication de diverses enzymes... Ils sont essentiels au bon fonctionnement de l'organisme et sont souvent appelés de façon plus générale « minéraux ». Parmi eux sont retrouvés : le calcium Ca, le magnésium Mg, le phosphore P, le sodium Na, le potassium K, le chlore Cl et le soufre S.

Il semblerait que la spiruline contienne tous les minéraux essentiels et que ceux-ci soient bien assimilables par l'organisme (58).

a. Les oligo-éléments

a) Le bore

Le bore est un oligo-élément qui aurait un impact dans le métabolisme du calcium, du magnésium et de la vitamine D. Il interviendrait dans la prévention de la décalcification osseuse, l'ostéoporose et l'arthrose. Toutefois, son rôle sur l'organisme humain n'est pas totalement élucidé et c'est pourquoi il n'est à ce jour pas considéré comme essentiel et aucun apport nutritionnel recommandé n'a pu être défini.

Des chercheurs se sont quand même penchés sur le potentiel bienfait du bore quant à des problèmes d'arthrites en réalisant un essai sur des groupes de personnes arthritiques et supplémentées en bore, face à un groupe placebo. Les résultats sont encourageants (59) quant à l'utilisation du bore dans la prévention et le traitement des troubles arthritiques et des essais supplémentaires pourraient être à envisager pour confirmer cette hypothèse.

La spiruline pourrait donc s'avérer être thérapeutique complémentaire de la prise en charge des patients arthritiques, notamment s'il y a carence en bore.

b) Le chrome

Le chrome est un oligo-élément qui intervient dans la régulation de la glycémie et de la sécrétion d'insuline. Il semble aussi être un acteur important dans le métabolisme des lipides, des glucides et du cholestérol.

Une carence en chrome dans les pays industrialisés est assez rare mais elle peut toutefois conduire à une intolérance au glucose, une hyperglycémie à jeun, une libération de glucides dans les urines ou encore une augmentation des différents paramètres du bilan lipidique.

D'ailleurs, un essai clinique a réussi à mettre en évidence qu'une faible quantité de chrome est corrélée à la présence d'un diabète. Ce diabète est accompagnée d'une faible quantité de cobalt et de nickel (60).

Plusieurs autres études confirment l'hypothèse qu'un faible taux sérique de chrome est responsable d'un mauvais contrôle de la glycémie. Une supplémentation en chrome est envisageable pour maintenir une glycémie stable, aider à contrôler un diabète et prévenir les éventuelles lésions oxydatives dues au diabète (61)(62)(63).

D'autres essais cliniques pourraient être nécessaires afin de confirmer ce lien de causalité entre carence en chrome et diabète, afin de déterminer si un traitement à base de chrome notamment par la spiruline, est envisageable dans la prise en charge du diabète ou du moins en prévention chez les personnes à haut risque de développer un diabète.

Le chrome est retrouvé à hauteur de 14 microgrammes pour une consommation quotidienne de cinq grammes de spiruline, ce qui représente environ 30 % de l'apport suffisant en chrome pour un adulte d'âge moyen (4).

c) Le cobalt

Le cobalt est un oligo-élément retrouvé dans la spiruline, qui entre majoritairement dans la composition de la vitamine B12 (ou cobalamine), vitamine favorisant la production de globules rouges dans l'organisme. Il est probable qu'en étant un composant essentiel de la vitamine B12, une carence en cobalt puisse conduire à une moins bonne disponibilité de la cobalamine et donc à une carence en cette vitamine, ayant pour conséquences une fatigue, une anémie ou encore des troubles de la mémoire (3). La spiruline pourrait donc être utilisée à ce titre pour limiter une éventuelle carence en cobalt et donc une carence en vitamine B12.

Il est important de noter qu'une consommation supérieure à trois milligrammes par jour de cobalt peut entraîner des troubles au niveau de la thyroïde. Une consommation quotidienne

de spiruline n'atteindra jamais ce taux journalier de cobalt, écartant tout risque pour la thyroïde dû à une trop forte consommation de cobalt.

Par ailleurs, un essai clinique a mis en évidence le fait que plus une souche de spiruline était riche en cobalt (64), meilleure était l'absorption en cet oligo-élément.

De plus, une équipe de scientifiques a décidé d'étudier la composition en oligo-éléments dans certains compléments alimentaires de spiruline retrouvés en Europe de l'Est. Il semblerait que la teneur totale déclarée en cobalt soit nettement inférieure par rapport à celle réellement retrouvée dans le comprimé (65). Un excès de cobalt peut pourtant conduire à des nausées, vomissements, déstabilisation de la thyroïde, des troubles cardiaques ou encore des troubles visuels.

D'où l'intérêt de porter une attention particulière au type de spiruline choisi pour se supplémenter et donc de prendre conseil auprès d'un professionnel de santé comme le pharmacien d'officine.

d) Le cuivre

Le cuivre fait partie d'un des oligo-éléments les plus importants dans le corps humain. De nombreuses vertus lui sont attribuées comme un effet anti-inflammatoire au niveau des articulations, une action antioxydante ou encore une propriété de stimulateur du système immunitaire.

L'apport nutritionnel journalier conseillé en cuivre est d'environ 1 milligramme. Une prise quotidienne de 5 cinq grammes de spiruline apporte environ 10 microgrammes de cuivre, ce qui correspond à environ 1% de l'ANC (4).

e) Le fer

Le fer est un oligo-élément retrouvé à hauteur de 4 à 5 grammes dans l'organisme et qui est indispensable à la vie de celui-ci. En effet, il constitue en partie l'hémoglobine et participe donc à l'oxygénation du sang des cellules et des tissus. Il contribue également au bon fonctionnement du système immunitaire, a des propriétés antioxydantes et est reconnu comme excellent énergisant.

Les besoins en fer diffèrent selon le sexe, l'âge, l'activité physique ou selon diverses situations physiologiques (grossesse, menstruations...) ou pathologiques (hémorragie, certaines maladies chroniques...). Pour avoir un ordre d'idée, un homme adulte doit en consommer environ 10 milligrammes par jour et une femme adulte de 16 à 20 milligrammes (32).

Le fer est un élément qui peut être apporté quotidiennement et assez facilement par une alimentation équilibrée et variée. Toutefois, les sources de ce fer alimentaire ne sont pas toutes égales quand il s'agit de l'assimilation par l'organisme : le fer d'un aliment peut être plus ou moins bien absorbé selon que la source corresponde à de la viande, du poisson ou des légumes. Plusieurs études scientifiques semblent démontrer que la spiruline constitue une source de fer hautement assimilable par l'organisme, corrélée à une augmentation du taux d'hémoglobine et de la ferritine après une prise de 6 mois de spiruline (66)(36).

Une autre étude réalisée *in vitro* semble confirmer ce phénomène : un système de culture sur cellules CaCo-2 démontre que la biodisponibilité du fer est meilleure dans la spiruline que dans la viande de bœuf. La spiruline pourrait donc constituer une source adéquate de fer chez les personnes anémiées (67)(68).

Un excès en fer peut causer de graves troubles comme des douleurs abdominales, des troubles hormonaux, un diabète voire une insuffisance cardiaque. Ces troubles sont loin d'être exhaustifs et anodins : c'est pourquoi une supplémentation en fer doit toujours être justifiée et documentée par un avis médical.

Pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline, la quantité de fer ingérée correspond à 6.8 milligrammes, soit un peu plus de 60% de l'ANC (4).

Une supplémentation en vitamines n'est pas à prendre à la légère puisqu'un chercheur finlandais met en évidence le fait que la consommation de compléments alimentaires multivitaminés sans déficit avéré, plus particulièrement pour le fer et le cuivre, augmente la mortalité chez un groupe de femmes suivies pendant une vingtaine d'années (69).

Le pharmacien d'officine peut donc conseiller la consommation de spiruline pour des patients chez qui une anémie est diagnostiquée, accompagnée d'une alimentation équilibrée et chez qui un suivi biologique peut être mis en place pour suivre l'évolution des taux d'hémoglobine et de ferritine.

De plus, le fer est un élément qui est encore mieux absorbé lorsqu'il est associé à de la vitamine C. Le pharmacien peut donc conseiller, en parallèle de la prise de spiruline, de consommer des aliments riches en vitamine C afin d'optimiser l'assimilation du fer par l'organisme ; ainsi que d'éviter de consommer simultanément certains aliments qui freinent cette absorption comme le thé, le café, la bière ou le vin (32).

f) Le manganèse

Le manganèse fait partie d'un des éléments retrouvés dans la spiruline (70)(71).

Il entre dans la régulation de divers métabolismes, notamment ceux des protéines, des lipides et des glucides et c'est aussi pour cela qu'il joue un rôle dans la régulation de la glycémie. Il est connu pour avoir une action au niveau du système nerveux et du système respiratoire. Mais à l'heure actuelle, aucune étude scientifique n'a encore démontré des exemples d'utilisations, de bénéfices ou de risques dus à la consommation de manganèse se trouvant dans la spiruline.

Il est retrouvé à hauteur de 250 microgrammes pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline, ce qui correspond à environ 10 % de l'ANC (4).

Les effets du manganèse par la consommation de spiruline restent donc à étudier.

g) Le sélénium

Le sélénium est un oligo-élément largement reconnu pour son activité anti-oxydante, plus encore lorsqu'il est associé aux vitamines A, C et E. Il ne s'agit pas de sa seule propriété : il stimule le système immunitaire, diminue les risques cardio-vasculaires ou intervient encore dans la fabrication des hormones thyroïdiennes. Certaines populations peuvent être à risque de carence en sélénium comme : les personnes âgées, les sportifs, les végétariens... Dans ce cas, le taux de sélénium est à surveiller et une supplémentation peut être envisagée, associée si possible à une combinaison de vitamines A, C et E.

Il s'agit d'un des oligo-éléments retrouvés dans la spiruline et d'après une étude réalisée chez des rats, sa biodisponibilité chez l'algue est élevée (72).

Dans le diabète de type 2, associée au stress oxydatif, l'agrégation d'un polypeptide amyloïde est responsable de la destruction de cellules pancréatiques. Une équipe de chercheurs a étudié l'effet d'une supplémentation en spiruline enrichie en sélénium sur la destruction de ces cellules. Il en ressort que le sélénium semble protéger les cellules pancréatiques de la mort cellulaire induite par le polypeptide d'amyloïde. La spiruline pourrait alors se présenter comme une voie d'accès dans la prévention du diabète de type 2 ou dans le complément de sa prise en charge, notamment en limitant la destruction des cellules du pancréas (73).

Une équipe de chercheurs s'est aussi intéressée à l'utilisation de spiruline enrichie en sélénium sur des lésions hépatiques chroniques. Les tests ont été réalisés sur des rats induits par l'alcool et prétraités avec de la spiruline : l'amélioration de l'activité des enzymes

antioxydantes et l'inhibition de l'apoptose hépatique sont le témoin du mécanisme protecteur du sélénium sur les lésions du foie. La spiruline, de par sa composition en sélénium, pourrait alors être perçue comme un espoir thérapeutique dans la prise en charge des lésions hépatiques, notamment celles d'origine alcoolique (74).

Une autre équipe scientifique s'est penchée sur l'utilisation de spiruline chez des souris avec des maladies inflammatoires de l'intestin. Pour cette étude, l'administration de sélénium, associée à de la phycocyanine, semble responsable d'un effet protecteur significatif face à ces lésions coliques avec une atténuation de : la perte de poids, des diarrhées sanglantes et des dommages inflammatoires du colon. Le sélénium contenu dans la spiruline pourrait donc faire preuve d'un effet anti-inflammatoire et pourrait être, à ce titre, pressenti dans l'accompagnement de la prise en charge des maladies inflammatoires chroniques (75).

Une dernière étude montre que le sélénium, associé à la phycocyanine dans la spiruline, pourrait disposer d'une potentielle efficacité thérapeutique dans la prise en charge de diverses maladies où le stress oxydatif est prépondérant, en supprimant les espèces réactives de l'oxygène au niveau intracellulaire (76).

Il semblerait même que le sélénium et la phycocyanine présentent des activités chimio-préventives puissantes contre le cancer. Ce complexe aurait notamment été identifié comme un puissant agent antiprolifératif contre les cellules du mélanome humain A375 et les cellules de l'adénocarcinome du sein humain MCF-7 (77)(78).

Pour une personne adulte en bonne santé, l'ANC est estimé à environ 50 microgrammes par jour et il peut augmenter pour jusqu'à 70 microgrammes pour les femmes allaitantes et les personnes âgées.

h) Le zinc

Le zinc, retrouvé dans la spiruline, est un oligo-élément indispensable à l'organisme. Celui-ci n'y est pas stocké et c'est pourquoi il peut être intéressant de se pencher sur les compléments alimentaires pour pallier à une éventuelle carence en zinc. En plus de son absence de stockage, il ne semble pas très bien assimilé par l'organisme.

Le zinc intervient par exemple dans de nombreuses réactions enzymatiques, stimule le système immunitaire ou possède des propriétés d'antioxydant, ce qui en fait un oligo-élément essentiel.

L'apport journalier recommandé tourne autour de 15 milligrammes par jour, il peut toutefois être à adapter selon l'âge et l'activité(32).

Les carences en zinc sont plus largement observées dans les pays du tiers monde ou chez des populations plus ciblées comme les végétariens, les femmes enceintes, les sportifs ou encore les alcooliques chroniques.

Une équipe de chercheurs chinois a pu prouver que la spiruline présente une source intéressante en zinc et que celui-ci semble plus assimilable que dans certaines autres sources alimentaires. Pour cela, ils ont choisi de travailler sur une population d'enfants carencés en zinc dont la moitié a été supplémentée en spiruline et l'autre moitié a été supplémentée par des comprimés de zinc pendant trois mois. Il apparaît alors que le groupe supplémenté avec la spiruline dispose d'une assimilation bien supérieure en zinc face au groupe ayant reçu les comprimés (79).

Le zinc est retrouvé à hauteur d'environ 95 microgrammes pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline, qui répond à environ 0,8% de l'ANC en zinc. Cet apport quotidien en zinc est loin du seuil des 150 milligrammes à partir duquel il peut devenir toxique.

b. Les minéraux

a) Le calcium

Le calcium est le minéral que l'on retrouve le plus dans l'organisme : la majorité est située au niveau des os et des dents, le restant est sous forme libre dans le plasma ou lié à l'albumine. Il est donc primordial de satisfaire à un apport suffisant en calcium pour limiter l'apparition de troubles osseux tels qu'une fragilité osseuse ou l'ostéoporose et donc d'éviter d'éventuelles complications comme des fractures.

En plus de son rôle dans la construction osseuse, le calcium améliore aussi l'assimilation de la vitamine B12 et participe au métabolisme du fer et d'autres vitamines. Il intervient également dans la régulation de l'excitabilité neuromusculaire et dans la coagulation sanguine.

D'après plusieurs sources, il semblerait que la spiruline soit plus riche en calcium que le lait de vache et que le calcium de la spiruline soit mieux assimilé grâce à sa teneur en phosphore et en magnésium (3).

Pour des personnes ayant des carences en calcium ou consommant peu d'aliments riches en calcium, une supplémentation en spiruline peut être à envisager et la dose serait à adapter selon le régime alimentaire et les paramètres osseux. Cependant, la quantité de calcium

apportée quotidiennement par la spiruline reste minime et la correction d'une hypocalcémie ne pourra être envisagée par de la spiruline seule.

En effet, l'ANC en calcium est d'environ 800 milligrammes par jour ce qui permet à la consommation quotidienne de cinq grammes de spiruline de répondre à 0,6% de cet ANC en calcium.

b) Le magnésium

Le magnésium est un élément minéral présent dans presque tous les tissus de l'organisme qui exerce tout un tas de rôles divers et variés. Il favorise l'absorption du calcium, module le stress, combat la fatigue, a une action dans la régulation du sommeil ou stimule le système immunitaire... Ces propriétés déjà citées sont loin d'être exhaustives et pourtant, il semblerait que près de 75% de la population soit carencée en magnésium(80). Les ANC sont à adapter selon le sexe, l'âge et le mode de vie... Un apport pour une femme ou un homme adulte en bonne santé peut varier de 300 à 500 milligrammes par jour : une prise quotidienne de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 4,2% de cet ANC (32).

Le magnésium de la spiruline est bien assimilable par l'organisme grâce à la présence de son atome au cœur de la molécule de chlorophylle (3). Pour que le magnésium soit encore mieux assimilé par l'organisme, il est intéressant de l'associer à de la vitamine B6 (30) : cette vitamine est aussi retrouvée dans la spiruline, ce qui en fait un aliment de choix pour palier à une déficience en magnésium.

La spiruline peut donc éventuellement être conseillée par le pharmacien d'officine chez une personne présentant des symptômes de carence en magnésium (crampes, fatigue, anxiété, palpitations...), accompagnée d'une alimentation riche en autres éléments à fort taux de magnésium et associée à certaines règles hygiéno-diététiques.

c) Le phosphore

Le phosphore est un minéral important dans l'organisme puisque 80 à 85 % de celui-ci est retrouvé dans les os et les dents. En couple avec le calcium, il dispose d'un rôle important dans le métabolisme minéralo-osseux en permettant notamment une bonne ossification.

Le phosphore peut être facilement apporté par l'alimentation par le biais de produits riches en protéines. Les risques de carence semblent assez faibles dans les pays développés du fait d'une bonne accessibilité aux aliments. Toutefois, certaines populations comme les malades rénaux ou les femmes enceintes doivent surveiller leur apport en phosphore (32).

L'ANC varie de 800 à 1 000 milligrammes selon les populations concernées : une consommation de cinq grammes de spiruline permet de répondre à environ 7% de cet ANC.

d) Le potassium

Le potassium est un minéral essentiel qui intervient dans l'excitabilité neuromusculaire et la régulation du rythme cardiaque. Il maintient un équilibre ionique entre l'intérieur et l'extérieur des cellules de l'organisme. Les carences en potassium d'origine alimentaire semblent assez rares. La plupart des carences sont finalement dues à la prise de médicaments comme des diurétiques ou des laxatifs.

L'utilisation de la spiruline en tant que complément alimentaire pour pallier à une hypokaliémie n'a pas encore été étudiée cliniquement.

La quantité de potassium est estimée à environ 70 milligrammes pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline (4). Aucun ANC n'a été défini mais il est recommandé de respecter un apport équimolaire sodium/potassium.

e) Le sodium

Le sodium est aussi un élément que l'on retrouve dans la spiruline. Il est indispensable à l'organisme puisqu'il intervient dans le maintien de l'équilibre hydrique et dans le fonctionnement des nerfs et des muscles.

Cependant, la quantité que l'on peut retrouver dans la spiruline dépend de son lieu de culture : une spiruline cultivée sur eau de mer contiendra alors beaucoup plus de sodium qu'une spiruline cultivée sur eau douce. En moyenne, il est retrouvé environ 45 milligrammes de sodium par prise quotidienne de 5 grammes de spiruline, ce qui s'avère assez pauvre quant à d'autres algues marines. Il n'est pas possible de situer la couverture de l'ANC en sodium par la spiruline puisque cet ANC est fonction de l'apport en potassium.

D'après l'ANSES, la consommation de sel ne devrait pas dépasser 6.5 grammes par jour chez les femmes adultes et les enfants, contre 8 grammes pour les hommes.

Une consommation quotidienne de spiruline semble pouvoir s'inscrire dans les régimes sans sels ajoutés.

7. Lipides

Depuis un certain nombre d'années, de nombreuses études scientifiques se penchent sur l'étude des lipides présents dans différentes algues et notamment ceux de la spiruline. Celle-ci semble être riche en glycolipides et constitue une source importante en acides gras.

Certains de ces lipides présenteraient d'ailleurs des propriétés anti-tumorales, antimicrobiennes ou encore anti-inflammatoires (81). Dans les années 1990, une équipe scientifique va jusqu'à dire que les glycolipides et les sulfolipides contenus dans la spiruline, pourraient se révéler être des substances actives contre le virus responsable du Sida (82). Ces possibles propriétés antivirales seront étudiées plus amplement dans un paragraphe sur les infections virales.

La spiruline constitue une bonne source en deux acides gras polyinsaturés de la série oméga 6 : l'acide linoléique (AL) et l'acide gamma-linolénique (AGL) et dont chacun représente respectivement un apport de 40 et 50 milligrammes pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline (4). Ces acides gras interviennent dans la fabrication des membranes cellulaires et le maintien d'une bonne immunité. Ils modulent l'action de diverses hormones ou interviennent encore dans le métabolisme du cholestérol.

En règle générale, la transformation de l'acide linoléique en acide gamma-linolénique est faible, peu optimale et subit une perte importante. C'est pourquoi un apport direct en AGL est souvent préférable.

Cependant, un apport trop important en oméga 6 peut devenir nocif pour la santé en déstabilisant la quantité d'oméga 3 présente dans l'organisme et en réduisant leur activité (32). Il est donc important de garder un rapport oméga 3 et oméga 6 raisonnable (à peu près de 1 pour 5) et de supplémenter un patient seulement si une carence en oméga 6 est réellement avérée.

La synthèse de cet AGL peut aussi être altérée par divers phénomènes comme le vieillissement, le diabète, le stress, l'alcool, le manque de sommeil, les infections (...) : il n'est donc pas rare d'en manquer.

Par ailleurs, la spiruline ne contenant pas d'oméga 3, l'idéal serait donc d'associer la prise de spiruline à des aliments qui sont riches en oméga 3, tels que les poissons gras, le foie de morue, les huiles de colza ou de lin (...) afin de conserver un rapport correct de ces acides gras.

8. Glucides

Les glucides, appelés aussi hydrates de carbone, sont une famille de molécules à taille et structure variées. Leur rôle principal est d'apporter de l'énergie immédiatement utilisable et nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme. Le glucose constitue la seule source d'énergie du cerveau et c'est pourquoi la glycémie doit toujours se situer au-dessus d'un seuil minimum.

Les glucides représentent 15 à 25% de la composition de la spiruline, ce qui correspond à un apport de 0,75 à 1,25 grammes de glucides par prise de 5 grammes de spiruline (4).

Dans la spiruline, les glucides sont stockés sous forme de glycogène, ce qui fait que l'organisme peut convertir rapidement la spiruline en énergie. Le glycogène et le rhamnose, qui constituent une partie de la membrane cellulaire de la spiruline sont facilement assimilés sans intervention excessive de l'insuline. C'est-à-dire que les sucres rapides fournissent une énergie immédiate sans avoir à fatiguer le pancréas de manière abusive et sans provoquer une hypoglycémie réactionnelle (3).

Plusieurs équipes scientifiques étrangères démontrent que les polysaccharides contenus dans la spiruline ont un effet stimulant sur le système immunitaire (83). D'ailleurs, au Japon, une équipe identifie un polysaccharide nommé « le calcium spirulan » qui semble présenter un effet antiviral contre les virus de l'herpès de type 1(84)(85), de la rougeole, des oreillons, de la grippe ou encore du VIH (10).

Une étude scientifique publiée en 2001 tend même à dire que les polysaccharides issus de la spiruline pourraient jouer un rôle clé dans l'immunothérapie contre le cancer car ils semblent bien plus actifs sur l'activation des monocytes in vitro que ceux actuellement utilisés (86).

D'autre part, ces polysaccharides semblent également participer au bon fonctionnement d'enzymes appelées « endonucléases », enzymes capables de réparer les diverses lésions de l'ADN. Ils pourraient alors intervenir en partie dans la prévention du cancer ou comme médecine complémentaire dans la prise en charge de patients cancéreux (87).

9. Récapitulatif de la composition biochimique de la spiruline

| | Quantité en mg pour 5 grammes de spiruline (ou en µgrammes) | ANC | Couverture de l'ANC en % |
|-------------------------|---|----------------------|--------------------------|
| Acides aminés | 55-70% | 2,75 à 3 g | ND |
| Leucine | 270 | - | - |
| Alanine | 235 | - | - |
| Arginine | 215 | - | - |
| Valine | 200 | - | - |
| Isoleucine | 175 | - | - |
| Thréonine | 160 | - | - |
| Tyrosine | 150 | - | - |
| Lysine | 145 | - | - |
| Phénylalanine | 140 | - | - |
| Méthionine | 70 | - | - |
| Histidine | 50 | - | - |
| Tryptphane | 45 | - | - |
| Cystine | 30 | - | - |
| Lipides | 4 à 7 % | 0,3 à 0,35 g | ND |
| Acide linoléique | 40 | - | - |
| Acide gamma-linolénique | 50 | - | - |
| Minéraux | 7 à 13% | 0,35 à 0,65 g | |
| Potassium | 70 | - | - |
| Phosphore | 62,5 | 800 mg | 7 |
| Sodium | 45 | - | - |
| Magnésium | 21 | 500 mg | 4,2 |
| Fer | 6,8 | 11 mg | 60 |
| Calcium | 5 | 800 mg | 0,6 |
| Manganèse | 250 ug | 2,5 mg | 10 |
| Zinc | 95 ug | 12 mg | 0,8 |
| Chrome | 14 ug | 40 ug/j | 35 |
| Cuivre | 10 ug | 1 mg | 1 |
| Vitamines | | | |
| Niacine B3 | 0,07 | 1,3 mg/j | 5 |
| Vitamine E | 0,5 | 10 mg/j | 5 |

| | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|----------|-----|
| Thiamine B1 | | 190 ug | 1,1 mg/j | 17 |
| Riboflavine B2 | | 180 ug | 1,2 mg/j | 15 |
| Pyridoxine B6 | | 40 ug | 1,6 mg/j | 2,5 |
| Méthylcobalamine | | 1,1 ug | 2,4 ug/j | 46 |
| Acide panthothénique B5 | | 5 ug | 5 mg/j | 0,1 |
| Acide folique B9 | | 0,5 ug | 400 ug/j | 0,1 |
| Biotine B8 | | 0,25 ug | 50 ug/j | 0,5 |
| Vitamine K | | 112 ug | 40 ug/j | 200 |
| Pigments | | | ND | - |
| Phycocyanine | | 750 | - | - |
| Chlorophylle | | 39,5 | - | - |
| Glucides | 15 à 25 % | 0,75 à 1,25 g | ND | - |

Illustration 20 : Tableau récapitulatif de la composition biochimique moyenne d'une production de cinq grammes de spiruline (4)

Les différents modes de culture, de récolte, la situation géographique, le climat ou encore la période de l'année sont tout autant de facteurs pouvant faire varier la composition biochimique d'une spiruline. Ainsi, le tableau ci-dessus est le reflet de la composition biochimique moyenne d'un échantillon de spiruline issu d'une production aléatoire. D'une production à l'autre, les valeurs des différents éléments étudiés sont donc susceptibles de varier.

Certains paramètres comme les pigments, les acides aminés, les glucides ou les lipides n'ont pas d'ANC défini (Non Défini, ND, *Illustration 9*) par les sociétés savantes. Pour ceux-ci, il n'est donc pas possible d'estimer quelle part de la dose journalière « optimale » la spiruline permet de compléter.

De plus, pour les ANC définis, aucune limite de sécurité n'est dépassée : la spiruline, utilisée aux doses recommandées, est donc un élément dépourvu de toxicité hypervitaminique.

V. La spiruline pour la santé

1. La malnutrition

La malnutrition peut englober les deux affections « extrêmes » de la nutrition : le surpoids et la dénutrition.

La dénutrition englobe des retards de croissance, des insuffisances pondérales ou des carences en micronutriments alors que le surpoids comprend l'obésité et les maladies liées à l'alimentation (cardiopathies, accidents vasculaires cérébraux, diabète, cancer...) (88). Malheureusement, lorsqu'une malnutrition s'avère chronique, elle peut provoquer des dommages irréversibles chez l'enfant et avoir un impact négatif sur la santé des adultes.

La malnutrition toucherait à ce jour plus de 30% de la population mondiale et serait responsable de près de 30 millions de morts par an.

a. La dénutrition

La dénutrition peut s'expliquer, non pas par un manque de production de nourriture, mais plus par des difficultés d'accès à celle-ci : les prix appliqués, la pauvreté, la guerre, la politique ou encore la mondialisation. L'organisation humanitaire « Action contre la faim » dénonce ces faits et estime que sans ceux-ci, la production agricole actuelle mondiale suffirait à nourrir la planète entière (3).

Les habitudes culturelles peuvent elles aussi expliquer certaines carences nutritionnelles. En effet, diverses organisations non gouvernementales (ONG) témoignent par exemple, que les nourrissons de Centrafrique sont nourris exclusivement au manioc une fois sevrés. En interrogeant ce peuple africain, ces ONG rapportent que ce choix nutritionnel est un fait de culture alors que d'autres aliments, plus riches et variés en autres micronutriments, sont pourtant à disposition.

Là où la dénutrition sévit fortement, notamment en Inde et en Afrique, diverses associations humanitaires réfléchissent à la mise en place de cultures locales, simples et bon marché pour pallier au fléau de la dénutrition. C'est à ce moment-là que la culture de la spiruline apparaît comme une solution de par la qualité de sa composition, son simple mode de production et sa demande minime en eau et en espace (jusqu'à quatre fois et vingt fois moins respectivement qu'une culture de soja pour un rendement équivalent en protéines) (3).

Les études cliniques sur l'utilisation de la spiruline contre la dénutrition ne manquent pas, mais la plupart de ces essais se voient discutés de par leur taille d'échantillon parfois trop faible, des « perdus de vue », des périodes d'exposition trop courtes ou encore la difficulté à mener l'essai à terme à cause de problèmes géopolitiques.

Et malheureusement, comme le soulignent diverses ONG, réaliser des études cliniques sur des échantillons significatifs d'enfants dénutris avec un suivi à plus long terme, pose un problème éthique et coûte cher. Faute de moyens, ces essais n'appliquent pas souvent les protocoles nécessaires pour être validés par la communauté scientifique et n'arrivent en général pas à être menés à terme et publiés. Et sans publication scientifique, il devient compliqué pour la spiruline de se faire une véritable place dans la lutte contre la dénutrition. Par ailleurs, les grands groupes pharmaceutiques et agroalimentaires qui auraient les moyens de financer ces études ne semblent pas s'intéresser à un produit s'adressant à la population de pays en voie de développement et du Tiers Monde (3).

Les études qui sont parvenues à être publiées s'intéressent à de petits groupes d'enfants dénutris supplémentés en spiruline. La dernière répertoriée datant de 2016 s'est déroulée au Congo et a démontré, après supplémentation en spiruline, une nette amélioration de l'état nutritionnel des enfants dénutris (89).

D'autres études plus anciennes, notamment en Centrafrique, prouvent l'efficacité de la spiruline dans le traitement de maladies comme le marasme ou le kwashiorkor (90). Une étude au Burkina Faso, prouve quant à elle, que la spiruline permet de corriger l'anémie et la perte de poids, notamment chez les enfants séropositifs au VIH (91).

Enfin, une étude indienne parvient à démontrer l'efficacité de la spiruline chez des enfants présentant une carence en vitamine A chronique avec une amélioration du symptôme de la « tâche de Bitot » (92).

De manière générale, la plupart des études recensées étudiant la supplémentation en spiruline chez les enfants dénutris tend à montrer que cette algue pourrait s'avérer être un véritable espoir dans la lutte contre la dénutrition.

Toutefois, même si la dénutrition concerne essentiellement les pays en voie de développement et du Tiers Monde, les pays développés n'y échappent pas. Certaines catégories de personnes défavorisées avec peu de moyens financiers présentent un risque plus important de dénutrition et donc un risque de carences nutritionnelles pouvant être responsables de diverses pathologies.

D'ailleurs, deux études Abena (alimentation et état nutritionnel des bénéficiaires de l'aide alimentaire) réalisées en 2005 et en 2012 montrent que les personnes bénéficiant de l'aide

alimentaire présentent souvent un statut nutritionnel délétère avec l'apparition de pathologies telles que l'hypertension artérielle ou l'obésité, de par des apports alimentaires globalement insuffisants ou insatisfaisants au vu de leur composition nutritionnelle (93). Pour ce type de population, une supplémentation en spiruline à travers des farines enrichies par exemple, pourrait être à envisager pour limiter les carences nutritionnelles et donc le développement de pathologies annexes.

Puis, une autre population à risque de dénutrition est celle des personnes âgées, qu'elles résident à domicile ou en institution (3). En effet, le vieillissement physiologique d'un individu conduit souvent à une perte de goût puis d'appétit alors même que les besoins nutritionnels ne diminuent pas par rapport à un adulte. Cette perte d'appétit rend les personnes âgées sarcopéniques, plus fragiles et plus sujette aux infections ; participe à la fonte musculaire et conduit à un cercle vicieux dans lequel l'issue pour la personne peut s'avérer grave voire fatale.

C'est pourquoi le pharmacien d'officine doit porter une attention particulière à ses patients d'âge avancé en appréciant visuellement une éventuelle évolution de leur état clinique ; puis en les interrogeant sur leur mode de vie et plus précisément sur leur alimentation. Dans le cas où une dénutrition est soupçonnée, il peut être intéressant d'informer le médecin traitant du patient et d'envisager une supplémentation si les règles diététiques ne semblent pas suffire. La spiruline peut être une excellente alternative chez les personnes âgées pour lesquelles un manque cruel d'appétit se fait ressentir.

Avant toute supplémentation, il sera important de vérifier la compatibilité de l'algue avec les pathologies existantes et les traitements médicamenteux en cours. Une supplémentation n'est pas anodine : elle se doit d'être justifiée et ne doit pas présenter d'effets indésirables ou de problème de tolérance chez une population déjà fragilisée.

b. Le surpoids

Depuis un certain nombre d'années, il existe une réelle augmentation des cas de surpoids voire d'obésité et ce pratiquement dans le monde entier. Un chiffre parlant est celui révélé aux États Unis : deux tiers de la population est en surpoids dont un tiers souffre d'obésité. L'OMS parle même d'épidémie mondiale et la surnomme « globésité ».

L'obésité résulte en un apport d'énergie supérieur aux besoins de l'individu : cet apport excédentaire est stocké sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux, responsable alors

de l'augmentation de la masse grasse. Deux hypothèses principales sont mises en avant pour expliquer l'incroyable prévalence de l'obésité au niveau mondial.

La première serait en faveur d'une anomalie au niveau du métabolisme de la leptine chez les personnes souffrant d'obésité. La leptine est une hormone anorexigène contrôlant la sensation de satiété. Le centre hypothalamique dispose en fait d'un niveau de consigne qui contrôle tout l'équilibre énergétique de l'organisme en faisant appel à la leptine une fois que ce niveau est dépassé. Chez les personnes obèses, les récepteurs spécifiques de la leptine pourraient être défectueux engendrant un niveau de consigne biaisé et leurrant alors le phénomène de satiété (94).

La deuxième hypothèse, vraisemblablement confirmée, est l'incroyable émergence de la « malbouffe » dans les pays développés qui s'étend même aux pays en voie de développement.

Malheureusement, il n'est pas possible de dire qu'il existe un remède miracle pour maigrir, que cela soit de manière médicamenteuse ou par l'intervention de plantes ou algues diverses. La perte de poids fait appel à une congruence de facteurs à mettre en œuvre : un rééquilibrage alimentaire, une activité physique régulière et adaptée, un environnement psycho-émotionnel favorable...

Toutefois, l'utilisation de compléments alimentaires peut être une assistance au rééquilibrage de l'hygiène de vie afin d'encourager l'effort déjà fourni par la personne ayant l'envie de maigrir. La démarche de la perte de poids doit venir du patient et être avant tout personnelle afin que la motivation soit maximale et que ce travail d'amincissement soit facilité.

Les compléments alimentaires comme la spiruline ne sont pas là pour remplacer l'alimentation ou combler les éventuels « dérapages » lors de la période de rééquilibrage. Ils sont là pour compléter l'apport des éléments nutritionnels et énergétiques dont l'organisme a besoin pour fonctionner de façon optimale.

La spiruline semble présenter un effet « satiétogène » du fait même de ses composants : elle est riche en polysaccharides et en divers acides aminés (notamment la phénylalanine, le tryptophane et la tyrosine) qui participent tous au signal de satiété envoyé au cerveau (4).

De plus, la spiruline est une excellente source en chrome, un oligo-élément essentiel dans le bon fonctionnement du métabolisme des sucres et des lipides. En effet, le chrome semble jouer un rôle de modérateur de l'appétit avec une action sur le système sympathique : il augmente l'absorption des sucres en rendant le centre hypothalamique moins sensible à la sensation de faim. Sa présence est par ailleurs indispensable à l'insuline pour que celle-ci puisse être active : il en régule le taux sécrété et limite la glycémie dans le sang. Ceci permet

d'éviter les trop fortes fluctuations d'appétit entre les différentes prises alimentaires de la journée et donc les éventuelles pulsions alimentaires injustifiées (95).

Un régime amaigrissant consiste également à la transformation de ce qui est appelé le « gras » en muscle. La leucine est un acide aminé qui aide à brûler la masse grasseuse pour la remplacer par de la masse musculaire en stimulant le métabolisme, particulièrement au niveau abdominal. La leucine fait partie des nombreux acides aminés retrouvés dans la spiruline.

Puis la spiruline qui est un élément très riche en protéines, constitue un apport protéique important contribuant à la sensation de satiété et permettant ainsi la réduction de l'apport calorique, tout en évitant l'apparition de carences grâce à sa riche nutritionnelle.

Le pharmacien peut avoir un rôle à jouer dans la prise en charge au comptoir d'un patient ayant le souhait de perdre du poids. Une fois toutes les conditions réunies à cette prise en charge : une hygiène de vie corrigée, un régime alimentaire rééquilibré ou encore un aspect psychologique favorable ; le pharmacien peut évoquer la consommation de compléments alimentaires tels que la spiruline en parallèle de toutes les mesures évoquées auparavant. Toutefois, le pharmacien se doit d'être clair et honnête avec le patient et ne pas laisser entendre qu'il s'agit d'un remède miracle mais seulement d'un atout supplémentaire dans la réussite de sa perte de poids.

Pour un effet satiétogène, le pharmacien peut recommander la consommation de trois grammes de spiruline avec un grand verre d'eau environ trente minutes avant les repas (4).

2. Le système immunitaire

Le système immunitaire, de façon assez schématique, permet à l'organisme de se défendre face aux agressions extérieures et de résister à diverses pathologies infectieuses. Pour cela, il doit être apte à faire la différence entre les constituants dits « du soi » et les éventuels pathogènes appartenant au « non soi ». Toutefois, il peut arriver qu'un constituant dit du soi se trouve altéré pour diverses raisons et se devra alors d'être éliminé par le système immunitaire (96). Ce système immunitaire peut se voir dérégulé ou fragilisé et c'est à ce moment-là que l'organisme sera alors plus vulnérable aux attaques extérieures.

Le stress constitue un des facteurs qui peut perturber l'équilibre du système immunitaire. Il est prouvé qu'un stress chronique contribue à la sécrétion d'hormones glucocorticoïdes,

d'histamine ou encore d'interférons gamma. Ces substances vont finalement, à long terme, épuiser le système immunitaire et être source de contextes inflammatoires, eux-mêmes vecteurs de diverses pathologies (4).

Un essai clinique a procédé à la supplémentation en spiruline chez des truites de mer pendant huit semaines afin d'évaluer la réaction de celles-ci face à une infestation pathogène volontaire à *Vibrio harveyi*, une bactérie marine. Le taux de survie était significativement plus important dans le groupe de truites supplémentées que dans le groupe de truites non supplémentées en spiruline, avec des taux de globules blancs plus élevés. La supplémentation en spiruline permettrait donc la stimulation du système immunitaire par une plus forte production d'immunoglobulines et induisant ainsi une meilleure résistance à l'infection (97).

Une autre étude semble confirmer cette hypothèse. Un essai sur des poissons supplémentés en spiruline, *versus* un groupe témoin non supplémenté, démontre qu'une supplémentation en spiruline stimule l'immunité notamment par des activités bactéricides et phagocytaires plus efficaces. En effet, les poissons ont eux aussi été infestés volontairement par une souche virulente de *Pseudomonas fluorescens* et les résultats concluent à une protection plus efficace contre l'infection provoquée chez le groupe supplémenté en spiruline (98).

Ensuite, une digestion perturbée peut également être la cause d'un système immunitaire fragilisé. Environ 70% de notre immunité se situe au niveau intestinal : si le microbiote intestinal se trouve déstabilisé, l'organisme est alors plus vulnérable à différentes affections. Par exemple, une alimentation déséquilibrée peut conduire à une muqueuse et une flore intestinales perturbées, ce qui aura pour conséquence d'induire une inflammation intestinale chronique et par la suite une dépression de l'immunité.

La spiruline semblerait jouer un rôle dans la régulation de l'inflammation, en nettoyant les intestins et en régénérant la flore intestinale, qui se trouve être indispensable à une immunité performante (4).

Une intoxication chronique aux métaux lourds peut aussi contribuer à l'affaiblissement de notre système immunitaire. Malheureusement, la population générale y est exposée tout au long de sa vie via : les alliages dentaires, la cigarette, les particules fines ou encore la plomberie. Ces métaux lourds peuvent bloquer en partie la capacité de réparation de l'ADN et conduire au développement de pathologies diverses et variées (4).

Il a été vu que la spiruline contient de la chlorophylle qui, associée à un cofacteur appelé la porphyrine, permet de chélater des métaux lourds comme le plomb, l'arsenic ou encore le

mercure. Elle possède donc des propriétés chélatrices et détoxifiantes qui permettent l'élimination des toxiques accumulés (99).

Toutefois, même si la spiruline semble présenter une propriété de chélation sur les métaux lourds, il se pourrait qu'elle puisse en accumuler lors de sa production, surtout si l'environnement de culture s'avère très pollué. C'est pourquoi il est essentiel de choisir de la spiruline issue de circuits réglementés avec une production régie par un contrôle microbiologique et une analyse de métaux lourds (100)(28).

Après ces quelques exemples, la spiruline apparaît comme un véritable tonifiant immunitaire puisqu'elle stimule les différents acteurs de l'immunité. En effet, la phycocyanine contenue dans la spiruline stimulerait à la fois les globules blancs et les globules rouges, éléments essentiels au bon fonctionnement du système immunitaire.

En prévention, la spiruline pourrait être consommée à raison de deux à trois grammes par jour pour un adulte ou d'un gramme pour les enfants, pour des périodes cibles d'environ trois semaines : changement de saison fatiguant l'organisme, épisodes stressants (changement de travail, examens...). En cas de stress, de fatigue beaucoup plus intense ou encore d'infection virale, la quantité de spiruline à consommer pourrait être augmentée à cinq grammes par jour (4).

3. Les troubles digestifs

La digestion constitue un processus fondamental dans la bonne assimilation des nutriments et donc dans le bon fonctionnement de l'organisme. Il faut savoir que celle-ci débute dès la bouche grâce à la mastication et à l'action des glandes salivaires. Elle se poursuit alors par l'estomac où le bol alimentaire est mis en mouvement pour être ensuite déversé au niveau du duodénum. Tout ce qui était aliment se transforme en nutriment à l'aide du suc intestinal et est absorbé par les vaisseaux sanguins et lymphatiques. Les substances qui ne peuvent être digérées passent dans le côlon, l'eau est absorbée et les déchets restants sont destinés à être éliminés par la défécation. Toutefois, les aliments peuvent se voir mal transformés induisant des inflammations et fatiguant les glandes digestives. Les aliments seront de moins en moins bien assimilés, le système intestinal se déséquilibre, la flore intestinale et le foie se fragilisent... Cette suite d'évènements stimule le cercle vicieux de la mal digestion qui peut conduire alors à la maladie.

La flore intestinale possède un rôle essentiel dans le bon déroulement de la digestion. En effet, elle finalise la dégradation des aliments et aide à leur assimilation. Elle supprime diverses toxines et améliore l'absorption de certaines vitamines.

Un autre élément reste également indispensable à une bonne digestion : il s'agit du foie. Étant connu pour être un acteur majeur dans le métabolisme, il intervient aussi dans la digestion notamment par la production de bile qui permet la digestion des graisses ; et possède par ailleurs une fonction de filtration du sang.

Les troubles digestifs peuvent apparaître à la suite de divers événements. Le premier à citer est une alimentation déséquilibrée voire inappropriée. Celle-ci peut conduire à des carences ou au contraire à une surconsommation, empêchant l'organisme d'éliminer ses toxiques et ayant donc une répercussion négative sur le système intestinal.

Un autre événement bien connu pour provoquer des troubles digestifs est la dimension psychologique : un stress, un conflit, une nouvelle difficile (4)...

Lorsque ces troubles commencent à apparaître, il est important de rechercher quelle pourrait être l'étiologie de ceux-ci. En dehors de toute pathologie déjà diagnostiquée, il est intéressant de questionner le patient sur son hygiène de vie et plus particulièrement sur son alimentation : quels types d'aliments sont consommés ? Ou encore quels types de graisses ou de sucres et en quelle quantité ? Tout un tas de questions sont à se poser sur la qualité et la quantité des aliments choisis et à quel mode de vie ils y sont associés : activité physique, sommeil, rythme biologique ...

Un travail de rééquilibrage voire d'éducation est à envisager si des anomalies au niveau de l'alimentation sont détectées. Un patient souffrant de troubles digestifs peut décider d'initier ce travail à l'aide d'une consultation chez un diététicien.

Le pharmacien d'officine peut toutefois servir de premier interlocuteur avant une consultation diététique puisqu'il est un professionnel de santé de premier recours et a aussi pour vocation à orienter les patients dans leur démarche de soins. Il peut notamment apporter des conseils sur l'hygiène de vie à adopter et rappeler quelques règles de base.

Le pharmacien peut également proposer d'accompagner le patient dans sa démarche notamment par la consommation de spiruline. En effet, la spiruline peut aider à rétablir un bon équilibre nutritionnel en participant au drainage des toxiques de l'organisme, en renforçant le système immunitaire ou encore en reconstituant des niveaux de vitamines ou minéraux nécessaires au métabolisme de l'organisme.

La spiruline, dont les mécanismes d'action sont semblables aux probiotiques, semble stimuler la digestion. Elle agirait en modulant l'activité du système intestinal (101), stimulerait la

production de mucus renforçant la fonction de barrière de la muqueuse intestinale (1) et aurait un effet antimicrobien (102) en inhibant l'adhésion et donc l'invasion des bactéries pathogènes aux parois intestinales.

Une étude démontre que la consommation de spiruline augmente la quantité de lactobacilles présente dans l'intestin et améliore l'absorption des vitamines (103). D'ailleurs, ces lactobacilles semblent même induire un effet antalgique au niveau intestinal (104). La spiruline qui stimule cette production de lactobacilles, pourrait s'avérer être un outil préventif efficace chez les patients souffrant de digestions difficiles.

Par ailleurs, la spiruline semble tout de même présenter un effet antalgique à part entière au niveau intestinal puisqu'une équipe de scientifiques japonais a mis en lumière le fait que la chlorophylle contenue dans la spiruline, disposait d'une action analgésique et cicatrisante sur une population de personnes souffrant d'atonie gastrique, de gastrites et d'ulcères (105).

Le pharmacien peut conseiller à un adulte de consommer deux à trois grammes de spiruline par jour pour des troubles digestifs bénins. La dose pourra être augmentée à cinq grammes par jour pour des troubles plus importants (4). Cependant, avant toute supplémentation, une consultation médicale est recommandée afin de s'assurer que les troubles digestifs sont bel et bien dus à un problème d'alimentation ou de stress et non à une pathologie intestinale inflammatoire ou d'origine iatrogène par exemple.

4. Les troubles cardio-vasculaires

Les maladies cardio-vasculaires apparaissent aujourd'hui en France comme une des premières causes de mortalité : environ 180 000 décès sont décomptés par an, dus à des troubles cardio-vasculaires (106). Un programme national de réduction des risques cardio-vasculaires a été mis en place de 2002 à 2005 afin d'améliorer l'organisation des soins et la prise en charge des maladies cardio-vasculaires et d'identifier les principaux facteurs de risque pour limiter la prévalence de ces troubles cardio-vasculaires. Certains de ces facteurs de risque sont déjà identifiés comme : l'hérédité, la sédentarité, le sexe, le tabagisme, l'alimentation, le stress... D'autres tels que le cholestérol, l'obésité ou l'hypertension artérielle entrent aussi en jeu dans le développement de ces pathologies cardio-vasculaires.

Les troubles cardio-vasculaires sont régulièrement associés au cholestérol et malheureusement souvent à tort. Le cholestérol est indispensable à la vie et est apporté à l'organisme de façon exogène par l'alimentation ou de façon endogène par synthèse hépatique essentiellement. Ce cholestérol fait en fait partie de nos membranes cellulaires et

sert de matière première à l'organisme pour la fabrication de divers composants. C'est un corps gras qui nécessite des transporteurs afin d'être dirigé vers la circulation sanguine. D'ailleurs, les termes de bon ou de mauvais cholestérol sont souvent retrouvés dans la littérature. En fait, des transporteurs appelés LDL (Low Density Lipoprotein) font office de « mauvais » cholestérol alors que les transporteurs HDL (High Density Lipoprotein) correspondent au « bon » cholestérol.

En effet, le LDL cholestérol apporte le cholestérol aux cellules qui en ont besoin mais si l'apport s'avère trop important pour les cellules, il abandonne le surplus dans les artères. C'est là qu'intervient le HDL cholestérol pour récupérer le cholestérol laissé par le LDL et le transporter jusqu'au foie où il sera transformé. Toutefois, il se peut que le rapport entre le nombre de transporteurs LDL et le nombre de transporteurs HDL soit en faveur des LDL.

Cette inégalité quantitative entre les transporteurs peut conduire à un apport trop excessif de cholestérol à des cellules qui n'en ont pas besoin et donc à une accumulation de celui-ci dans les artères, puisque les HDL ne sont plus en quantité suffisante pour assumer le transport jusqu'au foie. Le cholestérol se dépose sur les parois des artères et forme avec le temps les plaques d'athéromes, responsables par exemple de l'infarctus du myocarde.

La différence de quantité entre les transporteurs peut être due à divers facteurs comme une alimentation inappropriée, une sédentarité, un stress, la pollution... Une des solutions pour conserver un bon équilibre entre LDL et HDL est d'avoir une alimentation équilibrée riche en enzymes, vitamines, minéraux, antioxydants et un régime adapté aux apports recommandés en graisses et en sucres. Ce régime permettra d'aider à conserver des parois vasculaires en bonne santé et donc de participer à la prévention des maladies cardio-vasculaires.

La spiruline fait partie d'un de ces aliments qui contient chacun des composés cités ci-dessus et peut donc intervenir dans la prévention des troubles cardio-vasculaires. Elle permettrait de diminuer le taux de LDL et d'augmenter celui de HDL. Son activité hypocholestérolémiant a déjà été prouvée scientifiquement : la vitamine B3 et les acides gras essentiels (dont l'acide gamma-linolénique) qu'elle contient, fabriquent des prostaglandines, qui interviennent dans la régulation de la production de cholestérol. Les acides gras essentiels sont reconnus pour protéger des maladies cardio-vasculaires en augmentant la souplesse des membranes cellulaires, en diminuant la viscosité du sang (107) et en prévenant la formation des caillots sur les parois vasculaires (4).

Par ailleurs, une équipe scientifique japonaise a décidé de travailler sur des lapins blancs en créant deux groupes de travail : un groupe de lapins soumis à un régime riche en algues (*Chlorella vulgaris*) et en cholestérol, face à un groupe non supplémenté en algues. Le groupe

non supplémenté en algues a vu son taux de cholestérol sérique fortement augmenter et des lésions athéromateuses aortiques se sont développées. Dans le groupe supplémenté en algues, cette augmentation du taux de cholestérol n'a pas eu lieu et le taux de lésions athéromateuses a été significativement inhibé (108). La chlorelle est une algue proche de la spiruline, notamment au niveau de sa composition en acides gras : il serait intéressant de réaliser une autre étude clinique plus poussée sur la spiruline afin de confirmer ses effets hypocholestérolémiant et protecteur face aux lésions athéromateuses.

La qualité d'une membrane cellulaire est aussi corrélée à la quantité d'acides gras polyinsaturés qu'elle contient. Au vu de la composition naturelle de la spiruline, une équipe chinoise a étudié l'effet de la supplémentation en spiruline sur la fluidité membranaire des cellules des globules rouges, chez des groupes de rats. Il en ressort que la spiruline peut améliorer la fluidité membranaire du globule rouge, des lipides sériques ou encore des cellules endothéliales vasculaires (109).

Toutefois, consommer de la spiruline en tant que complément alimentaire n'autorise pas à négliger son alimentation, sans quoi ce complément n'aurait aucun bénéfice : la spiruline intervient dans une prise en charge globale, associant alimentation équilibrée et mode de vie adapté.

Lorsque qu'un patient se présente à l'officine et qu'il existe un certain nombre de facteurs de risque de troubles cardio-vasculaires, que le rapport entre le LDL et le HDL est en faveur du LDL ou que l'environnement familial est sensible à ce type de troubles ; le pharmacien peut conseiller de consommer jusqu'à cinq grammes de spiruline par jour pendant 2 mois minimum, en entretien ou en cure (4).

5. Le diabète

Il existe deux types de diabète : le diabète de type 1 et le diabète de type 2, qui est largement majoritaire.

Le diabète de type 1 est dit insulino-dépendant et se caractérise par une destruction des cellules pancréatiques empêchant le patient à synthétiser correctement de l'insuline. Dans ce cas-là, le traitement consiste essentiellement au maintien d'une glycémie correcte par le biais d'injections d'insuline afin de pallier à l'insuffisance pancréatique.

Le diabète de type 2 s'avère être un véritable fléau mondial puisque l'OMS estime que d'ici 2025, ce sont 300 millions de personnes dans le Monde qui en souffriront. En effet, ce type de diabète se développe bien plus tard que le diabète de type 1 puisqu'il est dû à une résistance

à l'insuline et est souvent corrélé à un état de surpoids. Ainsi, lorsque cette résistance à l'insuline commence à se mettre en place, le pancréas se voit contraint de sécréter de plus en plus d'insuline. Avec le temps, la sécrétion de celle-ci tend à diminuer puisque le pancréas s'épuise, ayant pour conséquence une hyperglycémie continue. Le diabète est souvent le résultat de facteurs génétiques et environnementaux, en lien avec un surpoids qui favorise cette résistance à l'insuline. Ce diabète de type 2 est traité de façon médicamenteuse par des antidiabétiques oraux, après échec de simples mesures hygiéno-diététiques, associés si nécessaire à des injections d'insuline.

De par notre mode de vie actuel, que cela concerne l'alimentation, la sédentarité ou encore le vieillissement de la population ; l'OMS ne fait probablement pas fausse route en prévoyant une explosion des cas de diabète de type 2 dans la décennie à venir.

C'est pourquoi la spiruline a été testée lors de nombreux essais cliniques pour être utilisée dans la prévention du diabète ou comme accompagnant dans la prise en charge des patients diabétiques.

L'obésité fait partie d'un des facteurs de prédisposition dans le développement de pathologies comme le diabète de type 2, le syndrome métabolique ou encore l'athérosclérose.

Une étude coréenne de 2018 a montré à l'aide de modèles *in vitro* et *in vivo*, que des extraits de spiruline avaient la capacité de réduire les taux de protéines impliquées dans l'adipogénèse et la lipogénèse, ayant pour conséquence une diminution des dépôts adipeux et des concentrations lipidiques, permettant ainsi de limiter l'obésité et le développement de pathologies comme le diabète de type 2 (110).

Une autre équipe scientifique a décidé de s'intéresser à l'effet produit par une supplémentation en spiruline chez des rats diabétiques. Par rapport à un groupe témoin non supplémenté en spiruline, il apparaît que le groupe consommant ces extraits d'algues ait vu certains de leurs paramètres largement améliorés comme : la glycémie, le profil lipidique sérique, certains marqueurs rénaux (urée, créatinine, acide urique...) ou encore le statut oxydant. De plus, le groupe supplémenté en spiruline a vu, par des examens histologiques, une minimisation de l'étendue de ses lésions tissulaires notamment au niveau hépatique, pancréatique et rénal. La spiruline pourrait donc faire preuve d'effets antidiabétique et anti-hyperlipidémique significatifs (111).

Par ailleurs, la spiruline semblerait aussi présenter un avantage dans l'amélioration de certains paramètres hématologiques (hémoglobine, volume cellulaire moyen, globules rouges, globules blancs...) chez des rats diabétiques (112).

Une autre étude coréenne a été réalisée afin d'étudier l'effet de la spiruline sur les cellules pancréatiques de rats atteints de diabète de type 1. Il en ressort que la spiruline pourrait améliorer la survie et réduire la destruction de ces cellules béta pancréatiques ; tout en réduisant la glycémie, augmentant l'insuline et améliorant les paramètres hépatiques. La spiruline pourrait donc s'avérer un outil important d'accompagnement dans la prise en charge d'un diabète de type 1 (113).

Il est reconnu que l'hyperglycémie chronique dans le diabète entraîne une surproduction de radicaux libres contribuant au développement de la néphropathie diabétique. Une équipe de chercheurs a choisi d'induire un diabète chez une population de rats afin d'étudier l'effet potentiel de la spiruline sur l'insuffisance rénale et le stress oxydatif de ces animaux. Les résultats de cette étude sont que la spiruline permet de rétablir une histologie rénale normale et permet de diminuer à la fois l'hyperglycémie et le stress oxydatif induits par le diabète. La spiruline pourrait donc être utilisée dans la prévention des complications diabétiques (114).

De même, la spiruline semble exercer un effet hypoglycémiant en normalisant l'expression de l'enzyme pyruvate carboxylase dans la néoglucogénèse et en ayant un effet inhibiteur sur la cascade de signalisation MAPK, voie de signalisation qui est pro-apoptotique et induite par le diabète. Ces mécanismes ont été décrits dans une étude où la spiruline a présenté une activité antidiabétique significative (115).

Une autre équipe scientifique s'est particulièrement intéressée au potentiel effet antioxydant de la spiruline dans un modèle de rats diabétiques. Une fois encore, l'administration de spiruline permet une diminution de la glycémie et des marqueurs hépatiques, suivie d'une augmentation des enzymes antioxydantes comme la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase ou la glutathion réductase. Les résultats de cette étude démontre que la spiruline possède des effets hypoglycémiant et hépatoprotecteurs ainsi qu'une forte activité antioxydante pouvant intervenir dans la neutralisation des radicaux libres induits par le diabète (116).

Un composant important de la spiruline, la phycocyanine, pourrait être en partie responsable de l'ensemble de ces mécanismes protecteurs (hypoglycémiant, antioxydant, hépatoprotecteur...) en stimulant notamment la voie de signalisation de l'insuline et en augmentant l'activité de la glucokinase au niveau du foie et du pancréas (3).

La spiruline permet une diminution importante du taux de triglycérides et de la pression artérielle, deux facteurs fréquents chez les diabétiques de type 2. Elle conduirait également à

une diminution de malondialdéhyde, composé chimique marqueur de stress oxydatif. A l'inverse, l'algue permettrait d'augmenter le taux d'adiponectine, hormone produite par le tissu adipeux et qui augmente la sensibilité à l'insuline en plus de diminuer le risque cardiaque.

Une étude de 2005 parue dans le « China Journal of Materia Medica chinese », démontre que la spiruline diminuerait la glycémie, le cholestérol total et les triglycérides tout en améliorant le HDL-cholestérol chez les animaux diabétiques (117).

D'ailleurs, une étude portant sur une supplémentation en spiruline pendant quatre semaines chez des rats diabétiques a permis de mettre en évidence que la spiruline limite l'atrophie et les dommages musculaires retrouvés chez les rats diabétiques. Cette hypothèse du rôle de la spiruline dans l'amélioration de la récupération musculaire chez le diabétique resterait à confirmer par une étude clinique de durée plus longue (118).

De ce fait, la spiruline peut donc se voir conseillée par le pharmacien d'officine comme thérapeutique complémentaire des traitements médicamenteux chez le patient diabétique, notamment mal équilibré ou pour lequel les mesures hygiéno-diététiques s'avèrent difficiles à suivre.

6. Les allergies

Les allergies se caractérisent par différentes formes : allergies alimentaires, urticaires, eczémas, asthmes... L'OMS a fait remarquer que ces maladies allergiques étaient en hausse partout dans le Monde. Elles pourraient être dues à divers phénomènes environnementaux tels que : l'alimentation, le mode de vie, la pollution (...).

Les allergies se présentent en fait comme des réactions immunitaires anormales au contact d'un type d'allergène. Lors d'un premier contact avec un allergène, c'est-à-dire lorsque l'allergène arrive à passer les barrières de protection de l'organisme, le corps le repère et les cellules du système immunitaire vont enregistrer ses caractéristiques. L'allergène est alors comme « fiché » et prêt à être reconnu lors d'un contact ultérieur. L'allergie est déclenchée au moment du second contact avec l'allergène : des anticorps ou des mastocytes sont activés et de l'histamine est sécrétée en réponse.

Parmi les anticorps activés, les immunoglobulines E largement retrouvées sont responsables des allergies immédiates. La production de ces IgE relève de l'intervention de protéines appelées interleukines IL-13 et IL-4.

Cette libération d'histamine conduit à divers symptômes : des éternuements, un écoulement nasal, de l'urticaire, des rougeurs ou encore des œdèmes.

Dans le cas de ces allergies, le but semble donc évident : diminuer les symptômes gênants en empêchant l'action du neuromédiateur sécrété qui est l'histamine et en diminuant l'activation des anticorps. C'est d'ailleurs pour cela que les antihistaminiques sont utilisés dans les troubles allergiques puisqu'ils sont des antagonistes de l'histamine.

La sécrétion d'histamine, responsable des réactions allergiques, serait apparemment inhibée par la consommation de spiruline. En effet, une étude en Russie a permis de mettre en évidence que la consommation de spiruline permettait de diminuer les taux sanguins d'immunoglobulines E dans le sang et donc de réduire la sensibilité aux allergies (119).

Un autre essai clinique utilisant Immulina® et Immunloges®, deux extraits polysaccharidiques de haut poids moléculaire issus de la spiruline, a eu comme objectif d'étudier leurs potentiels effets inhibiteurs sur la réponse inflammatoire allergique et sur la libération d'histamine par les mastocytes. Les résultats montrent que ces extraits ont inhibé la production de TNF- α , d'IL-4, de leucotriènes et d'histamine ; éléments qui sont tous impliqués dans la réaction inflammatoire et allergique (120).

Dans une autre étude, deux éléments peptidiques appelés « P1 (LDAVNR) et P2 (MMLDF) » issus de la spiruline ont été observés pour déterminer leur activité dans le traitement des allergies. Il a été montré des effets inhibiteurs dans la dégranulation des mastocytes et sur l'expression et la production d'interleukine IL-13. De plus, le peptide P2 semblerait également impliqué dans une diminution de la production d'espèces réactives de l'oxygène (121). De par ces peptides et leur activité sur les mastocytes, la spiruline pourrait donc avoir un véritable rôle à tenir dans l'amélioration des troubles allergiques.

En prévention, le pharmacien peut conseiller la spiruline chez un patient souffrant de troubles allergiques, en cure de trois semaines à raison de deux grammes par jour. En période symptomatique, un adulte peut augmenter la quantité de trois à cinq grammes par jour (4).

7. Les troubles du système nerveux central

Le cerveau humain est un des nombreux instruments de l'organisme à être étudié par les scientifiques et ce depuis bon nombre d'années. Il regorge de subtilités qui restent encore à explorer. Le cerveau est en réalité une sorte d'unité centrale qui stimule tout un nombre de fonctions de l'organisme comme : la parole, la motricité, les émotions, la croissance (...).

Pour fonctionner, le cerveau a besoin de neurones. C'est la connexion entre ces neurones et leur vitesse de connexion qui régissent entre autres l'intelligence et la plasticité cérébrale. Cette connexion permet au cerveau d'intégrer et retenir les informations qu'il reçoit, d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences ou encore de diriger les divers métabolismes de l'organisme (122).

Au-delà de la nécessité de ces neurones, le cerveau a aussi besoin d'un élément essentiel pour fonctionner : l'énergie. Cette énergie est en partie apportée par une alimentation adaptée permettant le développement, la stimulation et l'entretien de ces neurones. Pour produire cette énergie, le glucose apparaît comme un carburant primordial. Il semblerait que l'organisme humain ait besoin d'environ dix grammes par heure de sucre pour fonctionner de façon optimale et sur ces dix grammes, quatre sont déjà réservés au cerveau seul (3).

Les neurotransmetteurs sont également indispensables au bon fonctionnement du système nerveux central : ce sont eux qui facilitent le passage de l'influx nerveux et qui permettent la réalisation d'une fonction particulière d'un neurone. Il se trouve que les acides aminés sont des neurotransmetteurs (123).

Par exemple, le tryptophane est le précurseur métabolique de la sérotonine, acide aminé impliqué dans la régulation du sommeil. Une étude scientifique a permis de démontrer qu'une déplétion en tryptophane chez des personnes souffrant d'insomnie primaire avait une incidence sur le métabolisme de la sérotonine : un effet néfaste sur la qualité et la continuité du sommeil a été observé chez cette population (124).

Ainsi l'alimentation, à travers les apports en acides aminés et donc en neurotransmetteurs, peut interférer sur l'activité et la performance du système nerveux central.

a. Troubles mineurs

Maintenant que le lien entre alimentation et système nerveux central est établi, la spiruline constitue un outil adéquat dans la gestion de divers troubles neuropsychiques légers, puisqu'elle est riche en acides aminés essentiels et non essentiels, éléments qui s'avèrent indispensables au bon fonctionnement du système nerveux central.

Par exemple, une fatigue chronique est un trouble neuropsychique qui n'est pas à prendre à la légère : la recherche de la cause de cette fatigue est primordiale. Toutefois, si cette fatigue n'est la conséquence d'aucun dysfonctionnement organique ou d'aucune pathologie et que ce trouble provient seulement d'un déséquilibre du mode de vie (stress, surmenage,

alimentation...), la spiruline entre en scène en tant qu'alliée dans la correction d'éventuelles carences alimentaires, l'amélioration de l'immunité ou comme draineur de toxiques.

Ainsi en période d'asthénie, elle apporte les éléments nécessaires à la production d'énergie (glucides, lipides et protéines) pour une correction de la fatigue et un rétablissement de l'activité du système nerveux central.

Dans ce cas, le pharmacien d'officine peut conseiller à une personne fatiguée, sans pathologie avérée, de consommer deux à trois grammes de spiruline par jour, répartis sur la journée au cours des repas. En revanche il peut être préférable de ne plus en consommer après 16h pour les personnes trop réceptives à sa composition, au risque de présenter certains troubles mineurs du sommeil (4).

b. Maladie d'Alzheimer

Une affection neuropsychique fréquemment rencontrée de nos jours est la maladie l'Alzheimer. Cette pathologie se caractérise par un certain nombre de troubles cognitifs et son étiologie reste encore indéterminée. Des lésions se développent à divers endroits du cerveau et envahissent le cortex cérébral, impactant les capacités de mémoire, de marche, de parole... Ces lésions détruisent aussi les neurones et les synapses. Il semblerait qu'un amas de protéines anormales dit « plaque d'amyloïde » ait un rôle dans l'évolution de cette maladie en causant une oxydation et une inflammation excessives, responsables de la destruction progressive des neurones. Il n'existe à ce jour aucun traitement médicamenteux ayant la capacité de guérir de la maladie d'Alzheimer. Seuls des traitements sont disponibles dans le but de limiter la progression de la maladie et de limiter les symptômes.

Pour exemple, le docteur Carl Cotman (directeur de l'Institute for Brain Aging and Dementia, Université de Californie) a réalisé une étude sur des chiens Beagle d'âge avancé en les séparant en deux groupes : un groupe ayant une alimentation normale « témoin » face à un groupe ayant une alimentation enrichie en antioxydants. Le résultat est assez surprenant puisque le groupe ayant une supplémentation en antioxydants révèle un meilleur apprentissage que dans le groupe à la nourriture normale. Cela laisse à penser que l'enrichissement alimentaire avec des antioxydants sur une longue durée peut ralentir le déclin cognitif physiologique dépendant de l'âge.

De plus, cette supplémentation associée à un enrichissement comportemental semble encore plus efficace que la seule supplémentation alimentaire chez les chiens âgés.

En revanche, les mêmes tests réalisés sur des jeunes chiens n'a pas permis de mettre en évidence une amélioration de l'apprentissage dans le groupe supplémenté.

Pour finir, des IRM du cerveau de ces chiens ont permis de mettre en évidence que chez le groupe supplémenté, l'amas de plaques amyloïdes était significativement diminué (125).

Les antioxydants pourraient donc jouer un rôle primordial dans la prévention de la maladie d'Alzheimer en intervenant en tant que protecteurs contre les lésions du cerveau et contre l'inflammation.

Une autre étude a aussi permis de démontrer que la consommation d'oméga 3 et d'acide gamma-linolénique, deux éléments présents en quantités non négligeables dans la spiruline, permettrait de diminuer le risque de maladie d'Alzheimer (87).

La spiruline, riche en antioxydants, oméga 3, AGL, en plus d'être associée à une stimulation sociale et comportementale, pourrait donc avoir un effet positif dans le ralentissement de la progression de la maladie d'Alzheimer (3).

De nombreuses études scientifiques sont encore en cours et bon nombre s'intéressent aux algues bleues. Des chercheurs du laboratoire ETH de chimie organique à l'université de Zurich ont isolé une substance nommée « nostocarboline », à partir d'une cyanobactérie d'eau douce (126). Il semblerait que cette molécule soit capable de neutraliser l'enzyme cholinestérase impliquée dans la maladie d'Alzheimer et dont l'activité se rapproche d'un traitement médicamenteux actuellement commercialisé, la galantamine. Cette substance permettrait alors de ralentir l'évolution de la maladie (3).

Il serait intéressant de réaliser des tests sur des fragments de spiruline, afin de savoir si elle renferme elle aussi cette nostocarboline. Si tel était le cas, elle disposerait d'un argument supplémentaire pour entrer dans la prise en charge de la maladie d'Alzheimer.

Si cette nostocarboline parvenait à être isolée et synthétisée chimiquement : elle pourrait constituer un véritable espoir dans le traitement de la maladie d'Alzheimer.

c. Maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson est une maladie neuro-dégénérative qui s'attaque à la fonction motrice via la destruction progressive de cellules de la substance noire du cerveau (ou « locus niger ») et donc la destruction des neurones dopaminergiques.

La dopamine étant un neurotransmetteur impliqué dans le contrôle des mouvements, la dégradation de ces neurones et la baisse de dopamine dans le cerveau conduisent à divers types de symptômes qui caractérisent la maladie de Parkinson comme : la lenteur à initier les

mouvements (akinésie), une raideur musculaire spécifique (rigidité) et le tremblement au repos. Souvent, ces symptômes apparaissent de manière asymétrique.

D'autres manifestations moins caractéristiques existent tels que des troubles de la motricité, de la parole, une fatigue, une incontinence ou encore une apathie (3).

A ce jour, il n'existe encore aucun traitement médicamenteux permettant de guérir de cette pathologie. Les deux facteurs principaux identifiés comme étant en partie responsables du développement de la maladie sont l'inflammation et le stress oxydatif.

D'après une étude clinique, il semblerait que les antioxydants comme la vitamine E et les polyphénols, tous deux présents dans la spiruline, puissent bloquer la mort neuronale *in vitro*. A travers cette étude, il est démontré que les antioxydants disposent de propriétés thérapeutiques sur les modèles animaux atteints de la maladie de Parkinson ainsi qu'un effet protecteur contre cette pathologie (127).

Une autre étude met en évidence que la consommation régulière de certaines catégories de fruits comme la fraise, la framboise, la mûre, la myrtille ou la canneberge présente un effet protecteur contre le stress oxydatif et intervient dans la prévention de troubles inflammatoires. Ces propriétés résultent notamment de la présence de divers composants comme des caroténoïdes, des polyphénols, des anthocyanes ou encore des flavonoïdes (128)(129). La spiruline qui contient des caroténoïdes, des polyphénols et des flavonoïdes pourrait donc potentiellement posséder des propriétés anti-oxydante et anti-inflammatoire.

Une équipe de chercheurs a étudié l'effet des flavonoïdes sur les neurones dopaminergiques. Les flavonoïdes utilisés (catéchine, quercétine, chrysin, puéarine, naringénine, gènestein) ont démontré leur capacité à atténuer les lésions apoptotiques des neurones dopaminergiques mésencéphaliques mis en culture face à des agressions oxydatives provoquées (130). La spiruline, qui est elle-même riche en flavonoïdes pourrait donc se voir bénéfique dans la prise en charge de la maladie de Parkinson, en exerçant un effet protecteur contre le stress oxydatif, les lésions dopaminergiques et l'inflammation, éléments identifiés comme essentiels dans le développement de la pathologie.

D'ailleurs, l'équipe du Docteur Bickford a réalisé une étude sur la consommation de spiruline et de myrtilles chez des rats qui ont subi une destruction volontaire de leurs neurones dopaminergiques, reproduisant alors l'état d'activité cérébrale de patients Parkinsoniens. Il en ressort que le groupe de rats supplémenté en spiruline et en myrtilles récupère un taux de dopamine satisfaisant avec une meilleure capacité de régénération des cellules et un meilleur

taux de guérison et de survie. Les composants présents dans la spiruline et les myrtilles sembleraient donc présenter un potentiel thérapeutique non négligeable dans la lutte contre le processus physiopathologique de la maladie de Parkinson (131).

Une étude démontre que la phycocyanine contenue dans la spiruline exerce une activité anti-oxydante en protégeant l'activité des enzymes antioxydantes et en augmentant la réduction du glutathion dans les cellules où le stress oxydatif est induit par le fer. La phycocyanine est donc capable d'interférer avec la mort cellulaire médiée par les radicaux libres. La spiruline peut alors se révéler un outil intéressant dans la prise en charge de pathologies pour lesquelles les espèces réactives de l'oxygène et donc le stress oxydant jouent un rôle important, comme la maladie de Parkinson (132).

Deux autres études viennent corroborer ces hypothèses précédentes en mettant en avant le rôle neuroprotecteur de la spiruline face au stress oxydatif (133), à l'inflammation et à l'apoptose (134).

Un des autres facteurs étant responsable en partie de la maladie de Parkinson est le mauvais repliement et l'agrégation d'une protéine, l'alpha synucléine, dans des inclusions protéiques. Ces agrégats sont retrouvés dans des pathologies comme la maladie de Parkinson, la démence à corps de Lewy ou l'atrophie multisystématisée et ces troubles sont classés sous le terme de « synucléinopathies ».

Une équipe scientifique a utilisé des modèles de levures présentant ces synucléinopathies pour tester le potentiel cytoprotecteur de la phycocyanine. Le constat est que la phycocyanine engendre la diminution de l'agrégation de ces protéines, par la régulation des gènes et des enzymes impliqués dans la réponse au stress oxydatif, le métabolisme du glutathion et dans les systèmes de contrôle protéiques. Dans le cas d'une maladie de Parkinson due entre autre à des anomalies protéiques, la spiruline peut donc se révéler utile dans la prise en charge de la pathologie, grâce à son composant : la phycocyanine (135).

D'autre part il y a un peu plus de 10 ans, un ancien salarié agricole utilisant des pesticides, a vu sa maladie de Parkinson reconnue comme maladie professionnelle par le tribunal des affaires de sécurité sociale. Et depuis, bien d'autres cas ont suivi et cette pathologie est désormais reconnue comme maladie professionnelle depuis 2013. Le lien de causalité entre l'utilisation de pesticides et l'apparition de cette pathologie a été prouvé par de nombreuses études scientifiques. Un article récent paru en 2017 confirme cette hypothèse en soulignant le fait qu'être agriculteur n'est plus le seul facteur de risque mais que les riverains habitant à proximité de zones agricoles deviennent aussi une population à risque supplémentaire :

l'exposition environnementale à ces pesticides est donc bel et bien en lien avec le développement de la maladie de parkinson (136).

D'ailleurs dans un certain nombre de pesticides, nous retrouvons un élément appelé le tétrachlorure de carbone, connu aussi sous le nom de tétrachloréthane, répertorié pour être un carcinogène. Il est utilisé dans diverses situations (intermédiaire chimique, solvant industriel, raffinage du pétrole, fabrication pharmaceutique...) et nous y sommes exposés par plusieurs voies : l'inhalation, l'ingestion ou par contact cutané (137).

Des études ont été réalisées sur l'effet nocif de ce composé, connu pour être notamment hépatotoxique. Des rats prétraités par de la phycocyanine, un composant essentiel de la spiruline, se sont vus être injectés ce tétrachlorure de carbone. Le résultat est que la phycocyanine présente un effet hépatoprotecteur face à ce composé chimique, via la protection des enzymes hépatiques. Le mécanisme de cette hépatoprotection n'est pas encore totalement élucidé mais la spiruline qui contient cette phycocyanine, pourrait donc absorber ce composé chimique parasite et le débarrasser de l'organisme (138)(48).

La spiruline apparaît donc comme un élément prometteur à conseiller au comptoir par le pharmacien d'officine dans la prévention des personnes exposées aux pesticides ou comme accompagnement dans la prise en charge médicamenteuse de la maladie de Parkinson. En effet, elle semble avant tout présenter un effet essentiellement protecteur contre le stress oxydant, l'inflammation et les lésions dopaminergiques, de par sa composition naturelle, particulièrement avec les flavonoïdes et la phycocyanine.

d. Maladie de Willis-Ekbom

La maladie de Willis-Ekbom est une pathologie neurologique plutôt connue sous le nom du « syndrome des jambes sans repos » et se caractérise par des sensations de fourmillements voire de brûlures dans les jambes, d'où la nécessité de bouger celles-ci, notamment en cas d'immobilité. Les causes de cette maladie ne sont pas totalement élucidées mais des hypothèses sont mises en avant comme une défaillance du système dopaminergique, un déficit en certains micronutriments (fer, magnésium, sélénium) ou encore une origine génétique. Certains médicaments ont également la possibilité de déclencher ou d'aggraver les symptômes : il s'agit surtout des antidépresseurs, des neuroleptiques et des antihistaminiques (139).

La spiruline qui est un aliment riche en tous types de micronutriments pourrait s'avérer être une solution dans la prise en charge de ce syndrome par la correction de différents paramètres

nutritionnels. C'est pourquoi des études cliniques sont actuellement en cours sur l'utilisation de la spiruline dans la prise en charge de cette pathologie (3).

e. Troubles de l'attention

Ce que l'OMS nomme « trouble hyperkinétique » correspond en fait à un trouble de l'attention qui peut toucher à la fois les enfants et les adultes. Les symptômes correspondent essentiellement à un déficit d'attention, une hyperactivité voire une apathie ou une impulsivité ; troubles qui peuvent avoir des répercussions sur la vie de tous les jours.

Ces personnes souffrant de troubles de l'attention avec ou non une hyper-activité semblent présenter un déficit en acides gras essentiels ainsi qu'en L-glutamine. D'ailleurs cette L-glutamine est un précurseur de l'acide gamma aminobutyrique (GABA), qui est un neurotransmetteur inhibiteur ayant un rôle possible dans l'hyperactivité. Une carence en minéraux et oligo-éléments (zinc, magnésium, fer, sélénium...) et vitamines du groupe B influence la synthèse de sérotonine, de GABA ou de dopamine et peut donc avoir un impact sur cette hyperactivité (3).

Une étude clinique confirme le fait qu'une carence en magnésium peut être responsable en partie d'une hyperactivité. Des équipes scientifiques ont supplémenté des enfants hyperactifs en magnésium pour le premier essai et en magnésium associé à de la vitamine B6 pour le deuxième essai. Le résultat est sans appel pour les deux études : les manifestations d'hyperactivité sont largement réduites chez les groupes supplémentés, améliorant le comportement des enfants et leurs capacités d'attention (140) (141).

La spiruline, qui contient à la fois de la vitamine B6 et du magnésium, peut donc être un aliment à conseiller dans le cadre d'hyperactivité et de troubles de l'attention, s'il existe des carences en vitamines ou en minéraux et oligo-éléments.

D'autre part, une carence en zinc peut elle aussi être associée à des troubles marqués d'hyperactivité. Deux essais cliniques menés sur des enfants souffrant de trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) ont permis de montrer qu'une supplémentation en zinc chez ces enfants, face à un groupe témoin sans supplémentation, permettait de limiter les symptômes d'hyperactivité et d'impulsivité chez ces enfants (142).

La spiruline qui est elle-même riche en zinc pourrait donc être bénéfique dans la prise en charge des troubles de l'attention de l'enfant en cas de carence.

D'ailleurs, une étude chinoise a réussi à mettre en évidence que la spiruline est deux à quatre fois plus assimilable que les autres sources alimentaires de zinc, ce qui en fait un argument de premier choix si une supplémentation en zinc est à envisager (3).

Une des hypothèses pouvant aussi expliquer le TDAH est la carence en fer. Certains chercheurs se sont concentrés sur cet aspect pour la réalisation d'une étude clinique : ils ont décidé de supplémenter en fer un groupe d'enfants souffrant de TDAH, associé à une carence en fer et d'un taux de ferritine bas. La conclusion est qu'avec cette supplémentation, les symptômes du TDAH semblent nettement améliorés (144).

Une fois de plus, la spiruline constitue une véritable source en fer et peut constituer un apport intéressant pour les personnes souffrant de TDAH. De plus, le fer de la spiruline semble plus assimilable que d'autres sources alimentaires comme les viandes et les légumineuses (67) car la phycocyanine forme des complexes solubles avec le fer et d'autres minéraux pendant la digestion facilitant alors l'assimilation (3).

Pour illustrer un peu plus le rôle des algues dans le TDAH, deux chercheurs ont décidé de faire consommer un gramme de Klamath (*Aphanizomenon Flos-Aquae*) par jour à des écoliers. L'étude donne un résultat assez impressionnant : les résultats scolaires semblent s'améliorer de 81 %. Toutefois, il serait pertinent de s'intéresser aux conditions dans lesquelles l'étude a été réalisée afin de voir si des éventuels biais existent et si seule la consommation de cette algue peut être imputée à cette amélioration (145).

Une autre étude confirme également cette hypothèse avec une supplémentation en Klamath chez un groupe d'enfants : leur comportement et leur capacité d'apprentissage semblent améliorés (146).

Ces deux dernières études s'intéressent à la Klamath (« cousine » de la spiruline) et non à la spiruline même. Toutefois, la spiruline et la Klamath appartiennent toutes les deux à la famille des cyanobactéries et ont des compositions similaires. Il serait donc intéressant de pouvoir réaliser des tests cliniques identiques sur la spiruline, afin de vérifier si leurs effets peuvent être similaires, dans le cas de la prise en charge du TDAH notamment.

8. Les infections virales

De par sa composition, des chercheurs supposent que la spiruline possède diverses propriétés anti-tumorales, antimicrobiennes ou encore anti-inflammatoires (81).

Dans les années 1990, une équipe scientifique va jusqu'à dire que les glycolipides et les sulfolipides contenus dans la spiruline, pourraient se révéler être des substances actives contre le virus responsable du Sida (82). D'ailleurs, près de vingt ans plus tard, une substance appelée « cyanovirine » de la famille des lectines, a été isolée d'une cyanobactérie *Nostoc*

ellipsosporumla (147). Il se trouve que cette cyanovirine est aussi retrouvée dans la spiruline et certains chercheurs lui imputent une activité importante de neutralisation du virus du VIH (148)(149).

La spiruline pourrait donc présenter une potentielle action antirétrovirale et nécessiter des études cliniques plus poussées quant à son utilisation dans l'accompagnement de la prise en charge de personnes infectées par le VIH (150).

D'autres composants issus de la spiruline présentent une action antivirale sur divers autres virus : notamment, les adénovirus (151), le virus de l'herpès de type 1 et 2 (HSV 1-2) (152), le cytomegalovirus ou encore les virus de la rougeole et des oreillons.

Une étude scientifique analysant une population atteinte du virus de l'hépatite C, laisse à penser que la spiruline pourrait disposer d'un potentiel effet thérapeutique positif dans la prise en charge de patients atteints d'hépatite C chronique : hypothèse qui reste à confirmer par le biais d'une étude plus longue et incluant plus de sujets (153).

Une équipe scientifique allemande s'est intéressée à l'activité antivirale de la spiruline chez des volontaires souffrant d'herpès labial (HSV-1). Le calcium spirulan (Ca-SP), un composant de la spiruline, a été identifié comme bloqueur de l'attachement viral et de la pénétration du virus dans les cellules hôtes et ce, avec une activité semblable à celle de l'aciclovir. Dans un modèle provoqué d'herpès, l'effet prophylactique d'une crème contenant du Ca-SP est supérieur à celui de la crème contenant de l'aciclovir (154).

Un autre essai clinique réalisé dans un élevage de carpes a consisté à étudier l'activité antivirale de la spiruline contre le virus de l'herpès face à un traitement médicamenteux : le ganciclovir. L'activité antivirale des polysaccharides de la spiruline contre le KHV (Herpes Virus de Koi) a été confirmée *in vitro* à l'aide d'une évaluation qualitative des gènes du cycle de vie du KHV. Il a été découvert par RT-PCR que les polysaccharides avaient la capacité de supprimer complètement la réplication virale dans les cellules du cerveau de la carpe (85).

Puis, la fièvre aphteuse est une maladie qui touche les animaux et qui implique un virus. Elle est en général bénigne mais peut perturber les conditions d'élevage et nécessiter un recours aux traitements médicamenteux. Une équipe scientifique égyptienne a étudié l'effet d'une supplémentation en spiruline sur des groupes de hamster souffrant de cette fièvre aphteuse. Il en ressort que la spiruline présente un effet antiviral notamment sur les types O, A et SAT2 du virus responsable de la maladie. Ainsi, la spiruline pourrait être une alternative aux antiviraux chez les animaux d'élevage (155).

9. Commentaire critique des sources utilisées

Les publications choisies pour illustrer les propriétés de la spiruline sont récentes (une majorité après 2010) et proviennent de chercheurs de nationalité variée. Elles reflètent divers essais mettant en scène la spiruline : certains identifient son activité grâce à l'analyse des paramètres biologiques, certains comparent son action face à un placebo, d'autres face à des médicaments.

Toutefois, la plupart des articles cités précédemment concerne des essais réalisés sur des animaux et non pas sur l'Homme. Les durées d'étude sont souvent assez courtes et réalisées sur des populations en petit nombre. Puis, la dose de spiruline utilisée lors des essais n'est souvent pas renseignée dans ces articles.

Suite à ces facteurs, la pertinence de ces essais pourrait être remise en cause.

L'idéal serait que les futurs travaux de recherche s'intéressent à des échantillons humains suffisants, d'une durée d'observation satisfaisante, et que les doses de spiruline utilisées lors de ces essais soient clairement définies.

Ceux-ci permettraient de répondre de manière plus objective aux critères de rigueur demandés lors de la publication d'un essai clinique.

10. Récapitulatif des propriétés de la spiruline

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| La malnutrition | La dénutrition | Riche en protéines Correction de la perte de poids Correction de l'anémie |
| | L'obésité | Riche en chrome et en leucine (métabolismes des glucides et des lipides) Effet satiétogène |
| Le système immunitaire | Stimulation du système immunitaire Résistance aux infections Régulation de l'inflammation Chélation et détoxification de l'organisme | |
| Les troubles digestifs | Stimulation de la digestion Modulation de l'activité du système intestinal Favorisation de la production de mucus intestinal (effet barrière) Effet antimicrobien Production de lactobacilles Action analgésique et cicatrisante | |
| Les troubles cardio-vasculaires | Diminution du taux de LDL Augmentation du taux de HDL Hypocholestérolémiante Augmentation de la souplesse des membranes cellulaires Diminution de la viscosité du sang Prévention de la formation des caillots sur les parois vasculaires | |
| Les diabètes | Diabète de type 1 | Hypoglycémiant Antioxydant Hépatoprotectrice Amélioration de la survie et réduction de la destruction des cellules bêta pancréatiques |
| | Diabète de type 2 | Anti-hyperlipidémique, hypocholestérolémiante, hypoglycémiant, antioxydant, hépatoprotectrice |

| | | |
|--|---|---|
| Les allergies | Réduction de la sensibilité aux allergies Diminution des taux sanguins d'immunoglobulines E Inhibition de la production de TNF- α , d'IL-4, d'IL-13 et de leucotriènes | |
| Les troubles du système nerveux central | Troubles mineurs | Apport d'énergie en cas de fatigue |
| | Maladie d'Alzheimer | Antioxydante, anti-inflammatoire, riche en omégas 3 |
| | Maladie de Parkinson | Neuroprotectrice (inflammation et apoptose) Antioxydante Régulation protéique (alpha synucléine) Hépatoprotectrice |
| | Maladie de Willis-ekbom | Apport en vitamines, minéraux et oligo-éléments |
| Les infections virales | HSV, CMV, rougeole, oreillons | Activité antivirale (cyanovirine, calcium spirulan) |

Illustration 21 : Récapitulatif des propriétés de la spiruline, par Isabelle Laurent

VI. La spiruline au quotidien

1. De la naissance à l'adolescence

a. Du nouveau-né au nourrisson

En pédiatrie, le terme de « nouveau-né » désigne l'enfant depuis sa venue au monde jusqu'à son premier mois de vie. De ce moment-là jusqu'à un an, le terme de nourrisson est préféré. Après sa naissance, deux choix s'offrent aux parents quant à l'alimentation du nouveau-né : soit un allaitement maternel, soit un allaitement dit « maternisé ».

L'OMS estime que l'allaitement maternel, jusqu'à l'âge de 6 mois, est fortement recommandé pour couvrir la totalité des besoins nutritionnels de l'enfant et le protéger contre les infections, puisqu'il profite alors des atouts du système immunitaire de la mère.

Puis de six mois à deux ans, l'allaitement devrait être complété par une autre alimentation en faisant intervenir la diversification alimentaire (156). Dans le cas d'un allaitement au sein exclusif et d'une alimentation équilibrée de la part de la maman, aucune complémentation telle que la spiruline ne semble utile pour le bon développement du bébé (4).

Dans le cas d'enfants qui ne sont pas allaités, les laits maternisés utilisés ont une composition qualitative différente de celle du lait maternel. Ceci peut avoir des conséquences sur leur organisme. En effet, il est reconnu que les nourrissons non allaités ont des risques allergiques et infectieux augmentés, un risque augmenté d'intolérance aux protéines du lait de vache et peuvent subir une modification de leur flore intestinale.

Pour garantir un apport satisfaisant des éléments indispensables à la croissance de l'enfant et pour stimuler son système immunitaire, le pharmacien d'officine pourrait conseiller aux parents d'agrémenter le biberon de spiruline.

Pour le nouveau-né, la spiruline peut être consommée à hauteur de cent milligrammes par jour, incorporée dans le lait maternisé.

Pour le nourrisson, la consommation peut monter jusqu'à cinq cents milligrammes par jour, à répartir dans les différents biberons de la journée (7).

Toutefois par principe de précaution, le pharmacien se devrait d'être d'autant plus prudent dans le conseil apporté aux parents d'un nourrisson, du fait de la provenance de la spiruline choisie, qui peut ne pas être exempte de métaux lourds, pesticides ou autres résidus potentiellement « toxiques ».

Dans l'idéal, un nourrisson ne devrait pas être sevré avant l'âge de six mois. Le passage à une alimentation plus solide doit en théorie apporter les nutriments nécessaires au bon développement de l'enfant. Les protéines d'origine animale sont un élément de choix pour le changement d'alimentation puisque la teneur en acides aminés est proche de celle du lait maternel. Pourtant, à l'âge de six mois, le nourrisson ne dispose pas d'une maturité digestive suffisante pour assimiler la viande ou les œufs. Pour assurer un apport en protéines suffisant, des farines de céréales peuvent être accompagnées de farines légumineuses ou de spiruline. La spiruline se présente ici comme une très bonne source de protéines et d'acides aminés essentiels. Elle n'est toutefois pas suffisante pour couvrir la totalité des besoins nutritionnels du nourrisson : des légumes et des fruits assureront aussi un apport minimum en minéraux, en enzymes et en vitamines (4).

b. L'enfant

L'enfance est une véritable période de croissance physique mais également une phase intense d'apprentissages en tous genres. C'est pour cela que l'enfant se doit de recevoir tous les nutriments essentiels nécessaires au bon déroulement de cette période de vie puisqu'en cas de carence, il peut exister des conséquences graves pour l'avenir.

Pour recevoir ces éléments en quantité et en qualité, il n'existe pas de remède miracle : l'enfant doit suivre une alimentation riche et équilibrée. Pourtant, aujourd'hui, certains parents avouent avoir des difficultés à respecter ce mode d'alimentation. Peu importe quelle qu'en soit la raison : par manque de temps, par culture, par des parents qui ne parviennent pas à se faire entendre de leurs enfants ou même inconsciemment. L'alimentation reste pourtant un aspect primordial dans le développement physique, intellectuel, moteur ou social de l'enfant.

Ainsi, lorsqu'un pharmacien d'officine parvient à identifier ce type de situation, il peut se permettre de conseiller la prise de spiruline chez l'enfant, par exemple en cure de trois semaines, deux grammes par jour, tous les deux mois ou pendant l'hiver ; moment où le système immunitaire de l'enfant est plus sollicité et où l'alimentation est en général moins riche en vitamines. Cette supplémentation ne doit surtout pas être vue comme un moyen de laisser-aller sur l'alimentation, sous prétexte de la prise d'un « complément alimentaire ». Le pharmacien aura alors un rôle de conseil prépondérant dans cette situation, en impliquant à la fois l'enfant et les parents dans cette prise en charge. D'une certaine manière, en les responsabilisant, la prise de spiruline peut être une voie d'ouverture vers une alimentation alors plus saine et plus équilibrée.

c. L'adolescent

Peut-être plus encore que pendant l'enfance ou du moins différemment, l'adolescence s'avère être une période de grands bouleversements tant physiques que psychiques. Cela se répercute sur le mode de vie en général et notamment sur l'alimentation. Souvent, les adolescents sautent des repas, grignotent à tout moment de la journée et ont un attrait particulier pour des aliments trop riches en lipides et pauvres en glucides. Leur alimentation est déséquilibrée et c'est à ce moment que des déficiences en fer, en calcium ou en vitamines peuvent apparaître. Lors de l'adolescence, période « d'expérience », diverses autres éléments sources de carences peuvent entrer en jeu comme l'alcool, le tabac ou la prise de contraceptifs oraux de plus en plus précoce. Tous ces facteurs cumulés peuvent amener à un statut de véritable carence ayant des conséquences sur le sommeil, la concentration ou la mémorisation et donc des conséquences sur la vie familiale, scolaire et sociale.

Là aussi le pharmacien a un devoir d'information sur les conséquences possible d'une mauvaise alimentation, sans pour autant avoir un discours culpabilisant. Si le dialogue parvient à s'ouvrir avec les parents, voire avec l'adolescent lui-même, le pharmacien peut conseiller la prise de spiruline après avoir rappelé les mesures hygiéno-diététiques, afin d'impliquer pleinement l'adolescent et de l'ouvrir vers un rééquilibrage alimentaire. En effet, de par sa composition, la spiruline s'avère une bonne source de protéines et d'éléments essentiels pour pallier à diverses carences observées lors de l'adolescence. L'adolescent peut en consommer à raison de deux à trois grammes par jour en cures de trois semaines lorsque les besoins s'en font ressentir.

Un autre atout de la spiruline chez l'adolescent est celui de son efficacité contre l'acné. En effet, beaucoup d'adolescents traversent une période acnéique qui peut s'avérer parfois traumatisante pour certains, du fait de l'impact physique que celle-ci peut avoir.

L'acné est le résultat de diverses composantes telles qu'une hyperséborrhée due au bouleversement hormonal de l'adolescence, une réaction inflammatoire en lien avec une bactérie appelée *Propionibacterium acnes* puis la formation de lésions dues à l'obstruction du canal folliculaire.

La spiruline, notamment de par sa composition en phycocyanine, permet à l'organisme de se défendre face à cette réaction inflammatoire. L'activité antibactérienne de l'algue permet de lutter contre les éventuelles infections cutanées dues à la prolifération des bactéries et donc de limiter les lésions. D'autres éléments contenus dans la spiruline comme la vitamine E, le zinc ou le bêta-carotène permettront de faciliter la cicatrisation (7).

Face à des adolescents acnéiques, le pharmacien peut alors proposer la spiruline par voie orale en complément d'une hygiène de vie saine et d'un traitement local.

Pour des acnés légères à modérées, la spiruline peut être consommée à raison de trois grammes par jour alors que pour des acnés sévères se traduisant par des lésions beaucoup plus pustuleuses voire infectées, la supplémentation peut aller jusqu'à cinq grammes par jour. Selon le type d'acné, le pharmacien peut aussi proposer un traitement local, soit par le biais de soins d'hygiène adaptés à l'acné soit par le biais de produits un peu plus actifs contenant par exemple du peroxyde de benzoyle.

Toutefois, un autre conseil pouvant être donné par le pharmacien est celui de la composition d'une crème ou masque « maison » associant par exemple du gel d'Aloe vera à de la poudre de spiruline, pouvant alors être appliqués localement pour une action antibactérienne et anti-inflammatoire.

Il sera aussi important de préciser au patient qu'une amélioration de l'acné se fait voir après plusieurs semaines de traitement afin que l'adolescent ne soit pas découragé dans sa démarche. Si aucun effet indésirable dû à la prise de spiruline n'est remarqué, la cure peut durer jusqu'à trois mois pour obtenir des résultats satisfaisants.

Si l'acné ne parvient pas à s'améliorer malgré les mesures d'hygiène adaptées et la consommation de spiruline, le pharmacien aura tout intérêt à orienter l'adolescent vers son médecin généraliste ou son dermatologue pour adapter la prise en charge.

2. La femme

a. La grossesse

La grossesse est une véritable période de changements à la fois physiques et psychologiques. Le fœtus, pour subvenir à ses besoins, va prélever les ressources nécessaires dont il a besoin chez la maman, pour laquelle des états de déficience voire de carence peuvent s'installer. L'organisme maternel va donc devoir s'adapter pour faire face à ces besoins supplémentaires et assurer un développement optimal du bébé, notamment par le biais d'une alimentation adaptée à cet état de grossesse.

Les protéines sont un des besoins qui apparaît augmenté lors de la grossesse. Pour autant, il n'est pas conseillé d'augmenter les apports en viande rouge ou en charcuterie mais plutôt de préférer des protéines de qualité en associant protéines végétales et animales. Il faudra toutefois porter une attention particulière à différents types de population pouvant se trouver en état de déficience, comme les femmes issues de milieux défavorisés, végétariennes ou encore les adolescentes. Les légumes secs et les céréales apparaissent comme une bonne

source de protéines, qui plus est s'ils sont consommés au même repas, car leurs acides aminés sont alors complémentaires et bien assimilables par l'organisme.

La spiruline, de par sa richesse en protéines, apparaît également comme un élément à utiliser lors de la grossesse pour compléter un régime alimentaire trop faible en protéines. Elle peut être consommée à raison de quelques grammes par jour, quantité qui sera à adapter selon les apports quotidiens en aliments protéinés.

Les lipides sont des éléments essentiels tout au long de la vie pour le bon fonctionnement de l'organisme. Lors de la grossesse, ce besoin en lipides est d'autant plus important à partir du troisième mois, puisque ces acides gras contribuent à l'apport énergétique et à la formation des cellules de manière générale. Les acides gras de la mère sont transférés au bébé et permettent son bon développement, c'est pourquoi une carence en acides gras essentiels pendant la grossesse peut être vraiment préoccupante du fait d'un développement potentiel de troubles du développement du système nerveux central fœtal.

L'acide alpha-linolénique (oméga 3) et l'acide linoléique (oméga 6) sont les seuls à avoir la capacité de traverser le placenta vers le fœtus et comme ils sont dits essentiels, ils doivent absolument être apportés par l'alimentation de la mère. Il est possible de les trouver dans divers types d'huiles végétales ou de poissons gras. L'acide linoléique est également retrouvé dans la spiruline, qui constitue alors une excellente source en cet élément. S'il y a consommation de spiruline, une alimentation suffisante en oméga 3 doit alors y être associée puisque ce dernier y est manquant. Il est donc important de garder un apport équilibré entre les omégas 3 et les omégas 6 (environ un pour cinq) afin d'en tirer tous les bénéfices.

Notre mode de vie et surtout notre alimentation d'aujourd'hui conduisent une partie de la population à disposer de réserves en fer généralement faibles. Les femmes semblent encore plus sujettes à ce phénomène de par leur choix d'alimentation différent de celui des hommes mais aussi de par la physiologie même du corps féminin. Dans le cas d'une grossesse, le bébé va demander des quantités de fer de plus en plus importantes au cours de son développement ; fer qui est puisé dans les réserves musculaires et hépatiques existantes de la mère avant la grossesse. L'apport quotidien recommandé en fer pour une femme enceinte est donc nettement plus élevé que chez une femme adulte, même jusqu'à deux fois plus selon l'état d'avancement de la grossesse ! Toutefois, l'état de grossesse va conduire l'organisme à augmenter naturellement sa capacité d'absorption digestive du fer et donc pallier en partie à ces besoins supplémentaires et après 28 semaines d'aménorrhée, ce phénomène de carence ne semble plus problématique.

Cependant, des états d'anémie en début de grossesse peuvent persister chez certaines populations (grossesse gémellaire, dénutrition, végétarienne, bypass...) et une déficience en

fer chez la femme enceinte peut devenir rapidement problématique puisqu'ils augmentent les risques de prématurité et d'hypotrophie fœtale.

Une consommation d'aliments variés riches en fer, associés si possible à des aliments riches en zinc et vitamine E, est alors à conseiller chez une femme enceinte.

Une supplémentation associée à une source riche en vitamine C est idéale pour améliorer l'absorption du fer mais peut être trop agressive pour la femme enceinte avec un risque d'augmentation du risque pro-oxydant et un risque d'aggraver certains déficits. Dans le cas de femmes au régime particulier (végétarien, végétalien...) ou dont une déficience en fer est véritablement reconnue, la spiruline apparaît donc comme une excellente source en fer et qui est en plus très assimilable par l'organisme.

Pour ce qui est des vitamines, les besoins en vitamines B1, B6 et B12 sont légèrement augmentés lors de la grossesse. A l'heure actuelle, une alimentation variée et équilibrée semble répondre aux besoins des femmes enceintes. Cependant, pour les femmes suivant un régime végétalien, la spiruline est un atout important pour l'apport des vitamines du groupe B et notamment pour la vitamine B12 qui est parfois insuffisante dans ce type de régime. En effet, une carence en vitamine B12 peut conduire à des fausses couches répétées ou à une anémie mégaloblastique.

Puis, même si l'alimentation permet en général de subvenir aux besoins demandés en magnésium et en zinc lors de la grossesse, il arrive que certaines femmes présentent une petite déficience en ces éléments.

Le magnésium peut avoir un effet bénéfique sur la prévention de la pré-eclampsie, des crampes et de la mort subite du nourrisson mais une supplémentation ne semble pas encore justifiée à l'heure actuelle. Une carence en zinc peut être à risque d'hypotrophie fœtale et d'accouchements prématurés et est plus facilement retrouvée chez les femmes qui fument, boivent de l'alcool ou qui suivent un régime restrictif. Une supplémentation en zinc peut être recommandée en association avec une supplémentation en folates et en fer. Dans ce cas, la spiruline, qui contient ces trois éléments, est intéressante pour compléter les apports alimentaires dans un cadre justifié.

La vitamine D est une vitamine qui favorise l'absorption du calcium des aliments et participe donc à la formation de l'ossature du bébé. De plus, le fœtus pompe cette vitamine chez la maman afin de constituer ses propres réserves. Une carence en vitamine D peut alors provoquer des fractures spontanées chez la femme enceinte et conduire le bébé à développer des troubles mentaux et des déformations osseuses. En revanche, la spiruline ne contenant de la vitamine D qu'à l'état de traces, elle ne constitue pas une source fiable d'apport en cette

vitamine. Il est donc souvent nécessaire de supplémenter les femmes enceintes en vitamine D puisque les besoins lors de la grossesse vont jusqu'à doubler et une alimentation équilibrée ne suffit en général pas à répondre à ces besoins (4).

De la même façon que chez le nourrisson et par principe de précaution, le pharmacien doit avoir un conseil avisé quant à la consommation de spiruline chez la femme enceinte. En effet, du fait de sa provenance, il se peut que la spiruline ne soit pas exempte de tous toxiques. Il serait rassurant de connaître l'origine de production de l'algue avec une analyse microbiologique à l'appui.

b. Le syndrome prémenstruel

Il apparaît que 70% des femmes Françaises en âge de procréer doivent subir tous les mois, avant l'apparition de leurs règles, bon nombre de désagréments comme des maux de tête, une douleur au ventre et/ou aux seins, une fatigue, une rétention d'eau ou encore une irritabilité. C'est ce que l'on appelle le syndrome prémenstruel : il serait dû essentiellement à des carences en minéraux et en vitamines responsables d'un impact négatif sur l'équilibre hormonal.

D'ailleurs, d'après certaines études scientifiques, une supplémentation en vitamine A permettrait de limiter les symptômes de ce syndrome prémenstruel. Il est toutefois important de rester prudent si une supplémentation veut être mise en place car la vitamine A peut devenir toxique si un certain seuil de tolérance est dépassé.

La vitamine B6 quant à elle semble jouer un rôle non négligeable dans l'équilibre hormonal et permettrait de calmer les douleurs et de réduire la fatigue, remarquées à ce moment précis du cycle menstruel. De plus, les femmes qui sont sous contraception hormonale voient souvent apparaître une carence en vitamine B6 et en vitamine B9, participant donc à l'apparition de tous ces symptômes. La vitamine E semble aussi contribuer à limiter les effets de ce syndrome prémenstruel.

D'autres études ont démontré qu'un apport riche en calcium permettait de diminuer les symptômes du syndrome prémenstruel de près de moitié et qu'un apport riche en magnésium conduirait à diminuer la rétention d'eau environ 40%, tout en agissant sur l'humeur. Le potassium jouerait aussi un rôle dans la réduction des œdèmes provoqués par cette rétention d'eau.

Dans le cas d'une patiente qui viendrait à l'officine pour demander conseil sur ce syndrome prémenstruel, suite à des symptômes perturbant sa vie quotidienne, le pharmacien peut conseiller la prise de spiruline à raison de trois à quatre grammes par jour, en cure de trois semaines par mois. Lorsque les symptômes s'atténuent, la patiente peut passer à une cure tous les deux mois et ainsi de suite selon l'amélioration de ceux-ci. En effet, dans cette situation, la consommation de spiruline permet par sa richesse en vitamines, minéraux et oligoéléments de combler les différentes carences de la patiente et donc de retrouver un équilibre hormonal satisfaisant.

Par ailleurs, la spiruline reste un des meilleurs apports en fer pour combler les pertes de cet élément dues aux règles mensuelles des femmes, chez qui le taux de ferritine est d'ailleurs déjà souvent bas. La spiruline peut donc être à conseiller par le pharmacien, chez les femmes qui ont la connaissance d'une carence en fer, qui plus est chez celles qui ont des règles abondantes et donc une perte en fer plus importante (4).

c. La ménopause

La ménopause est un véritable bouleversement dans la vie d'une femme, tant physique que psychique, puisqu'il correspond à un passage où les ovaires se mettent à l'arrêt et où les règles disparaissent. Ce chemin vers la ménopause va être source de nombreuses fluctuations hormonales ayant pour conséquence des effets plus ou moins marqués selon les femmes comme : des bouffées de chaleur, des sueurs nocturnes, une fatigue, des douleurs articulaires, une prise de poids, voire une dépression latente. Lorsque cette ménopause est installée durablement, toute sécrétion d'hormone est arrêtée et ces symptômes tendent à disparaître.

Après ce changement hormonal, la femme est alors plus sujette au risque de maladies cardiovasculaires, à l'ostéoporose et subit des changements physiques plus bénins comme un assèchement de la peau et des muqueuses. La spiruline apparaît donc comme une option à conseiller pour la prévention des troubles notamment cardiaques et osseux (4).

d. L'esthétique

Cet aspect n'est évidemment pas réservé aux femmes, mais l'esthétique est souvent perçue comme important aux yeux de celles-ci. Qui n'a jamais rêvé d'avoir une peau, des cheveux et des ongles en parfait état ? Il n'existe pas de remède miracle pour cela mais avant toute chose, une bonne hygiène de vie est à mettre en place.

Une alimentation équilibrée, un apport hydrique suffisant, la pratique d'une activité sportive ou le bon état psychique sont tout autant de facteurs essentiels entrant dans ce mode de vie à adopter. Il arrive parfois que lors des changements de saison, de périodes fatigantes, stressantes ou même par le biais d'un traitement médicamenteux ; cette hygiène de vie ne suffise plus à l'organisme et que cela se fasse ressentir sur l'état de la peau et des cheveux. Certain(e)s patient(e)s peuvent alors se présenter à l'officine pour demander conseil quant à des soins adaptés pour retrouver une jolie peau et des cheveux en bonne santé.

Le pharmacien peut alors conseiller la spiruline, qui fait partie d'un des éléments pouvant être adopté pour aider un organisme parfois affaibli et qui peut être utilisé dans les soins de beauté. Elle peut être consommée par voie orale, c'est-à-dire en « interne », afin que la personne profite de tous ses nutriments et oligo-éléments bénéfiques à l'aspect de la peau et des phanères, notamment par leurs propriétés anti-oxydantes.

En effet, le zinc et le sélénium sont deux composants qui, en association à divers pigments (chlorophylle, bêta-carotène ou phycocyanine) et la vitamine E, font preuve d'effets antioxydant et assainissant. Une autre vitamine présente dans la spiruline, la vitamine B5, participe à la bonne résistance de la peau et des muqueuses. Puis, des acides gras comme l'acide gamma-linolénique sont connus pour apporter souplesse et élasticité à la peau.

Deux grammes de spiruline, pour des cures d'environ trois semaines lors de périodes difficiles, permettent à l'organisme de profiter pleinement de ses composants et de leurs propriétés et de pallier aux déficiences d'un organisme ponctuellement affaibli.

Une autre astuce pour conserver une jolie peau est d'utiliser la spiruline en usage externe en confectionnant un masque à appliquer sur le visage. Ce masque peut allier une huile végétale type huile d'argan (ou huile de rose ou onagre par exemple) à de la poudre de spiruline. A savoir que le type d'huile végétale choisi est à définir selon le type de propriété recherchée (cicatrisante, nourrissante, adoucissante...). Ce mélange peut ensuite être dilué à l'aide d'une eau florale ou d'une eau de source peu minéralisée. Une fois cette pâte prête, le masque peut être appliqué sur le visage pour une quinzaine de minutes, en évitant les yeux, à raison d'un ou deux masques par semaine selon les besoins de la peau. La spiruline permet alors d'apporter directement en local les éléments antioxydants nécessaires à un joli teint (4).

3. Le sportif

La spiruline fait partie d'un des éléments reconnus par les sportifs pour les accompagner dans leur performance physique en se passant de toutes sortes de produits stimulants ou anabolisants.

Lors d'un effort physique, les réserves en glycogène vont avoir tendance à s'épuiser et c'est pourquoi un apport en glucides est nécessaire pour combler cette perte. L'apport de sucres rapides classiques, même si ceux-ci apportent un regain d'énergie temporaire, vont aussi conduire à une hypoglycémie réactionnelle, due à une trop forte libération d'insuline et se traduisant par des douleurs musculaires dues à l'acidification des tissus. Pour combler la dépense en glycogène chez le sportif, la spiruline est intéressante car elle dispose de glucides qui sont bien absorbés par l'organisme et qui ne mettent pas en jeu l'insuline de façon excessive, empêchant donc cette chute de glycémie réactionnelle et les douleurs musculaires qui en découlent.

Les lipides sont stockés dans l'organisme sous forme de triglycérides. Ceux-ci sont indispensables lors d'un effort physique puisque l'organisme les dégrade pour en obtenir de l'énergie. La spiruline constitue une très bonne source d'acides gras essentiels et peut donc participer au renouvellement du stock de ces lipides. De plus, certains acides gras, comme l'acide gamma-linolénique, contribuent à la bonne circulation sanguine, favorisant les activités sportives de par une meilleure oxygénation tissulaire.

Les vitamines présentes dans la spiruline sont aussi importantes pour l'apport nutritionnel de tout sportif. Par exemple, les vitamines B1, B2 ou encore B3 interviennent toutes dans les mécanismes de la chaîne respiratoire, y limitent la production d'espèces réactives de l'oxygène et font donc preuve d'un effet antioxydant. La vitamine B6 et la vitamine B12 participent à la transformation des apports alimentaires en énergie avec une participation supplémentaire à la synthèse du fer et de la vitamine C pour la vitamine B12. Puis, la vitamine B9 est aussi très importante chez le sportif en raison de son rôle dans le renouvellement cellulaire et la formation de globules rouges, activités d'autant plus importantes chez le sportif que dans la population générale.

L'activité physique conduit les besoins en fer à être quatre à cinq fois supérieurs à ceux de la normale. Ainsi, la spiruline constitue une bonne source en fer pour limiter les états de déficience et donc l'apparition d'états dérangeants pour le sportif comme des tendinites, des claquages réguliers ou encore des contractures ou de simples états de fatigue physique.

De manière générale, la spiruline est une bonne source d'oligo-éléments et de minéraux essentiels chez le sportif. Le potassium, le magnésium et le calcium interviennent tous dans la prévention des crampes musculaires ; le sélénium joue un rôle d'antioxydant majeur puis le manganèse, le cuivre et le zinc participent à différents métabolismes et notamment musculaires.

L'apport de ces différents minéraux et oligo-éléments participe aussi au recyclage de l'acide lactique, produit lors d'un effort intense et qui est responsable des douleurs musculaires.

La phycocyanine, pigment naturel présent dans la spiruline, améliore l'oxygénation cellulaire en favorisant la production de globules rouges. Son action peut être rapprochée à celle de l'érythropoïétine.

La spiruline, largement reconnue pour avoir une teneur en protéines assez exceptionnelle, est un outil idéal pour la pratique d'une activité physique sportive. Riche en acides aminés essentiels, la spiruline contient parmi ceux-ci les « BCAA » ou les acides aminés dits « branchés » : il s'agit de la leucine, l'isoleucine et la valine. Ils peuvent représenter jusqu'à 30% de la totalité des acides aminés présents dans les muscles et y sont métabolisés immédiatement, sans passer par un stockage au niveau du foie.

Les BCAA vont avoir un rôle à jouer dans l'amélioration des performances sportives en influençant l'état de la force musculaire, la capacité de récupération ou encore la destruction musculaire due à l'effort.

D'ailleurs, une étude clinique a étudié chez une population d'athlètes l'effet d'une supplémentation aigüe en ces BCAA sur des lésions musculaires induites par l'exercice. Il en ressort que, par rapport au groupe placebo, le groupe supplémenté en acides aminés voit son taux de récupération augmenté et une perception de la douleur diminuée, jusqu'à 24 heures après l'effort (157).

Une autre étude, réalisée cette fois chez des personnes âgées, va dans le même sens en démontrant une nette amélioration des performances musculaires, de la force et de l'équilibre chez le groupe supplémenté en BCAA (158).

Chez un sportif, le pharmacien d'officine peut donc conseiller la consommation de spiruline, soit en complément avant l'effort pour apporter de l'énergie et améliorer l'endurance, soit pendant l'effort pour limiter la destruction des fibres musculaires et les douleurs associées, ou encore après l'effort pour encourager la récupération physique.

De plus, après un effort physique, une sensation de faim a tendance à apparaître. Le pharmacien peut donc aussi conseiller la prise de spiruline pour apporter un effet satiétogène après l'effort avec un apport en calories limité, chez tous les sportifs pour lesquels un maintien du poids est nécessaire (4).

4. La personne âgée

De la même manière que chez la femme enceinte, les besoins en micronutriments ont tendance à évoluer lors du vieillissement physiologique de la personne. En effet, des troubles de l'appétit peuvent survenir avec l'avancée de l'âge notamment par une diminution de la sensation de faim et de soif et une diminution du goût et de l'odorat. Peut alors apparaître une sarcopénie qui favorise le risque de chute et diminue les réserves protidiques. Tous ces facteurs sont susceptibles de conduire l'individu à un état de dénutrition qui peut être fatal s'il n'est pas pris en charge.

C'est à ce moment que le pharmacien d'officine a un rôle certain à jouer en repérant les populations à risque et en dépistant un éventuel état de dénutrition pour lequel une prise en charge est alors nécessaire. Le but est avant tout de mettre en place des conseils hygiéno-diététiques afin de favoriser une prise alimentaire régulière, variée et répondant aux besoins de l'individu. Si cela n'est pas suffisant et avant de passer aux compléments nutritionnels oraux pour lesquels les indications sont précises, le pharmacien a la possibilité de proposer la prise de compléments alimentaires et notamment la spiruline qui, de par sa composition naturelle, est en capacité de répondre à certains besoins spécifiques du vieillissement.

Pour commencer, le sujet âgé est souvent plus sujet à une anémie par carence martiale du fait de causes digestives ou médicamenteuses. Un apport suffisant en fer doit alors être assuré.

Puis, la vitamine B12, essentielle dans le maintien des fonctions cognitives, peut parfois faire défaut suite à une carence d'apport ou une malabsorption.

Il est donc important de répondre à des apports suffisants, de même que pour la vitamine B9. Les besoins énergétiques sont plus élevés chez la personne âgée notamment à cause de pathologies parfois hypercatabolisantes et d'une réparation tissulaire accrue.

Il en va de même pour les besoins protidiques dont le stress, une inappétence pour la viande ou une diminution des portions peuvent être responsables d'un déficit d'apport en protéines. Puis, les régimes pauvres en cholestérol chez les plus de 70 ans sont inutiles puisqu'une hypocholestérolémie est même signe de mauvais pronostic.

Une consommation avisée en acides gras est donc conseillée, en privilégiant les acides gras insaturés et essentiels.

La spiruline, de par sa composition en fer, vitamines, glucides, protéines ou encore acides gras semble adaptée à la prise en charge nutritionnelle de la personne âgée, en complément de mesures hygiéno-diététiques. Le pharmacien peut conseiller à la personne âgée de consommer la spiruline à hauteur de trois grammes par jour, en cures de trois semaines et plus spécifiquement aux périodes pouvant s'avérer plus difficiles (stress, changement de saison...) (4).

Toutefois, la personne âgée peut être porteuse d'un certain nombre de pathologies : le pharmacien doit donc prendre connaissance du traitement médicamenteux en cours. Par exemple, lors d'un traitement par antivitamine K et par mesure de précaution, le patient devra discuter avant avec son médecin traitant de la consommation de spiruline. En effet, celle-ci contient entre autres de la phycocyanine à activité antiplaquettaire (159) et de la vitamine K pouvant potentiellement interférer avec un anticoagulant oral et déstabiliser l'INR.

Les personnes souffrant d'une atteinte au niveau rénal doivent également consulter leur médecin avant de passer à une supplémentation en spiruline car celle-ci pourrait fatiguer les reins du fait de sa forte teneur en protéines.

5. Les animaux

La spiruline est reconnue dans le milieu sportif pour améliorer les performances physiques de certains individus. Ce phénomène semble également s'appliquer à une population toute autre que l'Homme, population représentée par les chevaux de course.

Par le même mécanisme que chez l'Homme, la spiruline constituerait un atout chez le cheval de course pour améliorer sa récupération à l'effort et pour accélérer la vitesse de cicatrisation de certaines blessures. D'ailleurs, l'Université de Liège, avec la coopération de la société Bioprex, a été une des premières à créer une préparation à base de spiruline à utiliser sur des chevaux de course pour ses propriétés cicatrisante et antiseptique (1).

D'autre part, il existe chez le cheval ce que l'on appelle « le syndrome métabolique équin » ou SME, pathologie qui peut être assimilée au diabète de type deux chez l'Homme. Cette maladie métabolique, souvent retrouvée chez les poneys ou chevaux en surpoids, risque de provoquer des fourbures et s'avère néfaste à long terme.

Chez un cheval atteint de ce trouble, la solution est de limiter les apports en glucides solubles : l'herbe étant trop riche en ces glucides, un régime alimentaire devra être adapté à l'animal. Pour cela l'accès à la pâture sera limité (voire interdit selon l'état d'embonpoint et l'état d'avancement de la maladie), les aliments à base de céréales, de mélasse ou de betterave seront à proscrire et le cheval sera essentiellement nourri au foin, avec une quantité journalière contrôlée (160). En parallèle, la consommation de spiruline chez le cheval, comme chez l'Homme dans le diabète de type deux, permet une perte de poids significative ainsi qu'une sensibilité à l'insuline améliorée.

En effet, une étude clinique réalisée sur le cheval atteint de SME a permis de mettre en évidence le rôle positif de la spiruline dans la résistance à l'insuline, le stress oxydatif et le microenvironnement inflammatoire du tissu adipeux ; facteurs contribuant au développement de cet SME (161).

Il n'est pas rare que certaines personnes se rendent à l'officine pour demander conseil pour leurs animaux, incluant parfois les chevaux. Dans le cas d'un SME diagnostiqué par le vétérinaire, le pharmacien d'officine peut alors évoquer la prise de spiruline pour aider à la perte de poids de l'animal. La posologie peut varier de trente à soixante grammes par jour, selon les besoins et le poids de l'animal. Toutefois, il serait intéressant de discuter de cette solution avec le vétérinaire afin qu'il estime une posologie adéquate au vu de ses connaissances sur l'animal.

De manière générale, la spiruline reste un outil qui peut être conseillé par le pharmacien pour tous les animaux domestiques (chiens, chats et NAC) convalescents, fragiles ou âgés. En effet, de par sa composition naturelle, elle apporte les éléments essentiels nécessaires à un bon tonus de l'animal, une bonne forme physique, une peau saine, un pelage soyeux et un système immunitaire performant.

Elle peut être conseillée à hauteur de cinquante milligrammes par tranche d'un kilogramme de poids corporel, par jour, en cures de 10 à 21 jours. La spiruline peut être glissée dans la nourriture habituelle de l'animal, en évitant pour autant de la chauffer au risque de perdre la qualité nutritive de ses composants.

Un autre point à évoquer est celui de l'élevage intensif des animaux de rente comme le bovin, la volaille ou encore le porc ; qui a fait naître de nombreuses critiques quant à l'utilisation de produits comme les antibiotiques ou les produits hormonaux. L'utilisation de ces derniers étant aujourd'hui contrôlée par des instances sanitaires compétentes, des solutions alternatives doivent être trouvées pour répondre aux besoins actuels de l'élevage. La spiruline pourrait apparaître comme une réponse à ce phénomène de par son effet « facteur de croissance »

naturel grâce à ses propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et même prébiotiques (162) ; limitant donc le recours aux hormones ou antibiotiques.

Une recherche scientifique a d'ailleurs permis de mettre en évidence que la consommation de spiruline chez certains animaux d'élevage améliorerait leur croissance, leur fertilité, leurs qualités esthétique et nutritionnelle ; permettant ainsi de répondre aux besoins actuels de productivité animale (163).

6. Récapitulatif des activités de la spiruline

| | |
|---------------------------------|--|
| Le nourrisson | Compléter les apports nutritionnels si l'enfant n'est pas allaité |
| L'enfant | Compléter les apports nutritionnels si situation particulière identifiée |
| L'adolescent | Anti-acnéique Comblent les carences vitaminiques |
| La grossesse | Compléter des apports en vitamines pour les femmes au statut particulier (végétarienne, adolescente, bypass...) |
| Le syndrome prémenstruel | Comblent les carences en vitamines et minéraux |
| La ménopause | Prévention des troubles cardiaques et osseux |
| L'esthétique | Usage interne ou externe Entretien de l'aspect de la peau et des phanères (vitamines, antioxydants) |
| Le sportif | Apport de protéines, glucides, lipides, vitamines, minéraux Apport d'énergie Amélioration de l'endurance Limiter les douleurs musculaires Effet satiétogène |
| La personne âgée | Compléter les apports nutritionnels Limiter la sarcopénie Prévenir la dénutrition |
| Les animaux | Amélioration et la tolérance à l'insuline (SME) et perte de poids Amélioration de la récupération à l'effort Bonne source nutritionnelle pour les animaux convalescents ou fragiles Amélioration de la productivité d'élevage |

Illustration 22 : Récapitulatif des activités de la spiruline, par Isabelle Laurent

VII. La spiruline en pratique

1. Les différentes formes galéniques

La spiruline peut se présenter sous différentes formes galéniques : paillettes, poudre, comprimés et gélules. Les comprimés et les gélules sont les deux formes les plus retrouvées en officine.

A l'heure actuelle, en plus de l'officine, la spiruline peut être achetée dans : des supermarchés, des magasins bio, sur des sites de vente en ligne, des marchés ou encore chez des spiruliniers.

a. Les paillettes

La spiruline sous forme de paillettes correspond à la forme galénique qui s'avère la moins transformée. Elle n'aura pas à subir les différents processus de transformation et d'ajout d'excipients pour arriver à une forme pharmaceutique tel que le comprimé. En effet, la paillette correspond à la forme brute de la spiruline après séchage (*Illustration 23*).

La couleur de ces paillettes doit tendre vers un vert plutôt foncé et un aspect mat. S'il semble que la spiruline « brille », il se peut que la qualité de la spiruline fasse défaut à cause de l'ajout d'agglomérant par exemple.

La forme en paillettes est une forme qu'il est facile d'intégrer dans des plats culinaires ou qui peut être consommée directement par voie orale. Si un patient souhaite prendre de la spiruline directement par voie orale, le pharmacien aura intérêt à rappeler que l'odeur et le goût de cette dernière peuvent surprendre pour les non-initiés. Dans ce cas, pour limiter les éventuels désagréments dus au goût ou à l'odeur, le pharmacien peut conseiller de prendre une boisson afin de faciliter l'ingestion de la spiruline.

Une boisson riche en vitamine C permettra d'optimiser l'absorption du fer contenue dans la spiruline. Le thé et le café sont à éviter car ils limitent l'absorption du fer à cause de la présence de tanins.

Si au contraire le patient préfère la consommer en l'intégrant à certains plats, le pharmacien doit rappeler que la spiruline ne se cuit pas, au risque de dénaturer ses composants. Le patient pourra donc saupoudrer de spiruline ses différents types de mets en fin de préparation, après cuisson s'il y a, ou préférer l'incorporation à des plats froids.



Illustration 23 : Photographie de spiruline en paillettes, issue de l'exploitation Spirul'In Vosges (Rancourt, 88)

b. La poudre

La poudre de spiruline correspond à de la spiruline en paillettes ayant été réduite (*Illustration 24*). Elle peut être utilisée de la même manière que la forme en paillettes : soit directement par voie orale, soit en saupoudrage de divers plats culinaires. L'inconvénient reste le même que celui de la paillette : l'odeur peut être désagréable.

Pour cette forme, de même que pour la forme en paillette, il sera nécessaire de peser la spiruline ou à défaut, d'utiliser des mesures de cuillère à café (cuillère égale à cinq grammes) ou à soupe (cuillère égale à dix grammes).

La poudre de spiruline ne se dissout pas bien dans l'eau et peut coller aux dents et au palais. Il n'est donc pas conseillé de l'utiliser en dissolution dans l'eau.



Illustration 24 : Spiruline sous forme de poudre (Wikimedia)

c. Les gélules

Les gélules de spiruline contiennent en fait de la spiruline en poudre (*Illustration 25*).

L'utilisation d'une gélule permet de supprimer l'éventuel goût désagréable mais peut malheureusement conduire à un coût plus important que sous forme de poudre ou de paillette. La gélule peut être d'origine végétale ou d'origine animale. La gélule qui fait intervenir des solvants chimiques et/ou des excipients devient un produit transformé.



Illustration 25 : Spiruline en gélules (www.sport-equipement.fr)

d. Les comprimés

La spiruline en comprimés est la forme la plus consommée et fait partie de la catégorie des compléments alimentaires (*Illustration 26*). Sa commercialisation doit alors être approuvée par la DGCCRF (Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes) et suivre une réglementation particulière.

Elle peut s'avérer un peu plus coûteuse que les formes en paillette et en poudre mais elle dispose d'un avantage, celui de ne pas disposer de goût ou d'odeur désagréables.

Cependant, des opérations supplémentaires comme le broyage, la pulvérisation ou la compression lui font perdre de la qualité de par une exposition trop longue à l'oxygène et à la lumière. De plus, des agents supplémentaires comme des additifs ou des stabilisateurs peuvent être ajoutés, impactant la qualité de la spiruline.

Les comprimés de spiruline peuvent être retrouvés à différentes posologies, il est donc nécessaire de prêter une attention particulière lorsque le pharmacien délivre de la spiruline afin d'ajuster son conseil. Le pharmacien doit également s'assurer que le patient comprenne la posologie journalière et donc le nombre de comprimés à consommer, qui peut donc varier d'une gamme à l'autre de spiruline.

Un comprimé peut aussi s'avérer difficile à avaler selon le type de population visé : personne âgée, enfant, patients souffrant de troubles de la déglutition... Le pharmacien doit donc vérifier que la forme galénique est adaptée au patient.



Illustration 26 : Spiruline sous forme de comprimés (Wikimedia)

2. Les posologies

Avant toute supplémentation, le pharmacien se doit de rappeler au patient que la spiruline n'est pas un aliment miracle ayant le pouvoir de guérir tous les maux et ne doit donc pas être utilisée pour contrecarrer les excès de la vie quotidienne.

Elle doit être utilisée à juste titre pour compléter un mode de vie en accord avec une alimentation variée et équilibrée et la pratique d'une activité physique, afin que le patient puisse bénéficier pleinement de ses avantages.

La spiruline n'étant à ce jour pas considérée comme un médicament : il n'existe donc pas de « posologie » précise à respecter, à l'inverse de la posologie d'un médicament qui doit coller à une indication et respecter une AMM.

Lorsque le pharmacien conseille la consommation de spiruline à l'un de ses patients, il doit savoir si la personne a déjà été initiée à cette supplémentation. Si ce n'est pas le cas, le patient aura tout intérêt à commencer à consommer la spiruline de manière progressive pour éviter certains troubles mineurs éventuels comme des maux de tête ou des troubles digestifs : un gramme pour la première semaine, deux grammes pour la deuxième jusqu'à arriver à trois

grammes par jour, qui correspond à la dose journalière recommandée pour la plupart des adeptes de la spiruline.

Toutefois, la quantité journalière de spiruline à consommer est aussi à adapter en fonction de chaque individu et de l'effet recherché. Par exemple, un adulte en bonne santé peut en consommer deux grammes par jour, alors qu'un adulte en convalescence et/ou asthénique peut passer à cinq grammes par jour, de même que le sportif peut adapter des doses de quatre à dix grammes en fonction des entraînements ou compétitions, sur une courte durée (164).

En prévention ou en entretien, la quantité de spiruline peut être de trois grammes par jour, alors qu'elle peut passer à cinq grammes journaliers pour une cure « d'attaque » (4).

Il est toutefois raisonnable de ne pas dépasser une quantité journalière de dix grammes afin de limiter les effets indésirables, notamment digestifs. Elle peut aussi être consommée sous forme de cures d'un à deux mois, à répéter deux ou trois fois par an.

De façon générale, la spiruline est à prendre au cours de la journée en évitant la prise en soirée qui, à cause de son effet stimulant, peut perturber l'endormissement et la qualité du sommeil de certaines personnes. Les prises peuvent être réparties, ou non, en plusieurs fois dans la journée un peu avant les repas. Il est aussi intéressant d'allier la prise de spiruline avec une boisson ou des aliments riches en vitamine C afin d'optimiser l'assimilation du fer.

3. Les précautions d'emploi

La spiruline, qui dispose d'un taux important en ADN et ARN, pourrait contribuer à un dépôt excessif de cristaux d'oxalate de calcium dans les articulations (dû à la dégradation de ces acides nucléiques en acide urique) et donc au déclenchement d'une crise de goutte ou de calculs rénaux. Le pharmacien peut donc conseiller au patient de prendre un avis médical avant toute supplémentation en spiruline, en cas d'antécédents de calculs rénaux ou de crise de goutte.

Plusieurs études scientifiques sont sorties dans les années 2000 sur l'effet potentiellement nocif d'une supplémentation en bêta-carotène chez les fumeurs. Celui-ci, consommé à forte dose quotidiennement à l'aide de compléments multivitaminés, semblerait augmenter le risque de développer un cancer du poumon chez les fumeurs (165).

Ce phénomène est décrit pour des doses pharmacologiques élevées, jusqu'à plus de 20 milligrammes par jour et avec un bêta-carotène de synthèse. Suite à ces hypothèses, la commission européenne a invité l'EFSA à lancer une méta-analyse sur la supplémentation en

bêta-carotène chez les fumeurs afin d'en tirer des conclusions plus claires face à des études parfois contradictoires.

En 2012, l'EFSA rend son avis : une consommation supérieure à 20 milligrammes par jour de bêta-carotène chez un fumeur est un facteur de risque de développer un cancer du poumon. Puis consommer des doses entre 6 et 15 milligrammes de bêta-carotène par jour n'augmente pas l'incidence du cancer du poumon chez les grands fumeurs (166).

Vient alors se poser la question, chez les fumeurs, de la consommation de spiruline, dans laquelle du bêta-carotène est retrouvé.

Pour une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline, 5,5 milligrammes de bêta-carotène y sont retrouvés. D'après les conclusions de l'EFSA, une prise quotidienne de 5 grammes de spiruline ne semble donc pas présenter un risque plus élevé de développer un cancer du poumon chez les grands fumeurs.

Une attention particulière est à porter aux personnes souffrant de pathologies auto-immunes comme la sclérose en plaque, le lupus érythémateux ou encore la polyarthrite rhumatoïde ; pathologies où le système immunitaire est hyperactif. En effet, la spiruline ayant la capacité de stimuler ce système immunitaire, elle peut alors aggraver les différents symptômes dus à ce type de pathologie. Le pharmacien devra plutôt déconseiller au patient l'automédication à base de spiruline et l'orienter vers un avis médical.

La phénylcétonurie est une pathologie génétique dans laquelle l'enzyme phénylalanine hydroxylase est déficitaire. Le manque de cette enzyme, qui transforme la phénylalanine en tyrosine, conduit à donc une augmentation du taux de phénylalanine dans le sang qui s'avère toxique pour le cerveau.

La prise en charge de cette pathologie consiste, entre autres, à adopter un régime diététique contrôlé en cet acide aminé. La spiruline, contenant cette phénylalanine en quantité non négligeable est donc contre-indiquée chez les patients atteints de phénylcétonurie.(4)

L'hémochromatose est une maladie héréditaire rare qui se caractérise par une hyperabsorption du fer au niveau intestinal. Son accumulation dans l'organisme peut s'avérer délétère au niveau pancréatique, articulaire ou encore hépatique. Le pharmacien doit donc porter une attention particulière chez les patients souffrant de cette pathologie, pour lesquels un apport supplémentaire en fer n'apparaît pas recommandé(87). Une consultation médicale est alors à envisager avant toute supplémentation en spiruline.

4. Les effets indésirables

La spiruline est reconnue comme denrée alimentaire en France. A ce titre, elle n'est pas inscrite à la Pharmacopée Française et il n'existe aucune évaluation du risque de la part des instances comme l'ANSM ou l'EFSA.

Au cours de l'année 2017, le dispositif de nutrivigilance de l'ANSES a reçu des signalements d'effets indésirables possiblement imputés à la prise de compléments alimentaires contenant de la spiruline. Ces effets sont de nature très variée et les quantités consommées pouvant être impliquées ne sont pas connues avec précision.

En respectant la dose journalière recommandée de cinq grammes, la spiruline ne semble pas présenter de risque sanitaire expliquant les différents effets indésirables déclarés.

D'après l'ANSES et diverses autres revues scientifiques, ces effets indésirables semblent plutôt être en lien avec le fait que la spiruline composant un certain nombre de compléments alimentaires, ait la possibilité d'être contaminée par des métaux, des bactéries ou des cyanotoxines.

C'est pourquoi l'ANSES conseille de consommer des compléments alimentaires à base de spiruline issus de filières contrôlées par les autorités publiques françaises permettant une identification du fabricant, une traçabilité et un contrôle des matières premières (6).

Dans le cas d'effets indésirables rapportés par un patient et potentiellement associés à la consommation de spiruline, le pharmacien, comme tout professionnel de santé, se doit de transmettre l'information au service de nutrivigilance de l'ANSES.

5. Les interactions médicamenteuses

Une des situations demandant une précaution particulière est celle des patients sous anti-vitamines K (AVK).

La spiruline, qui contient de la vitamine K et pour laquelle une certaine activité antiplaquettaire a aussi été décrite, pourrait donc déstabiliser le traitement anticoagulant du patient d'autant plus si l'INR est difficile à équilibrer.

Le pharmacien devra alors conseiller au patient de prendre un avis médical avant toute supplémentation en spiruline.

La spiruline, de par son action immunostimulante, pourrait présenter un risque potentiel d'interaction avec les immunosuppresseurs en diminuant l'efficacité de ces derniers. Aucune donnée dans la littérature n'est disponible à ce jour (167).

Mais au vu du manque de données et par mesure de précaution, la spiruline semble plutôt à éviter chez les patients sous immunosuppresseurs tant que des études scientifiques ne montreront pas la non-interaction de la spiruline sur l'efficacité de ce type de médicament.

6. Les conseils d'utilisation et de conservation

Lors de la délivrance de spiruline, le pharmacien a tout intérêt à rappeler au patient quelques conseils d'utilisation et de conservation.

La spiruline ne doit pas être cuite au risque de perdre la qualité de ses composants. Elle peut être saupoudrée dans des plats froids, dans des yaourts, smoothies, compotes (...) ou être consommée seule, en association à une boisson possiblement riche en vitamine C.

La spiruline doit également être conservée dans un endroit sec, à température ambiante, à l'abri de la lumière et dans un sachet opaque fermé.

En effet, la lumière et la chaleur (cuisson) sont deux facteurs pouvant conduire à la destruction des composés antioxydants de la spiruline (168). Si toutes ces modalités de conservation sont respectées, la spiruline peut alors être utilisée pendant deux années.

VIII. Aliment, alicament, complément alimentaire et médicament

1. Définitions

Dans la littérature, un certain nombre de termes et termes génériques existent pour désigner les aliments, les compléments alimentaires ou les médicaments, avec le risque d'une mauvaise utilisation de ceux-ci.

a. Aliment et alicament

Ce qui est appelé « aliment » ou « denrée alimentaire » est défini par l'article 2 de la réglementation 178/2002 du Parlement européen et du Conseil : « *Toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain* » (169).

Les alicaments n'ont à l'heure actuelle pas de définition juridique. Ils sont le résultat d'une contraction du terme « aliment » et du terme « médicament ». L'aliment pourrait être perçu comme la somme des propriétés d'un aliment et celles d'un médicament. Les instances n'ayant pas encore donné de définition précise pour le moment, l'aliment pourrait donc se voir présenté comme un complément alimentaire répondant toutefois à l'allégation « maladie ». La position de cet alicament est donc tendancieuse, pouvant faire le lit d'un nouveau « business » de la part des industriels en tendant vers une allégation abusive pour la santé (170).

b. Complément alimentaire

Avant 2002, la définition du complément alimentaire pouvait répondre à celle d'aliment et la frontière entre les deux était difficile à établir. Certains industriels ont profité de ces faiblesses et imprécisions dans ces définitions pour mettre sur le marché des produits dont le statut était tendancieux. C'est pour cela qu'une nouvelle définition du complément alimentaire a été établie après 2002 (171).

La Code de la Santé Publique définit dans son décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires que ceux-ci sont des « *denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments*

ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés, commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité » (172).

Cependant, certains termes de cette définition restent à préciser. Par exemple, en parlant de nutriments, le Code de la Santé Publique pense essentiellement aux vitamines et aux minéraux.

Les substances à but nutritionnel ou physiologique correspondent quant à elle à des « *substances chimiquement définies possédant des propriétés nutritionnelles ou physiologique à l'exception des vitamines et des minéraux et des substances possédant des propriétés exclusivement pharmacologiques* ».

Les « plantes et préparations de plantes » peuvent constituer un ingrédient des compléments alimentaires, à l'exclusion des plantes ou des préparations de plantes possédant des propriétés pharmacologiques et destinées à un usage exclusivement thérapeutique (172).

c. Le médicament

D'un point de vue législatif, le Code de la Santé Publique définit à l'article L5111-1 le médicament comme « *toute substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales, ainsi que toute substance ou composition pouvant être utilisée chez l'homme ou chez l'animal ou pouvant leur être administrée, en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier leurs fonctions physiologiques en exerçant une action pharmacologique, immunologique ou métabolique* ».

Sont notamment considérés comme des médicaments les « *produits diététiques qui renferment dans leur composition des substances chimiques ou biologiques ne constituant pas elles-mêmes des aliments, mais dont la présence confère à ces produits, soit des propriétés spéciales recherchées en thérapeutique diététique, soit des propriétés de repas d'épreuve* » (173).

2. Différences entre complément alimentaire et médicament

Une confusion est souvent faite par le grand public entre les compléments alimentaires et les médicaments. Pourtant, ceux-ci sont loin d'être similaires notamment d'un point de vue fonctionnel et juridique (*Illustration 27*).

La grande différence qu'il existe entre médicament et complément alimentaire est que ce dernier ne prétend pas prévenir, soulager, traiter ou encore guérir des maladies : il n'est d'ailleurs pas soumis à l'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Seul le processus de fabrication est surveillé mais les contrôles sur son efficacité et sa toxicité n'ont pas lieu, au contraire des médicaments.

La fabrication des compléments alimentaires semble soumise aux mêmes règles que celle des produits alimentaires : il faut par exemple signaler les additifs employés, les risques d'allergie et respecter le seuil de certains taux (pesticides, OGM...).

Pour tout médicament, une demande d'AMM est à faire alors que pour les compléments alimentaires, une déclaration est à réaliser auprès de la DGCCRF.

Le médicament se voit alors attribué un code CIP alors que le complément alimentaire est désigné par un code ACL.

L'intérêt pharmaceutique pour un médicament est déterminé par des indications alors que le terme d'allégations sera préféré pour les compléments alimentaires.

Par ailleurs, les compléments alimentaires contiennent des substances non brevetées au contraire des médicaments pour qui la recherche et le développement prennent de nombreuses années et dont le brevet permet une commercialisation exclusive pendant un temps normalement suffisant pour rembourser le coût de toutes ces années d'étude.

Puis, pour des substances identiques (vitamines ou minéraux par exemple), les dosages autorisés sont différents d'un médicament au complément alimentaire. Il est important de prêter une attention particulière aux dosages qui y sont retrouvés car certains compléments alimentaires analysés ont déjà révélé des taux plus élevés que dans certains médicaments, dépassant parfois les normes autorisées.

Une autre différence est que les compléments alimentaires ne sont jamais pris en charge par la sécurité sociale à l'inverse de certains médicaments qui peuvent l'être, à hauteur de différents pourcentages.

Pour finir, le médicament fait partie du monopole pharmaceutique alors que ce n'est pas le cas pour le complément alimentaire.

| | Complément alimentaire | Médicament |
|--|--|---|
| Action visée | Compléter le régime alimentaire normal | Propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales |
| Mise sur le marché | Déclaration à la DGCCRF | Demande d'AMM |
| Désignation | Code ACL | Code CIP |
| Intérêt pharmaceutique | Allégations | Indications |
| Brevet | Non breveté | Breveté |
| Dosages | Dosages différents | |
| Prise en charge par la sécurité sociale | Non | Dépend du type de médicament |
| Monopole pharmaceutique | Non | Oui |

Illustration 27 : Tableau comparatif, complément alimentaire vs médicament, par Isabelle Laurent

3. La spiruline en tant que complément alimentaire

Aujourd'hui, bon nombre de compléments alimentaires sont préparés à base de spiruline. La spiruline peut être vue avec deux types d'effets : un effet « nutritionnel » et un « effet sur la santé ».

Dans le cas d'un effet nutritionnel, les allégations utilisées pourront toucher à l'apport en protéines ou en vitamines, de par sa riche composition naturelle.

Toutefois, les carences vitaminiques et protéiques dans les pays industrialisés restent assez faibles mis à part pour certaines populations plus fragiles ou aux régimes stricts. La spiruline peut alors s'avérer bénéfique pour les populations en état de carence avérée, réduisant toutefois le panel de consommateurs concernés.

L'autre facette de la spiruline est celle de l'aspect fonctionnel qu'elle peut apporter dans la prévention de diverses pathologies comme le diabète, les pathologies neurologiques ou les troubles cardio-vasculaires. La spiruline pourrait à ce moment être destinée à un public plus grand et plus varié que pour son aspect nutritionnel seul.

Toutefois, la spiruline peut-elle répondre au statut de complément alimentaire de par sa composition ? Il faut alors se référer à ce que dit la loi en matière de composition des compléments alimentaires.

a. Critère de composition

La composition des compléments alimentaires est réglementée par l'article 4 du décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif à la composition des compléments alimentaires.

Ainsi, peuvent y être retrouvés : les « *nutriments définis au 2° de l'article 2, c'est-à-dire les vitamines et les minéraux ; les substances à but nutritionnel ou physiologique définis au 3° de l'article 2, c'est-à-dire les substances chimiquement définies autres que vitamines et minéraux; les plantes et les préparations de plantes définies au 4° de l'article 2, incluant tous les végétaux au sens large (champignons, algues, microalgues...)* ; les autres ingrédients dont l'utilisation en alimentation humaine est traditionnelle ou reconnue comme telle au sens du règlement du 27 janvier 1997 susvisé, ou autorisés conformément à ce règlement ; les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en alimentation humaine » (172).

De plus, d'après l'arrêté du 9 mai 2006 relatif aux nutriments pouvant être employés dans la fabrication des compléments alimentaires, seuls certains vitamines et minéraux sont autorisés à la composition des compléments alimentaires et aux quantités bien définies (*Illustration 28*) (174).

| | Types | Quantités journalières autorisées |
|------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Vitamines | Vitamine A | 800 µg |
| | Vitamine D | 5 µg |
| | Vitamine E | 30 mg |
| | Vitamine K | 25 µg |
| | Vitamine B1 | 4,2 mg |
| | Vitamine B2 | 4,8 mg |
| | Niacine | 62 mg |
| | Acide pantothénique | 18 mg |
| | Vitamine B6 | 2 mg |
| | Folates | 200 µg |
| | Vitamine B12 | 3 µg |
| | Biotine | 450 µg |
| | Vitamine C | 180 mg |
| | Calcium | 800 mg |
| | Magnésium | 300 mg |

| Minéraux | | |
|----------|-----------|---|
| | Fer | 14 mg |
| | Cuivre | 2 000 µg |
| | Iode | 150 µg |
| | Zinc | 15 mg |
| | Manganèse | 3,5 mg |
| | Sodium | quantum satis en fonction de la quantité apportée par les anions |
| | Potassium | 80 mg |
| | Sélénium | 50 µg |
| | Chrome | 25 µg |
| | Molybdène | 150 µg |
| | Fluorure | 0 mg |
| | Chlorure | quantum satis en fonction de la quantité apportée par les cations |
| | Phosphore | 450 mg |

Illustration 28 : Vitamines et minéraux autorisés à la composition des compléments alimentaires

Tous les vitamines et minéraux présents dans la spiruline font partie de la liste de ceux autorisés par les ministres chargés de la consommation, de l'agriculture et de la santé, pour la fabrication de compléments alimentaires. La spiruline peut donc répondre au statut de complément alimentaire au vu de sa composition en vitamines et minéraux.

Toutefois, la quantité journalière de vitamine K préconisée par les instances est inférieure à celle retrouvée dans l'échantillon de spiruline choisi pour illustrer cette thèse (*Illustration 5*). Les autres vitamines et minéraux rentrent dans les normes fixées par l'arrêté.

Chaque lot commercialisé devrait théoriquement répondre à ces exigences (types et quantités), au risque de se voir refuser le statut de complément alimentaire.

b. Critère d'allégations

Les compléments alimentaires mettent en avant des allégations nutritionnelles ou des allégations de santé. Il s'agit notamment de mentions ou d'images valorisant un certain type de denrée alimentaire.

Ces mentions sont désormais contrôlées par un règlement européen afin d'assurer « *une information loyale en matière de santé aux consommateurs européens et d'assurer une concurrence saine entre les opérateurs du secteur* » (175).

L'autorité Européenne de Sécurité des Aliments (AESAs) évalue maintenant scientifiquement les allégations proposées. Si celles-ci sont acceptées, elles sont publiées au règlement et utilisables par le secteur de l'industrie.

En France, la DGCCRF se charge d'examiner les dossiers de demande d'allégations et de les transmettre à l'AESA. La DGCCRF est également responsable de la mise en œuvre et du respect de ce règlement sur le territoire Français.

Les allégations nutritionnelles pour la spiruline consommée en tant que complément alimentaire pourraient par exemple être : « riche en protéines » ou « riche en vitamines ». Mais le risque des allégations de santé ou allégations de santé génériques telles que « bon pour le cœur », « renforce le système immunitaire », « lutte contre la fatigue » (...) est de faire passer la spiruline pour un médicament par présentation.

La frontière entre les deux est fragile et c'est pourquoi chacun des compléments alimentaires, notamment à base de spiruline, doit avoir une allégation qui a été contrôlée et approuvée par l'AESA.

c. Discussion

A l'heure actuelle, la spiruline peut répondre à la définition d'aliment et de complément alimentaire.

Pour autant, nous avons vu que la frontière entre médicament et complément alimentaire est frêle et que certaines allégations peuvent tendre à faire passer certains compléments alimentaires pour des médicaments.

Les essais cliniques répertoriés précédemment tendent à démontrer des effets préventifs de la spiruline à l'égard de certaines pathologies.

Dans ce cas, nous nous rapprochons sûrement de la définition du médicament aux « propriétés curatives et préventives ».

Un nouveau statut serait-il à définir pour les alicaments tels que la spiruline ? Une nouvelle réglementation serait-elle à mettre en place quant à la distribution de la spiruline ?

IX. Conclusion

Consommée depuis plusieurs siècles avant nous, *Spirulina platensis*, l'espèce la plus répandue de spiruline, est une cyanobactérie appartenant au grand groupe des algues bleues. A l'état naturel, elle est essentiellement retrouvée dans des eaux saumâtres, alcalines et chaudes en Afrique ou en Amérique Centrale.

Riche en vitamines, protéines, lipides, minéraux ou encore oligo-éléments : elle constitue un aliment extrêmement complet pour les populations des pays en voie de développement. Elle y est utilisée pour sa valeur nutritionnelle afin de lutter contre la malnutrition qui sévit dans les pays du Tiers Monde.

Dans les pays développés, elle sera utilisée plutôt pour compléter un régime alimentaire et aura vocation de prévention. De plus en plus mise en avant dans les magasins biologiques et les médias, la spiruline est souvent présentée comme « une algue aux mille vertus ». Exposée comme complément alimentaire, un potentiel économique et commercial se dessine avec un risque de prôner des activités inexactes et finalement de tromper les consommateurs.

L'objectif de cette thèse était donc de faire un état des lieux sur les connaissances scientifiques actuelles car le pharmacien d'officine est un professionnel de santé de proximité et facilement accessible vers lequel les patients se tournent aisément pour tout un tas de questions relatives à leur santé. Au-delà de sa connaissance pharmaceutique, il est utile pour lui de pouvoir répondre à certaines interrogations ou du moins, informer les patients sur des sujets de nature scientifique. La spiruline qui est un élément de plus en plus médiatisé, fait partie d'un de ces sujets auquel le pharmacien est d'ores et déjà confronté au comptoir et pour lequel il se doit d'apporter une information en accord avec les connaissances actuelles.

Finalement, de par sa composition naturelle, la spiruline semble présenter un effet stimulant sur le système immunitaire et permet une meilleure résistance aux attaques extérieures et notamment virales. Elle disposerait également d'une activité positive sur la gestion de certains troubles digestifs en stimulant la digestion et en protégeant la flore intestinale. Puis, en jouant sur certains paramètres comme le cholestérol et les membranes cellulaires, elle aurait un rôle préventif dans les maladies cardio-vasculaires. Avec son activité hypoglycémiante, elle aurait une utilité dans la prévention des diabètes de type 1 et 2 et pourrait accompagner leur prise en charge. Largement reconnue comme antioxydante, la spiruline interviendrait aussi dans la prévention des pathologies du système nerveux central comme les maladies de Parkinson ou d'Alzheimer. Des essais sont également prometteurs sur la gestion des troubles allergiques en opérant sur les taux d'immunoglobulines E.

En plus de son activité dans les pathologies citées précédemment, elle est un élément adapté pour compléter le régime alimentaire de certaines populations cibles comme : les adolescents, les sportifs, les personnes âgées, les personnes au régime strict (végétarien, vegan) ou encore les animaux.

Il existe cependant quelques précautions d'emploi et c'est pourquoi le rôle du pharmacien est essentiel et pourra éventuellement orienter vers un avis médical avant toute supplémentation. En effet, les personnes qui souffrent de goutte, de pathologies auto-immunes, de phénylcétonurie ou encore d'hémochromatose sont des populations sensibles à qui la consommation de spiruline n'est pas adaptée. De même, les personnes sous anticoagulant oral ou sous immunosuppresseur ne doivent pas consommer l'algue sans avis médical.

Certains effets indésirables ont été décrits dans un rapport de nutrivigilance émis par l'ANSES. Cependant, il n'est pas possible de confirmer que la spiruline est responsable de ces effets aux doses recommandées. En effet, s'agissant d'une cyanobactérie, elle est susceptible d'accumuler certains métaux lourds ou cyanotoxines présents à l'endroit de son lieu de production et qui peuvent être la cause de ces effets indésirables. C'est pourquoi il est essentiel que le consommateur puisse identifier l'origine de la spiruline afin de déterminer si elle est issue d'un circuit contrôlé respectant les normes sanitaires.

La spiruline dispose à l'heure actuelle d'un statut de complément alimentaire. De par les essais cliniques in vitro déjà été publiés et qui semblent prometteurs, il serait appréciable que d'autres essais à grande échelle soient mis en œuvre afin de vérifier ses activités thérapeutiques.

Peut-être passera-t-elle un jour au statut de médicament ? Peut-être les études à venir nous démontreront-elles des propriétés curatives qui feront basculer la spiruline dans le domaine du médicament ?

BIBLIOGRAPHIE

1. Dupire J. La spiruline un superaliment. Guy Trédaniel; 2016. 151 p.
2. Guide P. La spiruline et ses bienfaits: Les vertus de l'algue bleu-vert. Éditions Aedis; 2015. 21 p.
3. Vidal J. Spiruline, l'algue bleue de santé et de prévention. Dauphin. 2014. 350 p.
4. Le guehennec J. La spiruline. Terre d'hommes. 2009. 180 p.
5. Spirul'In Vosges [Internet]. [cité 24 mars 2019]. Disponible sur: <https://spirul-in-vosges.fr/fr/>
6. ANSES. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux «risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline». Maisons-Alfort: ANSES; 2017 août. Report No.: Saisine n° 2014-SA-0096.
7. Crépeau C. Les vertus miraculeuses des algues. Pocket. 2014. 134 p.
8. Jean B. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e ed.). Lavoisier; 2009. 1289 p.
9. Lacoste S. Les plantes qui guérissent: Les secrets de la phytothérapie. À utiliser en tisanes, ampoules, gélules, etc. Éditions Leduc.s; 2015. 512 p.
10. Ngo-Matip M-E, Pieme CA, Azabji-Kenfack M, Moukette BM, Korosky E, Stefanini P, et al. Impact of daily supplementation of *Spirulina platensis* on the immune system of naïve HIV-1 patients in Cameroon: a 12-months single blind, randomized, multicenter trial. *Nutr J* [Internet]. 21 juill 2015 [cité 11 juin 2018];14. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4508814/>
11. Lin C-Y, Huang P-J, Chao C-Y. *Chlorella* protects against hydrogen peroxide-induced pancreatic β -cell damage. *J Med Food*. déc 2014;17(12):1273-80.
12. Soleimani M, Habibi-Pirkoochi M. Biosynthesis of Silver Nanoparticles using *Chlorella vulgaris* and Evaluation of the Antibacterial Efficacy Against *Staphylococcus aureus*. *Avicenna J Med Biotechnol*. sept 2017;9(3):120-5.
13. Zhang Z-D, Liang K, Li K, Wang G-Q, Zhang K-W, Cai L, et al. *Chlorella vulgaris* Induces Apoptosis of Human Non-Small Cell Lung Carcinoma (NSCLC) Cells. *Med Chem Shariqah United Arab Emir*. 2017;13(6):560-8.
14. Burney M, Mathew L, Gaikwad A, Nugent EK, Gonzalez AO, Smith JA. Evaluation Fucoidan Extracts From *Undaria pinnatifida* and *Fucus vesiculosus* in Combination With Anticancer Drugs in Human Cancer Orthotopic Mouse Models. *Integr Cancer Ther*. 1 nov 2017;1534735417740631.
15. Zhu Y, Cheng J, Min Z, Yin T, Zhang R, Zhang W, et al. Effects of fucoxanthin on autophagy and apoptosis in SGC-7901 cells and the mechanism. *J Cell Biochem*. 15 mai 2018;
16. Phull A-R, Majid M, Haq I-U, Khan MR, Kim SJ. In vitro and in vivo evaluation of anti-arthritic, antioxidant efficacy of fucoidan from *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar. *Int J Biol Macromol*. avr 2017;97:468-80.
17. Li X, Li J, Li Z, Sang Y, Niu Y, Zhang Q, et al. Fucoidan from *Undaria pinnatifida* prevents vascular dysfunction through PI3K/Akt/eNOS-dependent mechanisms in the l-NAME-induced hypertensive rat model. *Food Funct*. 18 mai 2016;7(5):2398-408.
18. Min S-K, Han S-M, Jang J-S, Kim J-K. Stimulatory effect of an algal fucoidan on the release of vascular endothelial tissue-type plasminogen activator as a mechanism of fucoidan-mediated thrombolysis. *Blood Coagul Fibrinolysis Int J Haemost Thromb*. juill 2016;27(5):594-6.
19. Sibi G. Inhibition of lipase and inflammatory mediators by *Chlorella* lipid extracts for antiacne treatment. *J Adv Pharm Technol Res*. mars 2015;6(1):7-12.
20. Park J-H, Choi S-H, Park S-J, Lee YJ, Park JH, Song PH, et al. Promoting Wound Healing Using Low Molecular Weight Fucoidan in a Full-Thickness Dermal Excision Rat Model. *Mar Drugs*. 7 avr 2017;15(4).
21. Park KS, Park DH. Comparison of *Saccharina japonica*-*Undaria pinnatifida* Mixture and Minoxidil on Hair Growth Promoting Effect in Mice. *Arch Plast Surg*. nov 2016;43(6):498-505.
22. Byeon SY, Cho MK, Shim KH, Kim HJ, Song HG, Shin HS. Development of a *Spirulina* Extract/Alginate-Imbedded PCL Nanofibrous Cosmetic Patch. *J Microbiol Biotechnol*. 28 sept 2017;27(9):1657-63.
23. Yogiarti F, Kunisada M, Nakano E, Ono R, Sakumi K, Oka S, et al. Inhibitory effects of dietary *Spirulina platensis* on UVB-induced skin inflammatory responses and carcinogenesis. *J Invest Dermatol*. oct 2014;134(10):2610-9.

24. Kim KM, Lee JY, Im A-R, Chae S. Phycocyanin Protects Against UVB-induced Apoptosis Through the PKC α/β II-Nrf-2/HO-1 Dependent Pathway in Human Primary Skin Cells. *Mol Basel Switz.* 22 févr 2018;23(2).
25. Gunes S, Tamburaci S, Dalay MC, Deliloglu Gurhan I. In vitro evaluation of Spirulina platensis extract incorporated skin cream with its wound healing and antioxidant activities. *Pharm Biol.* déc 2017;55(1):1824-32.
26. ANSES. Les protéines | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 5 nov 2017]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-prot%C3%A9ines>
27. Collège des enseignants de nutrition. Métabolisme protéique [Internet]. Campus Nutrition. [cité 5 nov 2017]. Disponible sur: http://campus.cerimes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_8/site/html/6.html
28. Laval Legrain G, Legrain B. Les incroyables vertus de la spiruline. Jouvence. 2013. 140 p.
29. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *J Nutr.* juill 2000;130(7):1865S-7S.
30. Guéguen J, Walrand S, Bourgeois O. Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cah Nutr Diététique.* sept 2016;51(4):177-85.
31. Andrés E, Serraj K, Mecili M, Ciobanu E, Fothergill H. Excès vitaminiques et hypervitaminoses. *Médecine Thérapeutique.* 2010;16(1):21-24.
32. Festy D, Dufour A. Guide des vitamines et des oligo-éléments. Hachette Pratique; 2005. 409 p.
33. Nations F and AO of the U. Gestion des programmes de terrain: Alimentation, nutrition et développement. Food & Agriculture Org.; 2002. 267 p.
34. ANSES. Vitamine A & caroténoïdes provitaminiques | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 15 nov 2017]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-carot%C3%A9no%C3%AFdes-provitaminiques>
35. Landry Y, Gies J-P. Pharmacologie - 3e édition: Des cibles à la thérapeutique. Dunod; 2014. 512 p.
36. Sguera S. Spirulina Platensis et ses constituants: intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques [Internet]. [Nancy]: Université de Lorraine; 2008. Disponible sur: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_T_2008_SGUERA_SEBASTIEN.pdf
37. Richmond A. Mass Culture of Cyanobacteria. In: Photosynthetic Prokaryotes [Internet]. Springer, Boston, MA; 1992 [cité 30 janv 2018]. p. 181-208. (Biotechnology Handbooks). Disponible sur: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-1332-9_6
38. Cynober L, Fricker J. La vérité sur les compléments alimentaires. Odile Jacob;
39. Kumudha A, Kumar SS, Thakur MS, Ravishankar GA, Sarada R. Purification, identification, and characterization of methylcobalamin from Spirulina platensis. *J Agric Food Chem.* 22 sept 2010;58(18):9925-30.
40. Caroténoïde - EurekaSanté par VIDAL [Internet]. EurekaSanté. [cité 11 mars 2019]. Disponible sur: <https://eurekasante.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/carotenoide.html>
41. Annapurna V, Shah N, Bhaskaram P, S. Bamji M, Reddy V. Bioavailability of Spirulina Carotenes in Preschool Children. *J Clin Biochem Nutr.* 1 janv 1991;10:145-51.
42. Ranga Rao A, Raghunath Reddy RL, Baskaran V, Sarada R, Ravishankar GA. Characterization of microalgal carotenoids by mass spectrometry and their bioavailability and antioxidant properties elucidated in rat model. *J Agric Food Chem.* 11 août 2010;58(15):8553-9.
43. Société Chimique de France. Chlorophylles [Internet]. 2018. Disponible sur: <http://www.societechimiquedefrance.fr/chlorophylles.html>
44. Richard Kozlenko RHH. Latest Scientific Research on Spirulina: Effects on the AIDS Virus, Cancer and the Immune System. 1998.
45. Rimbau V, Camins A, Romay C, González R, Pallàs M. Protective effects of C-phycoerythrin against kainic acid-induced neuronal damage in rat hippocampus. *Neurosci Lett.* 3 déc 1999;276(2):75-8.
46. Gershwin ME, Belay A. Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press; 2007. 328 p.
47. Gad AS, Khadrawy YA, El-Nekeety AA, Mohamed SR, Hassan NS, Abdel-Wahhab MA. Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and Spirulina in rats. *Nutr Burbank Los Angel Cty Calif.* mai 2011;27(5):582-9.

48. Vadiraja BB, Gaikwad NW, Madyastha KM. Hepatoprotective effect of C-phycoerythrin: protection for carbon tetrachloride and R-(+)-pulegone-mediated hepatotoxicity in rats. *Biochem Biophys Res Commun.* 19 août 1998;249(2):428-31.
49. Romay C, Armesto J, Ramirez D, González R, Ledon N, García I. Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoerythrin from blue-green algae. *Inflamm Res Off J Eur Histamine Res Soc Al.* janv 1998;47(1):36-41.
50. González R, Rodríguez S, Romay C, Ancheta O, González A, Armesto J, et al. Anti-inflammatory activity of phycoerythrin extract in acetic acid-induced colitis in rats. *Pharmacol Res.* janv 1999;39(1):55-9.
51. Reddy CM, Bhat VB, Kiranmai G, Reddy MN, Reddanna P, Madyastha KM. Selective inhibition of cyclooxygenase-2 by C-phycoerythrin, a biliprotein from *Spirulina platensis*. *Biochem Biophys Res Commun.* 2 nov 2000;277(3):599-603.
52. Jouzeau J-Y, Daouphars M, Benani A, Netter P. Pharmacologie et classification des inhibiteurs de la cyclooxygénase. *Gastroentérologie Clin Biol.* avr 2004;28:7-17.
53. Afssaps. Mise au point sur la sécurité d'emploi des coxibs. 2004;5.
54. FitzGerald GA, Patrono C. The coxibs, selective inhibitors of cyclooxygenase-2. *N Engl J Med.* 9 août 2001;345(6):433-42.
55. Botham KM, Weil A, Rodwell VW, Kennelly PJ, Bender DA. *Biochimie de Harper.* De Boeck Supérieur; 2017. 843 p.
56. Dayan FD Emilie. Les porphyrines : les couleurs de la vie. *Pour Sci* [Internet]. 2012 [cité 28 mai 2018]; Disponible sur: <https://www.pourlascience.fr/sd/biochimie/les-porphyrines-les-couleurs-de-la-vie-7100.php>
57. Desai K, Sivakami S. Purification and biochemical characterization of a superoxide dismutase from the soluble fraction of the cyanobacterium, *Spirulina platensis*. *World J Microbiol Biotechnol.* déc 2007;23(12):1661-6.
58. Duan M, Ma WX, Li L, Sun XT. [Determination of micro-elements in natural spirulina using FAAS]. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi Guang Pu.* déc 2001;21(6):868-70.
59. Newnham RE. Essentiality of boron for healthy bones and joints. *Environ Health Perspect.* nov 1994;102 Suppl 7:83-5.
60. Gluschenko N, Vasylyshyn K, Roschupkin A, Lekishvili S, Gladchenko O. The content of microelements in blood serum and erythrocytes in children with diabetes mellitus type I depending on level of glycemic control. *Georgian Med News.* janv 2016;(250):66-71.
61. Lin C-C, Huang Y-L. Chromium, zinc and magnesium status in type 1 diabetes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* nov 2015;18(6):588-92.
62. Rafiei R, Habyby Z, Fouladi L, Najafi S, Asgary S, Torabi Z. Chromium level in prediction of diabetes in pre-diabetic patients. *Adv Biomed Res.* 2014;3:235.
63. Panchal SK, Wanyonyi S, Brown L. Selenium, Vanadium, and Chromium as Micronutrients to Improve Metabolic Syndrome. *Curr Hypertens Rep.* mars 2017;19(3):10.
64. Singh Y, Kumar HD. Adaptation of a strain of *Spirulina platensis* to grow in cobalt- and iodine-enriched media. *J Appl Bacteriol.* févr 1994;76(2):149-54.
65. Bartosiak M, Jankowski K, Giersz J. Determination of cobalt species in nutritional supplements using ICP-OES after microwave-assisted extraction and solid-phase extraction. *J Pharm Biomed Anal.* 5 juin 2018;155:135-40.
66. Dr.S.Ramesh DSR. "Effect of Spirulina on Anthropometry and Bio-Chemical Parameters in School Children". *IOSR J Dent Med Sci.* 2013;7(5):11-5.
67. Puyfoulhoux G, Rouanet J-M, Besançon P, Baroux B, Baccou J-C, Caporiccio B. Iron Availability from Iron-Fortified Spirulina by an in Vitro Digestion/Caco-2 Cell Culture Model. *J Agric Food Chem.* mars 2001;49(3):1625-9.
68. Kapoor R, Mehta U. Iron status and growth of rats fed different dietary iron sources. *Plant Foods Hum Nutr Dordr Neth.* juill 1993;44(1):29-34.
69. Mursu J, Robien K, Harnack LJ, Park K, Jacobs DR. Dietary supplements and mortality rate in older women: the Iowa Women's Health Study. *Arch Intern Med.* 10 oct 2011;171(18):1625-33.
70. Cheng C-G, Hong Q-H, Li D-T, Fan M-H, Cai X-D. [Determination of trace elements in *Spirulina platensis* (Notdst.) Geitl. by flame atomic absorption spectrometry combined with microsampling pulse nebulization technique]. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi Guang Pu.* sept

2006;26(9):1735-7.

71. Zaretskaia ES, Gmoshinskiï IV, Mazo VK, Zorin SN, Aleshko-Ozhevskiï IP. [Essential trace elements distribution in food micro algae *Spirulina platensis* biomass fractions]. *Vopr Pitan.* 2004;73(2):28-31.
72. Kravchenko LV, Gladkikh OL, Gmoshinskiï IV, Mazo VK. [Selenium enriched spirulina and phycocyanin are sources of bioavailable selenium]. *Vopr Pitan.* 2008;77(4):63-5.
73. Li X-L, Wong Y-S, Xu G, Chan JCN. Selenium-enriched *Spirulina* protects INS-1E pancreatic beta cells from human islet amyloid polypeptide-induced apoptosis through suppression of ROS-mediated mitochondrial dysfunction and PI3/AKT pathway. *Eur J Nutr.* juin 2015;54(4):509-22.
74. Fu X, Zhong Z, Hu F, Zhang Y, Li C, Yan P, et al. The protective effects of selenium-enriched *Spirulina platensis* on chronic alcohol-induced liver injury in mice. *Food Funct.* 4 juin 2018;
75. Zhu C, Ling Q, Cai Z, Wang Y, Zhang Y, Hoffmann PR, et al. Selenium-Containing Phycocyanin from Se-Enriched *Spirulina platensis* Reduces Inflammation in Dextran Sulfate Sodium-Induced Colitis by Inhibiting NF- κ B Activation. *J Agric Food Chem.* 22 juin 2016;64(24):5060-70.
76. Zhang H, Chen T, Jiang J, Wong Y-S, Yang F, Zheng W. Selenium-containing allophycocyanin purified from selenium-enriched *Spirulina platensis* attenuates AAPH-induced oxidative stress in human erythrocytes through inhibition of ROS generation. *J Agric Food Chem.* 24 août 2011;59(16):8683-90.
77. Chen T, Wong Y-S. In vitro antioxidant and antiproliferative activities of selenium-containing phycocyanin from selenium-enriched *Spirulina platensis*. *J Agric Food Chem.* 25 juin 2008;56(12):4352-8.
78. Chen T-F, Zheng W-J, Wong Y-S, Yang F. Selenium-induced changes in activities of antioxidant enzymes and content of photosynthetic pigments in *Spirulina platensis*. *J Integr Plant Biol.* janv 2008;50(1):40-8.
79. Wen Y. The study on curative effect of zinc containing spirulina for zinc deficient children. *Cap Med Coll.* 1994;
80. Herberg S. L'étude SU.VI.MAX, un essai contrôlé randomisé, en double aveugle, testant l'effet de la supplémentation en vitamines et minéraux antioxydants sur la santé. /data/revues/00034509/00640006/397/ [Internet]. 20 févr 2008 [cité 4 juin 2018]; Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/87979>
81. Da Costa E, Silva J, Mendonça SH, Abreu MH, Domingues MR. Lipidomic Approaches towards Deciphering Glycolipids from Microalgae as a Reservoir of Bioactive Lipids. *Mar Drugs* [Internet]. 19 mai 2016 [cité 11 juin 2018];14(5). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4882575/>
82. Gustafson KR, Cardellina JH, Fuller RW, Weislow OS, Kiser RF, Snader KM, et al. AIDS-antiviral sulfolipids from cyanobacteria (blue-green algae). *J Natl Cancer Inst.* 16 août 1989;81(16):1254-8.
83. Wang B, Liu Q, Huang Y, Yuan Y, Ma Q, Du M, et al. Extraction of Polysaccharide from *Spirulina* and Evaluation of Its Activities. *Evid-Based Complement Altern Med ECAM.* 2018;2018:3425615.
84. Hayashi T, Hayashi K, Maeda M, Kojima I. Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. *J Nat Prod.* janv 1996;59(1):83-7.
85. Reichert M, Bergmann SM, Hwang J, Buchholz R, Lindenberger C. Antiviral activity of exopolysaccharides from *Arthrospira platensis* against koi herpesvirus. *J Fish Dis.* oct 2017;40(10):1441-50.
86. Pugh N, Ross SA, ElSohly HN, ElSohly MA, Pasco DS. Isolation of three high molecular weight polysaccharide preparations with potent immunostimulatory activity from *Spirulina platensis*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Chlorella pyrenoidosa*. *Planta Med.* nov 2001;67(8):737-42.
87. Manet A. La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine - document.pdf [Internet]. [Faculté de pharmacie Grenoble]; 2016. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01346709/document>
88. OMS. Site officiel de l'Organisation mondiale de la Santé [Internet]. [cité 2 juill 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/fr>
89. Matondo FK, Takaisi K, Nkuadiolandu AB, Kazadi Lukusa A, Aloni MN. *Spirulina* Supplements Improved the Nutritional Status of Undernourished Children Quickly and Significantly: Experience from Kisantu, the Democratic Republic of the Congo. *Int J Pediatr.* 2016;2016:1296414.

90. Dillon J, Phan PA. Spirulina as a source of proteins in human nutrition. BullInstOcéano Monaco. 1993;(12):103-7.
91. Simpure J, Zongo F, Kabore F, Dansou D, Bere A, Nikiema J-B, et al. Nutrition rehabilitation of HIV-infected and HIV-negative undernourished children utilizing spirulina. Ann Nutr Metab. déc 2005;49(6):373-80.
92. Seshadri CV. Large Scale Nutritional Supplementation with Spirulina Alga (LSNS): 1991-93. Shri AMM Murugappa Chettiar Research Centre; 1993. 72 p.
93. Invs, Inps, Ors Ile de France. Alimentation et état nutritionnel des bénéficiaires de l'aide alimentaire-Etude Abena 2011-2012 et évolutions depuis 2004-2005. 2013.
94. Sherwood L. Physiologie humaine. De Boeck Supérieur; 2015. 712 p.
95. Dupont DP. Les oligo-éléments: équilibre vital. Diffusion rosicrucienne; 2014. 301 p.
96. Revillard J-P. Immunologie. 4ème édition. De Boeck Supérieur; 2001. 604 p.
97. Yu W, Wen G, Lin H, Yang Y, Huang X, Zhou C, et al. Effects of dietary Spirulina platensis on growth performance, hematological and serum biochemical parameters, hepatic antioxidant status, immune responses and disease resistance of Coral trout *Plectropomus leopardus* (Lacepede, 1802). Fish Shellfish Immunol. mars 2018;74:649-55.
98. Mahmoud MMA, El-Lamie MMM, Kilany OE, Dessouki AA. Spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens*. Fish Shellfish Immunol. 1 janv 2018;72:291-300.
99. Willem DJ-P. Les dégâts des métaux lourds: Prévention et détoxification naturelle. Guy Trédaniel; 2014. 189 p.
100. Guide P. La spiruline et ses bienfaits: Les vertus de l'algue bleu-vert... Éditions Aedis; 2015. 21 p.
101. Haddad PS, Azar GA, Groom S, Boivin M. Natural Health Products, Modulation of Immune Function and Prevention of Chronic Diseases. Evid Based Complement Alternat Med. déc 2005;2(4):513-20.
102. Szajewska H, Mrukowicz JZ. Probiotics in the treatment and prevention of acute infectious diarrhea in infants and children: a systematic review of published randomized, double-blind, placebo-controlled trials. J Pediatr Gastroenterol Nutr. oct 2001;33 Suppl 2:S17-25.
103. Tokai Y. Effects of spirulina on caecum content in rats. [cité 16 janv 2018]; Disponible sur: <http://www.spirulinasource.com/library/health-library/lactobacillus-improvement/>
104. Rousseaux C, Thuru X, Gelot A, Barnich N, Neut C, Dubuquoy L, et al. Lactobacillus acidophilus modulates intestinal pain and induces opioid and cannabinoid receptors. Nat Med. janv 2007;13(1):35-7.
105. Mohammed A A, Mohammed A N, Hassan Als A, Abdullah A N. Effects of Chlorophyll on Body Functioning and Blood Glucose Levels. Asian J Clin Nutr. 15 mars 2017;9(2):64-70.
106. Ministère de l'Emploi et de Solidarité. Ministère délégué à la Santé. Paris. FRA. Programme national de réduction des risques cardiovasculaires 2002-2005. Paris: Ministère de l'emploi et de la solidarité; 2002 p. 30p.
107. Cohen Z, Norman HA, Heimer YM. Microalgae as a source of omega 3 fatty acids. World Rev Nutr Diet. 1995;77:1-31.
108. Sano T, Tanaka Y. Effect of dried, powdered *Chlorella vulgaris* on experimental atherosclerosis and alimentary hypercholesterolemia in cholesterol-fed rabbits. Artery. 1987;14(2):76-84.
109. Huang J, Bai S, Hu Z, Yang C, Zhu D, Shi J. [Effects of spirulina on serum lipids, erythrocyte membrane fluidity and vascular endothelial cells in tail-suspended rats]. Hang Tian Yi Xue Yu Yi Xue Gong Cheng Space Med Med Eng. juin 2003;16(3):184-6.
110. Seo Y-J, Kim K-J, Choi J, Koh E-J, Lee B-Y. Spirulina maxima Extract Reduces Obesity through Suppression of Adipogenesis and Activation of Browning in 3T3-L1 Cells and High-Fat Diet-Induced Obese Mice. Nutrients. 1 juin 2018;10(6).
111. Simon JP, Baskaran UL, Shallaiddin KB, Ramalingam G, Evan Prince S. Evidence of antidiabetic activity of Spirulina fusiformis against streptozotocin-induced diabetic Wistar albino rats. 3 Biotech. févr 2018;8(2):129.
112. Nasirian F, Mesbahzadeh B, Maleki SA, Mogharnasi M, Kor NM. The effects of oral supplementation of spirulina platensis microalgae on hematological parameters in streptozotocin-

- induced diabetic rats. *Am J Transl Res.* 2017;9(12):5238-44.
113. Lee J, Park A, Kim MJ, Lim H-J, Rha Y-A, Kang H-G. Spirulina Extract Enhanced a Protective Effect in Type 1 Diabetes by Anti-Apoptosis and Anti-ROS Production. *Nutrients.* 15 déc 2017;9(12).
114. Gargouri M, Hamed H, Akrouti A, Dauvergne X, Magné C, El Feki A. Effects of Spirulina platensis on lipid peroxidation, antioxidant defenses, and tissue damage in kidney of alloxan-induced diabetic rats. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* avr 2018;43(4):345-54.
115. Sadek KM, Lebda MA, Nasr SM, Shoukry M. Spirulina platensis prevents hyperglycemia in rats by modulating gluconeogenesis and apoptosis via modification of oxidative stress and MAPK-pathways. *Biomed Pharmacother Biomedecine Pharmacother.* août 2017;92:1085-94.
116. Aissaoui O, Amiali M, Bouzid N, Belkacemi K, Bitam A. Effect of Spirulina platensis ingestion on the abnormal biochemical and oxidative stress parameters in the pancreas and liver of alloxan-induced diabetic rats. *Pharm Biol.* déc 2017;55(1):1304-12.
117. Huang ZX, Mei XT, Xu DH, Xu SB, Lv JY. [Protective effects of polysacchride of Spirulina platensis and Sargassum thunbergii on vascular of alloxan induced diabetic rats]. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi Zhongguo Zhongyao Zazhi China J Chin Mater Medica.* févr 2005;30(3):211-5.
118. Bazureau É. Effets de quatre semaines de complémentation en spiruline sur les fibres musculaires et leurs dommages chez des rats diabétiques. 2017 p. 55.
119. L. Evets, et al. Means to normalize the levels of immunoglobulin E, using the food supplement Spirulina. *Grodenski State Med Univ Russ Fed Comm Pat Trade Pat 19RU 112005486.* 1994;
120. Appel K, Munoz E, Navarrete C, Cruz-Teno C, Biller A, Thiemann E. Immunomodulatory and Inhibitory Effect of Immulina®, and Immunoges® in the Ig-E Mediated Activation of RBL-2H3 Cells. A New Role in Allergic Inflammatory Responses. *Plants Basel Switz.* 26 févr 2018;7(1).
121. Vo TS, Kim Y-S, Ngo DH, Le PU, Kim S-Y, Kim S-K. Spirulina maxima peptides suppress mast cell degranulation via inactivating Akt and MAPKs phosphorylation in RBL-2H3 cells. *Int J Biol Macromol.* 15 oct 2018;118:2224-9.
122. Goffinet A. Anatomie clinique du système nerveux central. Presses universitaires de Namur; 1994. 306 p.
123. Brooker C. Le corps humain: Étude, structure et fonction. De Boeck Supérieur; 2000. 596 p.
124. Riemann D, Feige B, Hornyak M, Koch S, Hohagen F, Voderholzer U. The tryptophan depletion test: impact on sleep in primary insomnia - a pilot study. *Psychiatry Res.* 15 mars 2002;109(2):129-35.
125. Milgram NW, Head E, Zicker SC, Ikeda-Douglas CJ, Murphey H, Muggenburg B, et al. Learning ability in aged beagle dogs is preserved by behavioral enrichment and dietary fortification: a two-year longitudinal study. *Neurobiol Aging.* janv 2005;26(1):77-90.
126. Becher PG, Beuchat J, Gademann K, Jüttner F. Nostocarboline: isolation and synthesis of a new cholinesterase inhibitor from Nostoc 78-12A. *J Nat Prod.* déc 2005;68(12):1793-5.
127. Esposito E, Rotilio D, Di Matteo V, Di Giulio C, Cacchio M, Algeri S. A review of specific dietary antioxidants and the effects on biochemical mechanisms related to neurodegenerative processes. *Neurobiol Aging.* oct 2002;23(5):719-35.
128. Lako J, Craige Trenerry V, Wahlqvist M, Wattanapenpaiboon N, Sotheeswaran S, Premier R. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chem.* 31 déc 2007;101:1727-41.
129. Skrovankova S, Sumczynski D, Mlcek J, Jurikova T, Sochor J. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries. *Int J Mol Sci.* 16 oct 2015;16(10):24673-706.
130. Mercer LD, Kelly BL, Horne MK, Beart PM. Dietary polyphenols protect dopamine neurons from oxidative insults and apoptosis: investigations in primary rat mesencephalic cultures. *Biochem Pharmacol.* 15 janv 2005;69(2):339-45.
131. Strömberg I, Gemma C, Vila J, Bickford PC. Blueberry- and spirulina-enriched diets enhance striatal dopamine recovery and induce a rapid, transient microglia activation after injury of the rat nigrostriatal dopamine system. *Exp Neurol.* déc 2005;196(2):298-307.
132. Bermejo-Bescós P, Piñero-Estrada E, Villar del Fresno ÁM. Neuroprotection by Spirulina platensis protean extract and phycocyanin against iron-induced toxicity in SH-SY5Y neuroblastoma cells. *Toxicol In Vitro.* 1 sept 2008;22(6):1496-502.
133. Chamorro G, Pérez-Albiter M, Serrano-García N, Mares-Sámamo JJ, Rojas P. Spirulina maxima pretreatment partially protects against 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine neurotoxicity. *Nutr Neurosci.* déc 2006;9(5-6):207-12.

134. Wang Y, Chang C-F, Chou J, Chen H-L, Deng X, Harvey BK, et al. Dietary supplementation with blueberries, spinach, or spirulina reduces ischemic brain damage. *Exp Neurol.* mai 2005;193(1):75-84.
135. Macedo D, Bertolin TE, Oro T, Backes LTH, Brás IC, Santos CN, et al. Phycocyanin protects against Alpha-Synuclein toxicity in yeast. *J Funct Foods.* 1 nov 2017;38:553-60.
136. Article - Bulletin épidémiologique hebdomadaire [Internet]. Institut National de Veille Sanitaire. 2017 [cité 21 mai 2018]. Disponible sur: http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2018/8-9/2018_8-9_4.html
137. Tétrachlorométhane (FT 8). Généralités - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. Institut National de Recherche et de Sécurité. [cité 21 mai 2018]. Disponible sur: http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_8
138. Torres-Durán PV, Miranda-Zamora R, Paredes-Carbajal MC, Mascher D, Díaz-Zagoya JC, Juárez-Oropeza MA. Spirulina maxima prevents induction of fatty liver by carbon tetrachloride in the rat. *Biochem Mol Biol Int.* avr 1998;44(4):787-93.
139. Dr Imad GHORAYEB, Dr Sarah HARTLEY, Dr Christelle MONACA, Dr Toni QUERA SALVA, Dr Sylvie ROYANT PAROLA, Dr Marie Françoise VECCHIERINI. MALADIE DE WILLIS-EKBOM.
140. Mousain-Bosc M, Roche M, Rapin J, Bali J-P. Magnesium VitB6 intake reduces central nervous system hyperexcitability in children. *J Am Coll Nutr.* oct 2004;23(5):545S-548S.
141. Nogovitsina OR, Levitina EV. [Effect of MAGNE-B6 on the clinical and biochemical manifestations of the syndrome of attention deficit and hyperactivity in children]. *Eksp Klin Farmakol.* févr 2006;69(1):74-7.
142. Bilici M, Yildirim F, Kandil S, Bekaroğlu M, Yildirmiş S, Değer O, et al. Double-blind, placebo-controlled study of zinc sulfate in the treatment of attention deficit hyperactivity disorder. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* janv 2004;28(1):181-90.
143. Akhondzadeh S, Mohammadi M-R, Khademi M. Zinc sulfate as an adjunct to methylphenidate for the treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children: a double blind and randomized trial [ISRCTN64132371]. *BMC Psychiatry.* 8 avr 2004;4:9.
144. Konofal E, Lecendreux M, Deron J, Marchand M, Cortese S, Zaïm M, et al. Effects of iron supplementation on attention deficit hyperactivity disorder in children. *Pediatr Neurol.* janv 2008;38(1):20-6.
145. Sevulla IAguiree, N. Study On The Effects Of Super Blue Green® Algae. *Univ Cent Am Nicar.* 1995;
146. Wolfe D. *Superaliments: L'alimentation curative de demain.* Macro Editions; 2018. 521 p.
147. Gandhi MJ, Boyd MR, Yi L, Yang GG, Vyas GN. Properties of cyanovirin-N (CV-N): inactivation of HIV-1 by sessile cyanovirin-N (sCV-N). *Dev Biol.* 2000;102:141-8.
148. Fromme R, Katiliene Z, Fromme P, Ghirlanda G. Conformational gating of dimannose binding to the antiviral protein cyanovirin revealed from the crystal structure at 1.35 Å resolution. *Protein Sci Publ Protein Soc.* mai 2008;17(5):939-44.
149. Nuhu AA. Spirulina Arthrospira: An Important Source of Nutritional and Medicinal Compounds. *J Mar Biol.* 2013;2013:1-8.
150. Ayeahunie S, Belay A, Baba TW, Ruprecht RM. Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of Spirulina platensis (Arthrospira platensis). *J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirology Off Publ Int Retrovirology Assoc.* 1 mai 1998;18(1):7-12.
151. Abdo SM, Hetta MH, El-Senousy WM, El RAS. Antiviral Activity of Freshwater Algae. *J Appl Pharm Sci.* 2012;5.
152. Hernández-Corona A, Nieves I, Meckes M, Chamorro G, Barron BL. Antiviral activity of Spirulina maxima against herpes simplex virus type 2. *Antiviral Res.* déc 2002;56(3):279-85.
153. Yakoot M, Salem A. Spirulina platensis versus silymarin in the treatment of chronic hepatitis C virus infection. A pilot randomized, comparative clinical trial. *BMC Gastroenterol.* 12 avr 2012;12:32.
154. Mader J, Gallo A, Schommartz T, Handke W, Nagel C-H, Günther P, et al. Calcium spirulan derived from Spirulina platensis inhibits herpes simplex virus 1 attachment to human keratinocytes and protects against herpes labialis. *J Allergy Clin Immunol.* janv 2016;137(1):197-203.e3.
155. Daoud HM, Soliman EM. Evaluation of Spirulina platensis extract as natural antiviral against foot and mouth disease virus strains (A, O, SAT2). *Vet World.* oct 2015;8(10):1260-5.

156. OMS | Allaitement [Internet]. WHO. [cité 9 juill 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/topics/breastfeeding/fr/>
157. Waldron M, Whelan K, Jeffries O, Burt D, Howe L, Patterson SD. The effects of acute branched-chain amino acid supplementation on recovery from a single bout of hypertrophy exercise in resistance-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. juin 2017;42(6):630-6.
158. Ikeda T, Aizawa J, Nagasawa H, Gomi I, Kugota H, Nanjo K, et al. Effects and feasibility of exercise therapy combined with branched-chain amino acid supplementation on muscle strengthening in frail and pre-frail elderly people requiring long-term care: a crossover trial. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. avr 2016;41(4):438-45.
159. Jensen GS, Drapeau C, Lenninger M, Benson KF. Clinical Safety of a High Dose of Phycocyanin-Enriched Aqueous Extract from *Arthrospira (Spirulina) platensis*: Results from a Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study with a Focus on Anticoagulant Activity and Platelet Activation. *J Med Food*. juill 2016;19(7):645-53.
160. Syndrome métabolique équin (SME) ** [Internet]. Les Haras nationaux. [cité 13 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/maladies/maladies-non-infectieuses/syndrome-metabolique-equin-sme.html?L=0>
161. Nawrocka D, Kornicka K, Śmieszek A, Marycz K. *Spirulina platensis* Improves Mitochondrial Function Impaired by Elevated Oxidative Stress in Adipose-Derived Mesenchymal Stromal Cells (ASCs) and Intestinal Epithelial Cells (IECs), and Enhances Insulin Sensitivity in Equine Metabolic Syndrome (EMS) Horses. *Mar Drugs*. 3 août 2017;15(8).
162. Furbeyre MH. Effets d'une supplémentation en Spiruline et en Chlorelle sur la croissance et la santé digestive du porcelet au sevrage [Internet] [phdthesis]. Agrocampus Ouest; 2017 [cité 13 sept 2018]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01661454/document>
163. Holman BWB, Malau-Aduli AEO. *Spirulina* as a livestock supplement and animal feed. *J Anim Physiol Anim Nutr*. août 2013;97(4):615-23.
164. SPIRULINE FRANCE : Tout sur l'algue aux multiples vertus [Internet]. [cité 18 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.spirulinefrance.fr/>
165. Tanvetyanon T, Bepler G. Beta-carotene in multivitamins and the possible risk of lung cancer among smokers versus former smokers: a meta-analysis and evaluation of national brands. *Cancer*. 1 juill 2008;113(1):150-7.
166. Scientific Opinion on the re-evaluation of mixed carotenes (E 160a (i)) and beta-carotene (E 160a (ii)) as a food additive. *EFSA J*. 1 mars 2012;10(3):2593.
167. Khafaga AF, El-Sayed YS. *Spirulina* ameliorates methotrexate hepatotoxicity via antioxidant, immune stimulation, and proinflammatory cytokines and apoptotic proteins modulation. *Life Sci*. 1 mars 2018;196:9-17.
168. Colla LM, Bertol CD, Ferreira DJ, Bavaresco J, Costa J a. V, Bertolin TE. Thermal and photostability of the antioxidant potential of *Spirulina platensis* powder. *Braz J Biol Rev Brasleira Biol*. juin 2017;77(2):332-9.
169. Journal officiel des Communautés européennes. Règlement (CE) N o 178/2002 du Parlement Européen et du Conseil [Internet]. 2002. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=FR>
170. Cynober L. Complément alimentaire, alicament, médicament : Qui est qui ? Ou faust revisité. *Cah Nutr Diététique*. 1 févr 2008;43(1):15-21.
171. Sevaux G. Compléments alimentaires et allégations santé : évolution législative et réglementaire. [Angers]: Faculté de pharmacie; 2014.
172. Décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires. 2006-352 mars 20, 2006.
173. Code de la santé publique - Article L5111-1. Code de la santé publique.
174. Arrêté du 9 mai 2006 relatif aux nutriments pouvant être employés dans la fabrication des compléments alimentaires | Legifrance [Internet]. Legifrance. [cité 14 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000023980839>
175. Règlement (CE) 1924/2006 du parlement européen et du conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires. *LEGICOM*. 2007;38(2):93.

TITRE

La spiruline (*Spirulina platensis*) : de l'aliment au médicament, utilisations et conseils à l'officine

Thèse soutenue le 11 Juillet 2019

Par Isabelle Laurent

RESUME :

La spiruline ou *Spirulina platensis* est une cyanobactérie du genre *Spirulina*, anciennement appelée aussi « algue bleue ».

Elle est consommée depuis plusieurs siècles par des peuples d'Amérique centrale et d'Afrique pour ses propriétés nutritionnelles au vu de sa riche composition en protéines, vitamines et minéraux.

Souvent utilisée comme complément alimentaire dans les pays développés, certaines études cliniques tendent à démontrer qu'elle disposerait aussi d'activités thérapeutiques dans la prévention de pathologies comme les troubles cardio-vasculaires, les troubles digestifs ou encore le diabète.

De par son regain de popularité ces dernières années, le pharmacien d'officine peut être sollicité au comptoir pour répondre à ces interrogations : qui est-elle ? Et qu'en est-il vraiment des vertus qui lui sont vantées ?

Le but de cette thèse est donc d'étudier la composition de la spiruline, de recenser ses propriétés et d'avoir un esprit critique sur les allégations qui peuvent lui être attribuées.

MOTS CLES : Spiruline, *Spirulina platensis*, algue, cyanobactérie, nutrition, complément alimentaire, aliment

| Directeur de thèse | Intitulé du laboratoire | Nature |
|---------------------------|-------------------------|---|
| Mme Marie-Noëlle Vaultier | Mycologie, Botanique | Expérimentale <input type="checkbox"/> Bibliographique <input checked="" type="checkbox"/> Thème <input type="checkbox"/> |

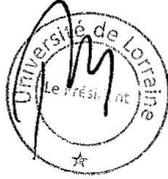
| <u>Thèmes</u> | 1 – Sciences fondamentales 3 – Médicament 5 - Biologie | 2 – Hygiène/Environnement 4 – Alimentation – Nutrition 6 – Pratique professionnelle |
|---------------|--|---|
|---------------|--|---|

FACULTE DE PHARMACIE

UNIVERSITE DE LORRAINE

DEMANDE D'IMPRIMATUR

Date de soutenance : 11 Juillet 2019

| | |
|--|---|
| <p>DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE</p> <p>présenté par : Isabelle Laurent</p> <p><u>Sujet :</u></p> <p>La spiruline (<i>Spirulina platensis</i>): de l'aliment au médicament, utilisations et conseils à l'officine</p> <p><u>Jury :</u></p> <p>Président : Mme Brigitte LEININGER-MULLER Directeur : Mme Marie-Noëlle VAULTIER Juges : Mme Claire CORNELISE Mme Isabelle BERTRAND</p> | <p>Vu,</p> <p>Nancy, le 21 mai 2019</p> <p>Le Président du Jury Directeur de Thèse</p> <p>M.  M. M.N. VAULTIER </p> |
| <p>Vu et approuvé,</p> <p>Nancy, le 3.06.2019</p> <p>Doyen de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Lorraine,</p> <p> Pr. Raphaël DUBREUIL</p> | <p>Vu,</p> <p>Nancy, le</p> <p>Le Président de l'Université de Lorraine,</p> <p> Pierre MUTZENHARDT</p> <p>N° d'enregistrement : 10750 .</p> |