



Les algues alimentaires : bilan et perspectives

JOËL FLEURENCE



Lavoisier
TEC & DOC

Les algues alimentaires : bilan et perspectives

SCIENCES & TECHNIQUES AGROALIMENTAIRES (STAA)

Directrice de collection : Marie-Noëlle Bellon-Fontaine, professeur, AgroParisTech (Massy)

Membres du conseil scientifique :

Thierry Bénézech, directeur de recherche, INRA (Villeneuve d'Ascq)

Véronique Bosc, maître de conférences, AgroParisTech (Massy)

Pascal Garry, chercheur, Ifremer (Nantes)

Christophe Hermon, directeur régional du pôle Ouest du CTCPA (Nantes)

Jean-Louis Multon, président de la Société scientifique d'hygiène alimentaire (SSHA, Paris)

Murielle Naïtali, maître de conférences, AgroParisTech (Massy)

Dans la même collection

Les 7 fonctions de l'emballage, par P. Dole (coord.), 2018

Risques microbiologiques alimentaires, par M. Naïtali, L. Guillier, F. Dubois-Brissonnet (coord.), 2017

Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection pour une meilleure sécurité en industrie agroalimentaire, par M.-N. Bellon-Fontaine, T. Bénézech, K. Boutroux, C. Hermon (coord.), 2016

Traité pratique de droit alimentaire, par J.-L. Multon, H. Temple, J.-L. Viruëga (coord.), 2013

La couleur des aliments – De la théorie à la pratique, par M. Jacquot, P. Fagot, A. Voilley (coord.), 2012

Science et technologie de l'œuf – Production et qualité, volume 1, par F. Nau, C. Guérin-Dubiard, F. Baron, J.-L. Thapon † (coord.), 2010

Science et technologie de l'œuf – De l'œuf aux ovoproduits, volume 2, par F. Nau, C. Guérin-Dubiard, F. Baron, J.-L. Thapon † (coord.), 2010

Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires, 4^e éd., par B. de Reynal, J.-L. Multon (coord.), 2009

Évaluation sensorielle – Manuel méthodologique, 3^e éd., par F. Depledge, SSHA (coord.), 2009

Bactéries lactiques – De la génétique aux ferments, par G. Corrieu, F.-M. Luquet (coord.), 2008

Les polyphénols en agroalimentaire, par P. Sarni-Manchado, V. Cheynier (coord.), 2006

La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques, 2^e éd., par B. Bertrand, E. Dufour (coord.), 2006

Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, 2^e éd., par R. Moletta (coord.), 2006

Analyse des risques alimentaires, par M. Feinberg, P. Bertail, J. Tressou, P. Verger (coord.), 2006

Bactéries lactiques et probiotiques, par F.-M. Luquet, G. Corrieu (coord.), 2005

Risques et crises alimentaires, par C. Lahellec (coord.), 2005

Retrouvez tous les titres de la collection sur notre site : editions.lavoisier.fr

Pour plus d'informations sur nos publications :



SCIENCES & TECHNIQUES
AGROALIMENTAIRES



JOËL FLEURENCE

Les algues alimentaires : bilan et perspectives

Lavoisier
TEC & DOC

editions.lavoisier.fr

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux
Édition : Élodie Lecoquerre
Couverture : Isabelle Godenèche
Fabrication : Estelle Perez
Mise en pages : STDI, Lassay-Les-Châteaux

L'auteur remercie Yves François Pouchus et Olivier Grovel pour les illustrations

Photos du cahier couleur : Olivier Barbaroux

Photo de couverture : Vincent Templement

PRÉFACE

L'ouvrage du professeur Joël Fleurence sur les potentiels d'utilisation des algues en alimentation humaine et animale répond pleinement à une demande sociétale. Il s'agit d'une synthèse remarquable qui présente de manière détaillée les principales caractéristiques biologiques, écologiques et biochimiques des espèces algales, les modalités de production et de transformation (champs naturels et algoculture), les applications en alimentation humaine et les fonctionnalités potentielles, et cela sans oublier les volets réglementaires national et européen.

Cet ouvrage a le mérite de rassembler les principales informations relatives aux nouveaux enjeux de l'incorporation d'algues dans l'alimentation, informations qui jusque-là étaient dispersées et de ce fait difficilement accessibles. Il s'inscrit également dans le contexte actuel de l'alimentation humaine, en pleine mutation. En effet, l'accroissement nécessaire des ressources alimentaires pour satisfaire les besoins de la population mondiale croissante (7 milliards d'habitants aujourd'hui et plus de 10 milliards d'habitants dans un futur proche) constitue et constituera dans les prochaines décennies un véritable défi, et cela d'autant plus que des centaines de millions de nos contemporains souffrent encore de malnutrition ou de dénutrition.

La mer a toujours été considérée comme une source majeure de ressources alimentaires pour l'espèce humaine. De nombreuses populations à l'échelle de la planète y puisent l'essentiel de ses ressources. Cependant, du fait d'activités anthropiques peu durables (pollutions diverses, surpêche), ces ressources halieutiques sont mises en danger. Les médias relayent régulièrement la diminution des stocks ou la réduction du nombre d'espèces. Pour les ressources alimentaires d'origine terrestre, la situation n'est guère meilleure. Les surfaces agricoles utilisables au niveau mondial étant stabilisées à environ 1,5 milliard d'hectares, il faudra encore accroître la productivité de l'agriculture. Cependant, les débats actuels sur les résidus de produits phytosanitaires dans les produits agricoles révèlent les limites de pratiques intensives insuffisamment raisonnées. Les produits animaux qui constituent une part majeure de nos apports protéiques sont également montrés du doigt. En effet, les pratiques d'alimentation des animaux d'élevage font l'objet de critiques récurrentes du fait de l'utilisation de matières premières valorisables directement par l'Homme (céréales) et de tourteaux de soja importés massivement. Ainsi, le constat est alarmant et il apparaît de plus en plus clairement que les modèles alimentaires actuels devront être reconsidérés et qu'ils devront se réinventer en donnant toute leur place à de réelles innovations.

Deux voies prometteuses et complémentaires s'ouvrent aux professionnels des secteurs de l'alimentation humaine. D'une part la relocalisation de systèmes de production visant à mieux adapter les productions aux potentialités des milieux et des territoires, et cela sans les détériorer. D'autre part l'introduction de nouveaux ingrédients aux aliments afin de redéfinir l'équilibre de nos régimes ainsi que les rations des animaux d'élevage. L'ouvrage du professeur Joël Fleurence s'inscrit pleinement dans ce deuxième objectif. Même si les filières d'algoculture sont encore en phase de développement, les professionnels du secteur de l'alimentation animale intègrent déjà des farines d'algues dans les aliments composés. Leur intérêt nutritionnel réside sans ambiguïté dans la présence conjointe de minéraux, de fibres, de protéines, de vitamines et de lipides. À titre d'exemple, les algues vertes peuvent contenir jusqu'à 30 % de protéines. Les algues peuvent également présenter des

effets détoxifiants, particulièrement appréciés en aquaculture. En alimentation humaine, les bienfaits de l'utilisation d'algues sont également bien connus et il convient de noter par exemple la production industrielle d'alginate ou de carraghénanes utilisés comme gélifiants alimentaires (additifs alimentaires E400 à E407). Les procédés de transformation appliqués aux algues (séchage, appertisation, lacto-fermentation...) contribuent aussi à améliorer les valeurs nutritionnelles et technologiques de ces organismes. Il y a donc un véritable gisement à explorer, à exploiter et à valoriser pour mieux répondre aux besoins de nos contemporains et des générations à venir. Pour atteindre ce but, une dynamique de recherche-développement complémentaire est en place afin de réduire par exemple la fraction non digestible des fibres ou de réduire les variations de composition qui rendent leur exploitation complexe.

De manière générale, cet ouvrage de référence éclairera utilement aussi bien les étudiants, les professionnels et plus largement les citoyens sur les possibilités d'inclure les algues dans l'alimentation animale et humaine. Par les savoirs qu'il véhicule, il contribuera sans aucun doute à une valorisation accrue des algues marines.

Guido Rychen

Directeur de l'École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires

SOMMAIRE

Préface	V
Introduction	1
CHAPITRE 1	
Les algues : caractéristiques biologiques et écologiques	3
1. Biologie des algues.....	3
1.1. Définition et taxonomie.....	3
1.2. Cycles de développement et reproduction.....	5
1.3. Composition pigmentaire.....	8
1.4. Taille.....	11
2. Écologie des algues.....	11
CHAPITRE 2	
Les espèces algales utilisées en alimentation humaine	15
1. Les Phéophycées (algues brunes).....	15
2. Les Rhodophycées (algues rouges).....	19
3. Les Chlorophycées (algues vertes).....	21
CHAPITRE 3	
Les modes de production	25
1. L'exploitation des champs naturels.....	25
2. L'algoculture.....	26
CHAPITRE 4	
La composition biochimique et la valeur nutritionnelle des algues alimentaires	31
1. Les glucides.....	31
1.1. Les glucides des algues brunes (Phéophycées).....	32
1.1.1. L'acide alginique (alginates).....	32
1.1.2. Les fucanes.....	34
1.1.3. La laminarine.....	35
1.2. Les glucides des algues rouges (Rhodophycées).....	36
1.2.1. L'agar (agar-agar).....	37
1.2.2. Les carraghénanes.....	38
1.2.3. Les porphyranes.....	39
1.3. Les glucides chez les algues vertes (Chlorophycées).....	39
2. Les protéines.....	40
2.1. Les protéines d'algues brunes (Phéophycées).....	40
2.2. Les protéines d'algues rouges (Rhodophycées).....	41
2.3. Les protéines d'algues vertes (Chlorophycées).....	43
3. Les lipides et les acides gras.....	45
3.1. Les lipides d'algues brunes (Phéophycées).....	45
3.2. Les acides gras et les stérols chez les algues brunes (Phéophycées).....	46
3.3. Les lipides d'algues rouges (Rhodophycées).....	48
3.4. Les acides gras et les stérols chez les algues rouges (Rhodophycées).....	49
3.5. Les lipides d'algues vertes (Chlorophycées).....	50

3.6. Les acides gras et les stérols chez les algues vertes (Chlorophycées)	51
4. Les minéraux	52
5. Les vitamines	54
5.1. Les vitamines dans les algues non transformées	54
5.2. Les vitamines dans les algues transformées	56
6. La qualité nutritionnelle	57
6.1. Les fibres alimentaires	58
6.2. Les protéines	60
6.3. Les études <i>in vivo</i>	62
6.3.1. La biodisponibilité des minéraux en présence d'algues dans le régime alimentaire	62
6.3.2. La biodisponibilité des protéines en présence d'algues dans le régime alimentaire	63
6.3.3. La biodisponibilité des lipides en présence d'algues dans le régime alimentaire	64
CHAPITRE 5	
Les procédés de transformation	69
1. Le séchage	69
1.1. Le séchage au soleil (méthode traditionnelle)	69
1.2. Le « cendrage »	70
1.3. Le séchage par chauffage thermique (méthode occidentale actuelle)	70
2. L'appertisation	71
3. Le salage et le saumurage	72
4. La surgélation	73
5. La fermentation	74
6. La liquéfaction enzymatique	78
7. L'extraction liquide (macération)	81
8. La maturation	83
9. La conservation dans l'eau de mer	85
CHAPITRE 6	
Les applications en alimentation humaine	87
1. Légumes de mer	87
2. Phycocolloïdes (additifs)	92
3. Ingrédients et produits alimentaires intermédiaires	95
4. Compléments alimentaires	96
5. Quelques préparations culinaires à base d'algues	97
CHAPITRE 7	
Les réglementations appliquées aux algues alimentaires	99
1. La réglementation française	99
2. La réglementation européenne	102
3. La réglementation américaine (États-Unis)	102
CHAPITRE 8	
Perspectives	107
1. Les algues : une source alternative de protéines végétales en nutrition humaine	107
2. Les algues comme aliments fonctionnels : le cas particulier des aliments hypoallergéniques	108
3. Les autres cas en alimentation humaine	109

4. Les algues : une source alternative de protéines végétales en alimentation animale	111
4.1. L'alimentation des animaux élevés par aquaculture (pisciculture, halioticulture, pénéculture)	112
4.2. L'alimentation des animaux de rente	115
Conclusion	119
Index	121

INTRODUCTION

Les algues marines sont utilisées depuis des millénaires en alimentation humaine et plus particulièrement par les populations asiatiques (Arasaki et Arasaki, 1985). L'économie mondialisée, les flux migratoires observés au xx^e siècle ainsi que le développement du tourisme de masse ont facilité l'accès pour la population occidentale à d'autres pratiques culinaires et à d'autres aliments que ce soit des fruits, des légumes ou des céréales inhabituellement utilisés voire inconnus dans les pays occidentaux.

Les algues font partie de ces nouveaux aliments, ou « *Novel Foods* » (règlement européen (CE) n° 258/97 – CE, 1997), qui ont bénéficié de l'ouverture économique et culturelle qui a accompagné la mondialisation des échanges économiques. Il est cependant cocasse de constater qu'il n'y a pas plus traditionnel comme aliment que les algues marines et que le concept de « *Novel Food* » ne résiste pas longtemps au bilan historique de leur utilisation en alimentation humaine.

Ce décalage dans la perception de l'algue en tant qu'aliment est le résultat de traditions culinaires très différentes entre les populations mais dépend surtout du lien qu'elles établissent avec la mer comme milieu privilégié ou non pour la fourniture de ressources alimentaires.

Cet ouvrage propose un bilan sur l'exploitation des algues et leurs valorisations en nutrition humaine et animale. Dans ce contexte, seules les macroalgues, exploitées traditionnellement pour des applications alimentaires, sont concernées par ce bilan.

Les modes de production, à savoir la cueillette et la culture, sont également décrits dans un contexte mondial dominé par l'Asie, principale région productrice d'algues à destination de l'alimentation humaine directe (légumes de mer) ou indirecte (phycocolloïdes). Ce bilan est associé à quelques perspectives de valorisation des algues marines, notamment pour le développement d'aliments fonctionnels au pouvoir allergisant limité ou la formulation de nouveaux aliments pour la pisciculture.

Ces perspectives seront discutées au regard de l'évolution de la demande sociétale qui intègre de plus en plus la nécessaire préservation des écosystèmes et de la ressource ; mais qui se montre favorable à la consommation de nouveaux produits et plus particulièrement issus de la mer (par exemple le surimi).

Enfin, quelques préparations culinaires à base d'algues sont également proposées dans l'ouvrage afin d'établir un continuum entre connaissances et valorisation de cet aliment encore largement méconnu dans nos pays occidentaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arasaki S, Arasaki T (1985). *Les légumes de mer. Comment être et paraître en forme*. Guy Trédaniel et Éditions de la Maisnie.
- CE (1997). Règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires. Journal officiel n° L043 du 14 février 1997, 0001-0006.



Les algues : caractéristiques biologiques et écologiques

1. Biologie des algues

1.1. Définition et taxonomie

Le terme « d'algues » ne correspond pas à une réalité taxonomique bien établie ; il est de moins en moins utilisé par les biologistes et totalement abandonné par les phylogénéticiens. En revanche, il est toujours employé par les naturalistes et par les utilisateurs de cette ressource qu'ils soient récoltants, transformateurs, distributeurs ou consommateurs. Les algues représentent une grande variété d'organismes photosynthétiques présents sous les formes unicellulaires ou pluricellulaires. De façon sommaire, on distingue les algues microscopiques unicellulaires ou **microalgues**, des algues, visibles à l'œil nu, ou **macroalgues**.

Les algues sont constituées de cellules eucaryotes.

Remarque

Cela exclut de cette définition la Spiruline qui est une cyanobactérie et dont l'organisation cellulaire est celle d'un organisme procaryote.

Les algues vivent principalement en milieu aquatique qu'il soit marin, saumâtre ou dulçaquicole. Les microalgues sont présentes dans l'environnement aquatique mais on peut également les trouver en milieu terrestre particulièrement humide comme les troncs d'arbres, les rochers, les glaciers, les névés ou encore les murs de certains bâtiments exposés aux intempéries.

Remarque

À titre anecdotique, il convient d'indiquer que le pigment pourpre ou B-phycoérythrine, sécrété par la microalgue *Porphyridium cruentum* serait à l'origine du phénomène rapporté de saignement des statues exposées dans certaines chapelles particulièrement humides (communication personnelle, Claude Gudin). Une autre hypothèse basée sur l'implication de la bactérie *Serratia marcescens* produisant un pigment rouge brique, la prodigiosine, est toutefois avancée pour l'explication de ces phénomènes (Pitt, 1982).