

**SCIENCES & TECHNIQUES**  
**AGROALIMENTAIRES**



# Les algues alimentaires : bilan et perspectives

JOËL FLEURENCE



**Lavoisier**  
TEC & DOC

## 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. Viruéga (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<sup>e</sup> éd., par B. de Reynal, J.-L. Multon (coord.), 2009

*Évaluation sensorielle – Manuel méthodologique*, 3<sup>e</sup> éd., par F. Depledt, 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<sup>e</sup> éd., par B. Bertrand, E. Dufour (coord.), 2006

*Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires*, 2<sup>e</sup> 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](http://editions.lavoisier.fr)

Pour plus d'informations sur nos publications :



**SCIENCES & TECHNIQUES**

**AGROALIMENTAIRES**



JOËL FLEURENCE

# Les algues alimentaires : bilan et perspectives

**L***avoisier*  
**TEC & DOC**

[editions.lavoisier.fr](http://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

---

<b>Préface</b> .....	V
<b>Introduction</b> .....	1
CHAPITRE 1	
<b>Les algues : caractéristiques biologiques et écologiques</b> .....	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	
<b>Les espèces algales utilisées en alimentation humaine</b> .....	15
1. Les Phéophycées (algues brunes).....	15
2. Les Rhodophycées (algues rouges).....	19
3. Les Chlorophycées (algues vertes).....	21
CHAPITRE 3	
<b>Les modes de production</b> .....	25
1. L'exploitation des champs naturels.....	25
2. L'algoculture.....	26
CHAPITRE 4	
<b>La composition biochimique et la valeur nutritionnelle des algues alimentaires</b> .....	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 stérois chez les algues brunes (Phéophycées).....	46
3.3. Les lipides d'algues rouges (Rhodophycées).....	48
3.4. Les acides gras et les stérois 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	
<b>Les procédés de transformation</b> .....	<b>69</b>
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	
<b>Les applications en alimentation humaine</b> .....	<b>87</b>
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	
<b>Les réglementations appliquées aux algues alimentaires</b> .....	<b>99</b>
1. La réglementation française .....	99
2. La réglementation européenne .....	102
3. La réglementation américaine (États-Unis) .....	102
 CHAPITRE 8	
<b>Perspectives</b> .....	<b>107</b>
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, pénéiculture) .....	112
4.2. L'alimentation des animaux de rente .....	115
<b>Conclusion</b> .....	<b>119</b>
<b>Index</b> .....	<b>121</b>



## 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<sup>e</sup> 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 marines sont utilisées depuis des millénaires en alimentation humaine, notamment en Asie. Aujourd'hui, face à l'accroissement des besoins alimentaires de la population mondiale, elles répondent à une évolution de la demande sociétale qui intègre de plus en plus la nécessaire préservation des écosystèmes et des ressources, et qui se montre favorable à la consommation de nouveaux produits.

Au regard de ces nouveaux enjeux, cet ouvrage propose une **synthèse complète des connaissances scientifiques, techniques et réglementaires actuelles sur les algues, leur exploitation et leur valorisation en alimentation humaine et animale.**

S'appuyant sur de nombreux tableaux et schémas clairs et accessibles, il comprend :

- une présentation détaillée des caractéristiques biologiques et écologiques des espèces algales utilisées en alimentation ;
- une description pratique de leurs modes de production et de transformation ;
- une analyse de la composition biochimique et de la valeur nutritionnelle des algues alimentaires mettant en évidence leurs intérêts pour la santé ;
- une étude des multiples applications possibles en alimentation humaine (légumes de mer, additifs, ingrédients et produits alimentaires intermédiaires, compléments alimentaires...).

Cet ouvrage fait également le point sur les avancées réglementaires (françaises, européennes et internationales), les évolutions technologiques et les nouveaux produits alimentaires. Il met ainsi en perspective différents moyens de valorisation des algues marines, tels que le développement d'aliments fonctionnels hypoallergéniques en alimentation humaine, mais aussi la formulation de nouveaux aliments riches en protéines végétales pour les animaux. Enfin, des photos en couleur et des recettes de préparations culinaires à base d'algues viennent enrichir cet ouvrage de référence.

*Les algues alimentaires : bilan et perspectives* s'adresse aux ingénieurs R&D et aux industriels de l'agroalimentaire et des bioproduits, dans le secteur de l'alimentation humaine ou animale, ainsi qu'à tous les acteurs de la filière « algues » (production, transformation, innovation). Il sera également utile aux étudiants et enseignants-chercheurs.

**JOËL FLEURENCE** est professeur à l'université de Nantes où il enseigne la biologie et la génétique. Son activité de recherche porte sur la valorisation des algues marines. Il est auteur d'une centaine de publications sur le sujet, coordonnateur de trois ouvrages internationaux et inventeur de trois brevets dont l'un bénéficie d'une extension à la Chine. Avant sa carrière universitaire, il a été cadre de recherche au Centre d'étude et de valorisation des algues puis chercheur à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer).