



SODIM

Société de développement de l'industrie maricole inc.

*Étude d'opportunité des biotechnologies
marines sur la production et l'utilisation des
microalgues*

Rapport final

Dossier n° 710.86

Rapport commandité par la SODIM

6 octobre 2006



La mer pour la *Vie*
Ocean for life

Étude d'opportunité des biotechnologies marines sur la production et l'utilisation des microalgues

No de projet SODIM 710.86

Présentée à
SODIM

6 octobre 2006



	CENTRE DE RECHERCHE SUR LES BIOTECHNOLOGIES MARINES 265, 2 ^{ème} rue Est, Rimouski Québec, G5L 9H3	MARINE BIOTECHNOLOGY RESEARCH CENTER 265, 2 nd street East, Rimouski Quebec, G5L 9H3
Rapport : 0602031026	Révision 1	2006-OC-06

Étude d'opportunité des biotechnologies marines sur la production et l'utilisation des microalgues

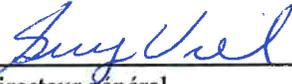
Préparé par : Alain Guillou	Autorisé par : Guy Viel
 Directeur – Valorisation et transfert	 Directeur général

Table des matières

1. INTRODUCTION	5
1.1 MISE EN CONTEXTE	6
1.2 APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES	7
1.3 RÉFÉRENCES	13
2. IDENTIFICATION DES MARCHÉS PORTEURS	14
2.1 NUTRITION HUMAINE ET SOINS CORPORELS	14
2.1.1 <i>Suppléments alimentaires</i>	14
2.1.2 <i>Produits de santé naturels – nutraceutiques</i>	15
2.1.3 <i>Cosmétique</i>	16
2.2 NUTRITION ANIMALE	16
2.2.1 <i>Aquaculture : alimentation et pigmentation</i>	16
2.2.2 <i>Agriculture : suppléments nutritionnels</i>	19
2.2.3 <i>Animaux de compagnie et aquariophilie : suppléments alimentaires</i>	20
2.3 RECHERCHES BIOMÉDICALES ET BIOPHARMACEUTIQUES	21
2.3.1 <i>Les sources naturelles de médicaments</i>	21
2.4 ENVIRONNEMENT	23
2.4.1 <i>Réduction de rejets liquides polluants – traitement des eaux usées</i>	23
2.4.2 <i>Traitement des émissions de gaz effet de serre et production de biocarburants</i>	24
2.5 RÉFÉRENCES	26
3. RECENSEMENT DE PRODUITS AVEC DES MICROALGUES	28
3.1 CONSOMMATION HUMAINE ET SOINS CORPORELS	28
3.2 CONSOMMATION ANIMALE	29
3.3 RÉFÉRENCES	41
4. OPTIMISATION DES CONDITIONS DE CULTURE ET DE PRODUCTION DE MICROALGUES	43
4.1 CARACTÉRISTIQUES RECHERCHÉES POUR LA PRODUCTION DE MICROALGUES	43
4.2 OPTIMISATION DES FACTEURS DE CROISSANCE DES MICROALGUES	44
4.2.1 <i>Lumière</i>	44
4.2.1.1 <i>Photo-inhibition</i>	46
4.2.2 <i>Température</i>	46
4.2.3 <i>Carbone et pH</i>	46
4.2.4 <i>Éléments nutritifs</i>	47
4.3 MODE DE PRODUCTION DE LA BIOMASSE MICROALGALE	47
4.3.1 <i>Les photobioréacteurs avec agitation pneumatique à éclairage externe</i>	55
4.3.2 <i>Les colonnes à bulle</i>	55
4.3.3 <i>Les photobioréacteurs à circulation interne</i>	59
4.3.4 <i>Photobioréacteur à éclairage interne</i>	62
4.3.5 <i>Photobioréacteurs à chambre de croissance horizontale</i>	65
4.4 RÉFÉRENCES	71
5. VALORISATION DES BIOMASSES, DES PRODUITS ET DES COPRODUITS	74
5.1 PRODUITS À VALEUR AJOUTÉE EXTRAITS DE MICROALGUES	74
5.1.1 <i>Cyanobactéries (Cyanophycées ou Algues Bleues)</i>	74

5.1.2 Lignée des Algues Brunes	81
5.1.3 Les Alveolata	92
<i>Deux formes de glycoside démontrent une activité hémolytique très importante dont les applications potentielles dans les secteurs de marchés très diverses (médicales, pharmaceutiques, agroalimentaires et cosmétiques) sont possibles. Néanmoins, l'utilisation de ces composés devra être très règlementée à cause de l'extrême toxicité pour les poissons et les autres animaux aquatiques.</i>	
5.1.4 Lignée des Algues Vertes	98
5.2 RÉFÉRENCES	115
6. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS POUR LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT	123
6.1 RÉFÉRENCES	135
ANNEXE 1	136
ANNEXE 2	137

Contributions au rapport

Chargé de projet :	Alain Guillou, PhD, CRBM
Marchés :	Amélie Hupé, M.B.A., CRBM
Culture et production :	Guy Viel, M. Env., PhD, Chantal Bérubé, M. Sc., CRBM
Valorisation :	Alain Guillou, CRBM
Perspectives R-D :	Frédéric Blouin, M. Sc., Guy Viel, CRBM
Révision :	Jacques-André St-Pierre, PhD, Guy Viel, CRBM

Annexe 1 : Volet nutraceutique

Jean-Claude Michaud, GRM, UQAR-Campus de Rimouski
 Suzanne Pelletier, UQAR- Campus de Lévis
 Éric Bégin, professionnel de recherche

Avec la collaboration de :
 Denis Rheault, Conseiller développement de marché
 Valérie Pelletier, professionnelle de recherche
 Rose Mary Bendezù, Étudiante GRM
 Sonia Dubé, professionnelle de recherche

Ce document est l'entière propriété du Centre de recherche sur les biotechnologies marines (CRBM) et de la Société de développement de l'industrie maricole (SODIM). Toute transcription et reproduction de ce document est strictement interdite par quelque moyen que ce soit et pour quelque usage que ce soit à moins d'une autorisation écrite du CRBM et de la SODIM.

Index des tableaux

TABLEAU 1. GENRES ET ESPÈCES DE MICROALGUES FOURRAGES COURAMMENT UTILISÉES EN AQUACULTURE _____	18
TABLEAU 2. MICROALGUES UTILISÉES POUR PIGMENTER DES ESPÈCES D'ÉLEVAGES AQUACOLES DIRECTEMENT OU SOUS FORME D'EXTRAITS RICHES EN PIGMENTS CAROTÉNOÏDES _____	19
TABLEAU 3. EXEMPLES DE PRODUITS À BASE DE MICROALGUES ET PRÉTENTION DES PROPRIÉTÉS – NUTRITION HUMAINE ET SOINS CORPORELS _____	30
TABLEAU 4. EXEMPLES DE PRODUITS À BASE DE MICROALGUES ET PRÉTENTION DES PROPRIÉTÉS – NUTRITION ANIMALE _____	38
TABLEAU 5. COMPARAISON DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CULTURES DE MICROALGUES : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS _____	50
TABLEAU 6. IDENTIFICATION DE SITES DE PRODUCTION DE MICROALGUES AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL _____	66
TABLEAU 7. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES CYANOBACTÉRIES _____	76
TABLEAU 8. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES BACILLARIOPHYCEAE _____	83
TABLEAU 9. MOLÉCULE ACTIVE EXTRAITE DES CHRYSOPHYCEAE _____	85
TABLEAU 10. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES PHAEOPHYCEAE _____	87
TABLEAU 11. PRINCIPALES INTOXICATIONS HUMAINES CAUSÉES PAR LES TOXINES DE DINOFLAGELLÉS *	93
TABLEAU 12. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES DINOFLAGELLÉS _____	94
TABLEAU 13. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES HAPTOPHYCEAE _____	97
TABLEAU 14. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES CHLOROPHYCÉES (MICROALGUES) _____	100
TABLEAU 15. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES ULVOPHYCÉES (MACROALGUES) _____	103
TABLEAU 16. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES RHODOPHYTES UNICELLULAIRES (MICROALGUES)	106
TABLEAU 17. MOLÉCULES ACTIVES EXTRAITES DES RHODOPHYTES PLURICELLULAIRES (MACROALGUES) _____	108
TABLEAU 18. APPROCHE GÉNÉRALE DE LA R-D SUR LES MICROALGUES : THÉMATIQUE DE RECHERCHE	133

Index des figures

FIGURE 1. ILLUSTRATION D'UN ALIMENT FONCTIONNEL DISPONIBLE EN ÉPICERIE _____	15
FIGURE 2. EXEMPLE DE PRODUIT DE SANTÉ NATUREL AVEC MICROALGUES _____	16
FIGURE 3. EXEMPLE DE PRODUIT POUR ANIMAUX DE COMPAGNIE _____	20
FIGURE 4. SOURCE DE TOUS LES NOUVEAUX MÉDICAMENTS APPROUVÉS ENTRE 1981-2002 _____	22
FIGURE 5. SOURCE DE TOUS LES MÉDICAMENTS ANTICANCÉREUX DISPONIBLE ENTRE 1940-2002 _____	22

1. Introduction

Le mandat confié au Centre de recherche sur les biotechnologies marines (CRBM) par la Société de développement de l'industrie maricole Inc. (SODIM) consiste à réaliser une étude d'opportunité permettant d'identifier des pistes de recherche et développement favorable au développement durable d'un secteur industriel de production de microalgues dans la région du Québec maritime.

Objectifs de l'étude

Les objectifs spécifiquement ciblés par l'étude sont les suivants :

- Identification des marchés porteurs.
- Identification des projets de production de microalgues au niveau national et international.
- Optimisation des conditions de culture et de production de microalgues.
- Valorisation des biomasses, des produits et des co-produits.
 - a) Biomasses microalgales d'espèces indigènes vs d'espèces exotiques
 - b) Produits à valeur ajoutée extraits de microalgues vs de macroalgues
 - Répertoire de produits existants.
 - Structure de distribution des produits.

Tous les objectifs du travail de recherche ont été réalisés par l'équipe du CRBM à l'exception du dernier, concernant spécifiquement la structure de distribution des produits, traité par le groupe de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR).

1.1 Mise en contexte

D'ici les vingt prochaines années, le développement des activités aquicoles mondiales sera en forte croissance afin de répondre à l'augmentation de la demande des fruits de mer combinée à la stagnation, et dans certains cas, à la décroissance de l'industrie des pêches. La production de biomasses de microalgues est l'un des secteurs aquicoles actuellement en émergence voué à une forte croissance. En effet, les différentes combinaisons de quelques espèces de microalgues sont en mesure de combler les besoins nutritionnels d'un très grand nombre d'organismes d'élevage aquicole et ce, des stades larvaires aux reproducteurs en passant par les animaux en croissance.

De plus, il faut aussi souligner que les microalgues ont développé, durant leur longue évolution, des voies métaboliques menant à la production et à l'accumulation de composés actifs présentant un intérêt pour plusieurs secteurs industriels : chimie fine, ingrédients nutraceutiques, cosméceutiques, produits pharmaceutiques et biomatériaux. Quelques espèces de microalgues ou leurs extraits sont déjà utilisées comme suppléments nutritifs et alimentaires pour l'Homme et chez les animaux d'élevage et de compagnie.

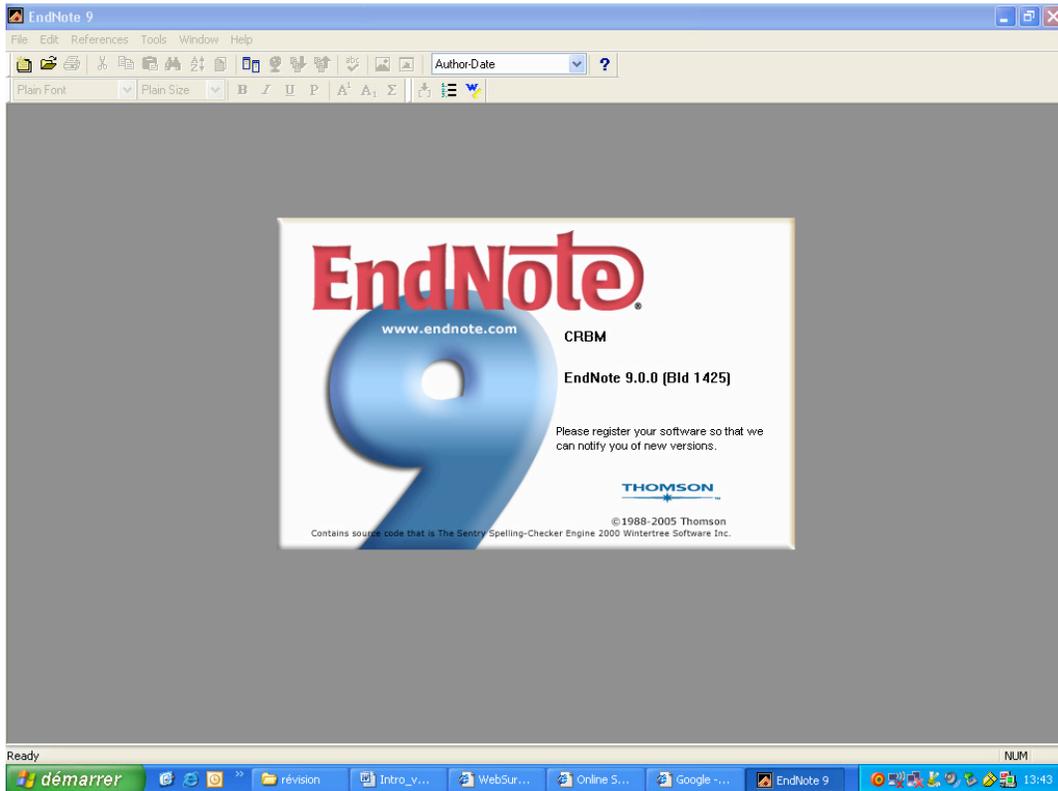
Actuellement, seulement quelques composés extraits de microalgues présentent un succès commercial dans le secteur des ingrédients nutraceutiques/cosméceutiques incluant les produits de santé naturels (PSN) et plus largement de la chimie fine. Les composés phares regroupent quelques pigments caroténoïdes antioxydants (Astaxanthine, β -carotène, zéaxanthine, etc.), des acides gras polyinsaturés de type omega-3 (EPA/DHA) et certains marqueurs fluorescents (phycobilines).

Le terme microalgue comprend par définition les organismes microscopiques uni- et oligo-cellulaire généralement phototrophes, à la base de la chaîne alimentaire et producteurs primaires d'oxygène. Les algues eucaryotes vertes, rouge et dorées, les diatomées ainsi que les dinoflagellés appartiennent à ce groupe aussi bien que les cyanobactéries procaryotes encore nommées algues bleus. Ces microorganismes sont ubiquistes, c'est-à-dire qu'ils croissent dans différents écosystèmes démontant un haut degré de biodiversité, une grande variété de formes et conséquemment une multitude de voies métaboliques.

Des études récentes montrent que de très nombreuses substances actives peuvent être extraites des différentes microalgues marines (Kornprobst, 2005). Le nombre total d'espèces de ce groupe de micro-organismes très majoritairement aquatiques n'est pas encore connu. Actuellement, les estimations avancées par différents groupes de spécialistes s'avèrent être très imprécises puisqu'elles varient de 40 000 (AlgoRythme, 2001) à environ un million d'espèces (IFREMER). Si l'on considère que les sous-espèces et les souches de microalgues peuvent élaborer des molécules originales en fonction des conditions du milieu naturel ou de culture, la diversité des sources de substances actives est largement supérieure au nombre total d'espèces de microalgues vivant sur la planète.

1.2 Approches méthodologiques

Voici une description de la méthode utilisée au CRBM pour compléter la recherche littéraire. Le programme EndNote, qui est un programme conçu pour retrouver, ordonner et archiver des documents publiés, fut utilisé afin d'identifier les références scientifiques pertinentes en relation avec le projet.



Les banques de données utilisées sont :

- PubMed- National Library of Medicine**, une banque de références de couverture mondiale dans les domaines de la recherche médicale et clinique ainsi que des politiques réglementaires.
- Cambridge Scientific Abstracts (CSA)** incluant
 - 1) « ASFA : Aquatic Sciences & Fisheries Abstracts », une banque de références mondiales dans les domaines des sciences aquatiques, des pêcheries et de l'océanographie,
 - 2) « Biological Sciences » est une banque mondiale de références couvrant les domaines de la biomédecine, des biotechnologies, de la zoologie et de l'écologie,
 - 3) « Oceanic Abstracts » est une banque de références mondiales dans les domaines de l'océanographie et des environnements contaminés,

Autres ressources documentaires

Également, il existe depuis 1984 une revue scientifique spécialisée sur les substances naturelles d'origine marines intitulée « Marine natural products » publié annuellement par D.J. Faulkner. Depuis son décès à la fin de l'année 2002, cette série a été reprise par l'équipe néo-zélandaise de John Blunt et M.H.G. Munro. Ces deux scientifiques ont créé une base de données sur CD-ROM, MarinLit dont la mise à jour est effectuée deux fois par année. Le CRBM détient une licence d'utilisation pour la Version 13.4. (octobre 2005) qui contient actuellement tout près de 17,000 références.

CD-ROM MarinLit :

The screenshot shows the MarinLit software interface in Microsoft FoxPro. The main window is titled 'MarinLit' and contains several panes:

- BIBLIOGRAPHIC DATA:** Fields for Title (Halogenated metabo...), Authors (Bates P Blunt, JW Hai...), and Keywords (Absolute configuratio...).
- COMPOUND DATA:** Fields for trivial names and a 'view all structures print' button.
- TAXONOMY DATA:** A table with columns for phylum, class, order, family, genus, and species. The data shown is: Rhodophycota, Rhodophyceae, Gigartinales, Plocamiaceae, Plocamium, cruciferum.

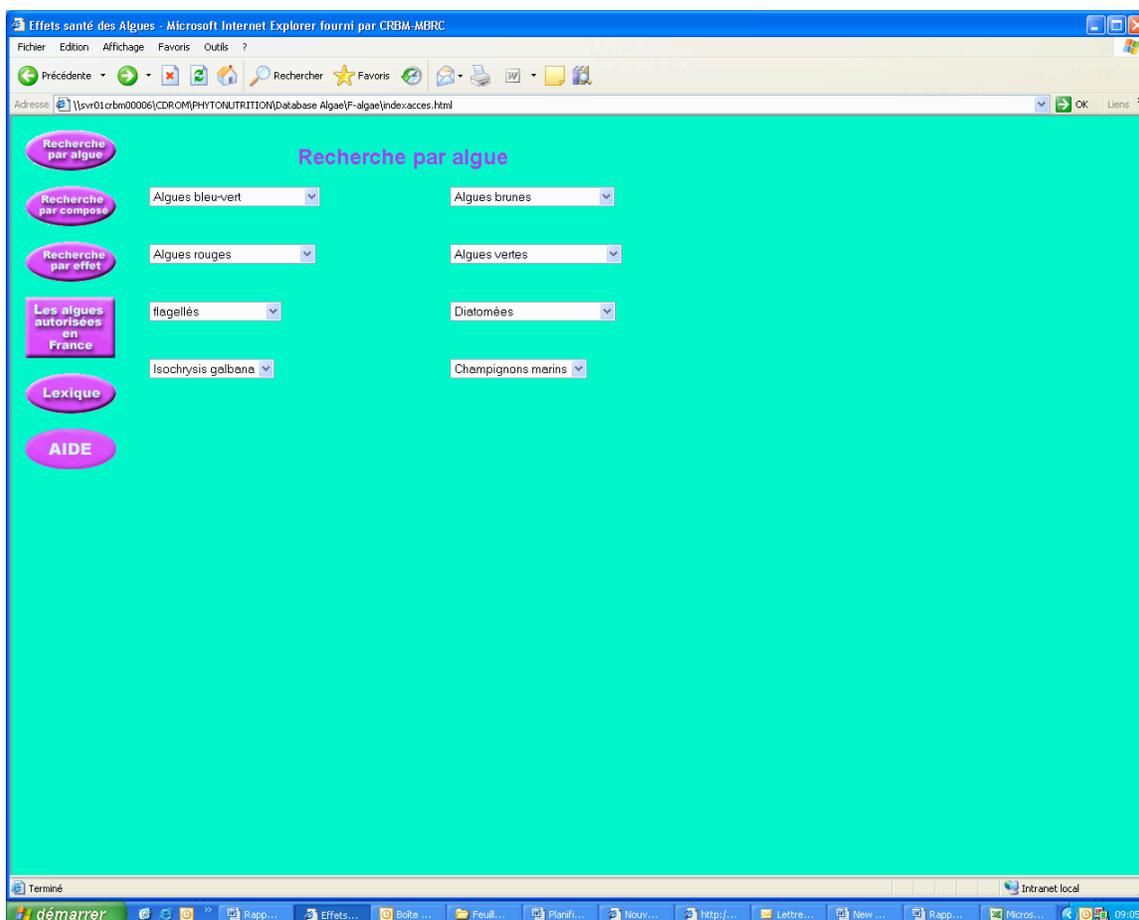
A central window displays the 'MarinLit Marine Literature DataBase' information:

- MarinLit Marine Literature DataBase**
- Devised by Murray H G Munro & John W Blunt
- Written by John W Blunt & (in part) David A Blunt
- Maintained at various times by Sarah J H Hickford, I
- Mark Vigneswaran, Celestine Reidron
- Ekkehard Unger & Sunny Hu
- Marine Chemistry Group
- Department of Chemistry
- University of Canterbury
- Private Bag 4800
- Christchurch, New Zealand
- Phone (64 3) 364 2873 Fax (64 3) 364 2110
- Email: john.blunt@canterbury.ac.nz
- Licensed to: CRBM, Rimouski
- Version #, number of records and last data update: vpc13.4 16988 records October 17, 2005

The bottom status bar shows: about Marinlit, * Article # 1, browse, navigation arrows, SEARCH, editing off, QUIT.

CD-ROM Phytonutrition - Algues

L'Institut de phytonutrition (IPN) basé à Deauville dans le Nord de la France (www.phytonutrition.info) a pour mission de diffuser de l'information sur des extraits marins destinés aux marchés des nutraceutiques, des compléments alimentaires et des suppléments nutritionnels. L'IPN organise depuis 2001 le Symposium Nutrition Santé Mer (www.sante-mer.org).



Lettre de diffusion hebdomadaire sur le site Innovation public du Luxembourg

Publications hebdomadaires par courriel des offres de technologies développées par des entreprises, des Centres de recherche et des Universités Européennes afin de commercialiser leurs innovations dans différents secteurs des sciences de la vie.

De : information@innovation.public.lu
À : alain_gullou@crbm-mbr.com
Cc :
Objet : Lettre de diffusion hebdomadaire personnalisée du 27/01/2006 - Portail de l'innovation et de la recherche

Date : ven. 2006-01-27 07:16

www.innovation.public.lu

lettre de diffusion hebdomadaire

Bonjour **ALAIN GULLOU**,
Voici les dernières nouveautés et mises à jour publiées sur www.innovation.public.lu depuis 8 jours ; elles correspondent aux domaines technologiques que vous avez choisis.

Vous organisez des événements R&D ? Publiez-les dès l'ouverture des 'APPELS A COMMUNICATION' sur www.innovation.public.lu !
Faites connaître aux utilisateurs du Portail votre actualité innovation et recherche.
>>> Pour publier votre annonce, identifiez-vous sur le Portail dans Espace membres et cliquez sur **Annoncez votre actualité!**

a la une

WAACS Industrial Design: the story behind the Senseo Coffeemaker (and more)
Something really new is born, maybe even revolutionary: the Senseo Coffeemaker, a machine with a patented technique. This is the result of a 5-year development by coffee roaster Sara Lee/Douwe Egberts, merchandised under the brandname Philips. Its peculiarity originates from its specific design created by the studio WAACS. The Senseo coffee-maker is a big seller and production has problems keeping up with the demand. What is the story behind this success? Find out more on February 9th. ... / ...
Les annonces publiées « A la Une » sont consultables dans les « Archives » pendant les 6 mois qui suivent leur publication.

agenda de l'innovation

Seules sont listées ci-dessous les annonces à caractère technologique correspondant aux domaines technologiques choisis lors de votre inscription sur le Portail.

Grande Région (Lorraine (France), Luxembourg, Sarre et Rhénanie-Palatinat (Allemagne) et Wallonie (Belgique))

- > **12/01/2006** : Cefic launches 3rd LRI Innovative Science Award in conjunction with Eurotox (UE)
- > **22/02/2006** : 5th Benelux Venture Summit (Brussels, BE)
- > **13/03/2006** : Sciences en tête : 6e édition du Printemps des Sciences (BE)

Europe et International

- > **31/01/2006** : CEM 2006 - 7th International Conference on Emissions Monitoring (France)
- > **16/02/2006** : CALL FOR PAPERS & DOCTORS: NewMed 2006 - 8th International

Ressources Internet

Les ressources électroniques présentées dans ce rapport sont des adresses (url) de sites Internet (world wide web). Contrairement aux références bibliographiques, les références électroniques de sites Internet ne sont pas pérennes, les modifications d'url sont fréquentes et de nombreux sites disparaissent plus ou moins rapidement. Donc, les sites sélectionnés ne doivent pas être considérés comme immuables.

Traité de référence sur les biomolécules d'origine marine

Un nouvel ouvrage portant sur tous les aspects biologiques, taxonomiques et chimiques des phylums d'organismes marins et les propriétés et applications des substances qui en sont issues vient d'être publié par les éditions Lavoisier, Paris, France.

L'auteur de cet ouvrage, de passage au CRBM a également été rencontré à titre d'expert, dans le cadre d'une rencontre technologique du CQVB portant sur les biomolécules marines : recherche et innovation. Le professeur émérite Jean-Michel Kornprobst de l'Université de Nantes a publié plus de 250 articles scientifiques consacrés au domaine marin. En deux tomes, 1928 pages, 7148 molécules chimiques, 7225 références bibliographiques et 521 sites internet, cet ouvrage constitue une référence dans le domaine.

Résumés de conférences scientifiques

6th European Workshop. European society of Micro Algal Biotechnology. May 23rd to 25th. Postdam, Germany, 2005.

Consultations et visites

Des consultations ont été effectuées auprès d'experts lors de participation à des congrès scientifiques, lors de visites ciblées ou encore par courriels. Voici la liste :

- Arnaud Muller-Feuga, Institut Français pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Laboratoire Production et Biotechnologies des Algues.
- Frédéric Dutil, ing., Algatek inc., Québec.
- Jean-Marc Proulx, Président, Gestion Valeo.
- Jean-Michel Kornprobst, Nantes, France.
Professeur Émérite de l'Université de Nantes
(*Domaine d'expertise : Produits naturels marins*)
- Réal Fournier, Institut des Sciences de la mer (ISMER).
- Warwick Lawrence, délégué commercial, Chimie, Prospection industrielle, Hydro-Québec.

Travaux de l'Université du Québec à Rimouski

L'Université du Québec à Rimouski (UQAR) a produit un rapport sur l'état du marché des nutraceutiques. Le rapport dresse un portrait de la taille de ce marché et de son évolution, des opportunités, des contraintes et des défis qui y sont reliés ainsi qu'au réseau de distribution des produits nutraceutiques. Avec ses données, l'UQAR a aussi émis des suggestions sur les opportunités de l'usage des microalgues dans ce marché. Ce rapport est un complément à la présente étude.

L'étude produite par l'UQAR a utilisé les sources d'information suivantes¹ :

- 1) La recherche de données secondaires a été effectuée à partir essentiellement :
 - De l'information disponible sur les sites Internet des entreprises et organismes œuvrant dans les secteurs des nutraceutiques ;
 - Dans les publications du Centre d'étude et de valorisation des algues (CEVA) ;
 - Du répertoire d'entreprises canadiennes de Strategis (Industrie Canada) et du Ministère du développement économique, de l'innovation et de l'exportation du gouvernement du Québec (MDEIE) :
 - Secteur des produits industriels dérivés de la biotechnologie ;
 - Secteur de la biotechnologie ;
 - Secteur des produits pharmaceutiques et biopharmaceutiques.
 - De l'information rendue disponible par certains ministères et institutions ;
 - Des études de firmes privées. La liste des études est incluse dans la bibliographie.

- 2) Entretiens téléphoniques et entrevues

Le support d'enquête retenu était le questionnaire administré par téléphone, à une exception près (entrevue face-à-face). Deux questionnaires ont été élaborés, l'un pour les distributeurs/producteurs et l'autre pour les commerces de détail y incluant de grandes chaînes de pharmacies. Un échantillon de cinquante-six entreprises par raisonnement a été sélectionné principalement à partir de listes disponibles du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), lesquelles ont fait l'objet d'une épuration pour ne retenir que les entreprises dédiées (liées à la chaîne de commercialisation des nutraceutiques).

La méthodologie complète du rapport peut être consultée dans l'Annexe 1.

¹ Ce texte est un extrait de la méthodologie énoncé dans le rapport de l'UQAR : Étude d'opportunités des biotechnologies marines sur la production et l'utilisation des microalgues marines - Volet nutraceutique, présenté à l'Annexe 1.

1.3 Références

AlgoRythme, 2001. Quel avenir pour la filière microalgue en France ? No. 54, 2^{ème} trimestre. p.4

IFREMER : www.ifremer.fr/drvvppba/presenta.htm

KORNPROBST, J-M. (2005). Substances naturelles d'origine marine : Chimiodiversité – Pharmacodiversité – Biotechnologies. Éditions TEC & DOC, LAVOISIER. Londre, Paris, New York. 1830 pages. ISBN : 2-7430-0721-4.

2. Identification des marchés porteurs

La courbe de croissance de la production mondiale des microalgues entre 1975 et 2000 est exponentielle, passant de moins de cinq tonnes à 3 500 tonnes. En 2004, la production mondiale de microalgues toutes espèces confondues était estimée à au moins 7 000 tonnes pour une valeur marchande globale de plus de 4,5 milliards de dollars US (PULZ et GROSS 2004).

Les microalgues offrent plusieurs applications commerciales dans différents marchés. Elles peuvent être commercialisées sous forme de biomasses sèches ou sous forme d'extraits, comme par exemple une huile riche en astaxanthine (pigment caroténoïde rouge). L'immense potentiel des microalgues est encore mal exploité. Il est évident que plusieurs utilisations et secteurs de marché sont à développer ou à inventer.

Actuellement, le plus gros marché des microalgues est certes celui de la consommation humaine. À lui seul, il représente plus de 75 % de la production mondiale annuelle de microalgues (PULZ et GROSS, 2004). Voici un tour d'horizon des marchés qui s'ouvrent à la culture des microalgues.

2.1 Nutrition humaine et soins corporels

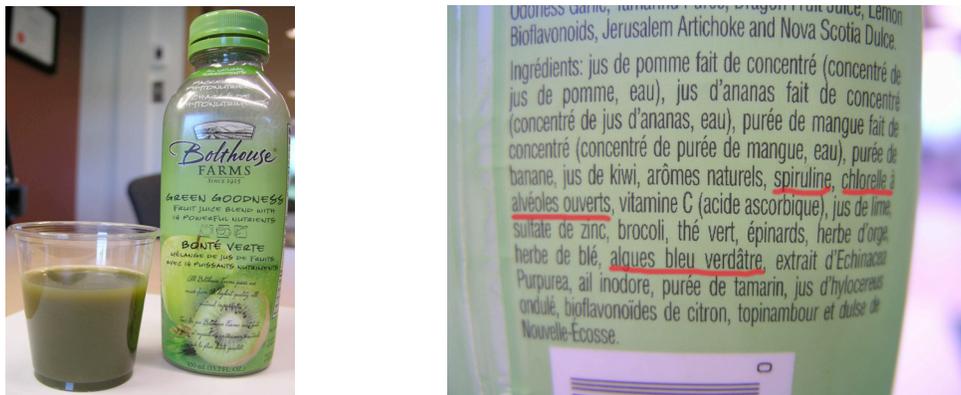
2.1.1 Suppléments alimentaires

Les microalgues sont à la base d'une longue chaîne alimentaire et contiennent à elles seules des propriétés nutritionnelles impressionnantes. Plusieurs microalgues sont tout à fait appropriées pour la consommation humaine. Certaines personnes croient même que les microalgues pourraient apporter une partie de la solution à la malnutrition dans monde. Par exemple, quelques programmes ont été mis sur pied pour tester les bienfaits de la spiruline sur la croissance d'enfants dans des régions défavorisées du globe. Un bon exemple est Antenna Technologies, association qui regroupe plusieurs spécialistes qui tentent de rendre accessible la technologie pour la culture de spiruline à des populations plus démunies.

Les microalgues les plus souvent retrouvées sur le marché de l'alimentation humaine sont les spirulines (*Spirulina* sp.) du groupe des cyanophycées et les chlorelles (*Chlorella* sp.) une algue verte. La AFA (*Aphanizomenon Flos Aquae*), une autre cyanophycée mais dulcicole, ainsi que les *Dunaliella* (algue verte) sont aussi très bien représentées. Récemment, en 2002, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) a autorisé l'utilisation en France d'une diatomée marine, *Odontella aurita*, à des fins de consommation humaine, comme supplément alimentaire. La spiruline est reconnue comme une source complète de protéines en plus de contenir plusieurs vitamines et minéraux. La spiruline est composée à 62 % d'acides aminés. Les cyanophycées sont reconnues comme étant beaucoup plus digestibles que la plupart des autres types de microalgues.

De plus en plus de produits contenant des microalgues font leur apparition sur le marché de l'alimentation. Il est possible de retrouver des pâtes alimentaires, des biscuits et des jus avec des microalgues comme ingrédients. Ces produits alimentaires enrichis de microalgues sont présentés comme des aliments fonctionnels possédant des bienfaits pour la santé des consommateurs.

Figure 1. Illustration d'un aliment fonctionnel disponible en épicerie

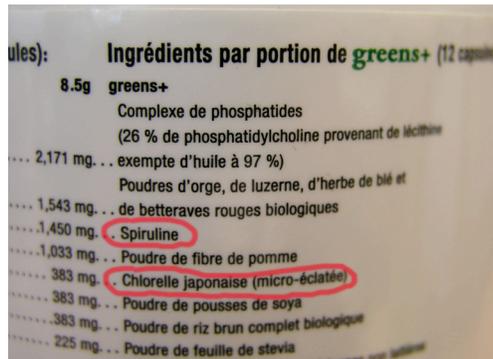


Note : Le jus Bolthouse « Bonté Verte » est un bon exemple d'aliment auquel des microalgues ont été ajoutées pour revendiquer un effet santé. Dans celui-ci, nous retrouvons de la chlorelle aux parois cellulaires éclatées (augmente la digestibilité et la biodisponibilité des composés cellulaires), de la spiruline et des algues bleu-vert (AFA fort probablement récoltées dans le Lac Klamath).

2.1.2 Produits de santé naturels – nutraceutiques

Plusieurs producteurs ou vendeurs de produits à base de microalgues prètent d'énormes bienfaits à leurs produits. « Pouvoir rajeunissant », « combat le cancer », « renforce le système immunitaire » sont des affirmations qu'il n'est pas rare de lire sur les étiquettes des produits. Au-delà de ces prétentions, plusieurs études ont été réalisées sur certaines microalgues dont la spiruline. Pour celle-ci, il existe des données sur les effets antiallergène, antitumoral, antiviral, détoxiquant, entéroprotecteur, hypocholestérolémiant, immunostimulant, prébiotique et radioprotecteur (Source : CD-ROM, Institut de phytonutrition). Néanmoins, la spiruline n'est pas considérée comme un médicament et n'est pas reconnue comme tel par les autorités de santé publique. Les études sur le sujet sont encore insuffisantes. Actuellement, il est fort vraisemblable que plusieurs compagnies biopharmaceutiques intéressées par les propriétés de la spiruline ou d'autres espèces d'algues ainsi que de leurs extraits purifiés tentent un développement à l'aide d'études plus rigoureuses sur leurs réels effets physiologiques.

Figure 2. Exemple de produit de santé naturel avec microalgues



Ingrédients par portion de greens+ (12 capsules)	
8.5g	greens+
	Complexe de phosphatides (26 % de phosphatidylcholine provenant de lécithine)
2,171 mg.	exempte d'huile à 97 %
	Poudres d'orge, de luzerne, d'herbe de blé et de betteraves rouges biologiques
1,543 mg.	Spiruline
1,450 mg.	Poudre de fibre de pomme
1,033 mg.	Chlorelle japonaise (micro-éclatée)
383 mg.	Poudre de pousses de soya
383 mg.	Poudre de riz brun complet biologique
225 mg.	Poudre de feuille de stevia



Note : La spiruline et la chlorelle sont des composantes qui font souvent partie de la gamme des produits de type « Greens », très populaires et commercialisés par plusieurs compagnies.

Il est aussi pertinent de noter que des gras omega-3 peuvent être extraits de microalgues et qu'ils constituent donc une alternative intéressante pour les végétariens à la recherche de ce type de supplément. Une compagnie des États-Unis, Martek, a réussi une véritable percée sur le marché des formulations de lait maternisé avec les omega-3 et 6 extraits d'une espèce de microalgue. Ses formulations concentrées en DHA et en acide arachidonique (ARA) font l'objet d'entente particulière avec des producteurs de lait maternisé qui représentent 70 % de ce marché². Le DHA et l'ARA favoriseraient le développement cérébral et visuel des fœtus et des nourrissons. Des extraits de microalgues riches en astaxanthine (*Haematococcus pluvialis*) ou en β -carotène (*Dunaliella salina*) sont commercialisés comme colorants alimentaires ou comme composés antioxydants dans les produits de santé naturels (PSN).

2.1.3 Cosmétique

Plusieurs extraits de microalgues se retrouvent déjà dans le marché de la cosmétique. Par exemple, l'astaxanthine a été reconnue pour avoir des propriétés protectrices contre les rayons ultraviolets et elle a été ajoutée à certains produits. Les cosmétiques à base de lipides (crèmes et lotions) peuvent bénéficier d'extraits de microalgues pour ses propriétés nutritives et protectrices pour la peau (PULZ et GROSS, 2004). De plus, des extraits de microalgues sont utilisés pour pigmenter les produits cosmétiques (DUFOSSÉ *et al.*, 2005).

2.2 Nutrition animale

2.2.1 Aquaculture : alimentation et pigmentation

En aquaculture, les microalgues sont utilisées comme aliments et comme source de pigments caroténoïdes d'intérêt (Astaxanthine, β -carotène, lutéine, zéaxanthine, etc.). Le marché mondial pour des produits issus de l'aquaculture serait d'environ 40 à 50

² Source : http://www.martekbio.com/Nutritional_Products/Introduction.asp

milliards de dollars US avec un taux de croissance d'environ 8 % par année (PULZ et GROSS, 2004). On estime que le marché des microalgues répondant uniquement à la demande des élevages aquicoles de bivalves et de crevettes représente une valeur annuelle de 34 millions de dollars US (DUERR *et al.*, 1997).

Les microalgues font partie intégrante de la chaîne alimentaire aquatique et sont donc indispensables à la croissance des mollusques bivalves et favorisent celle des jeunes stades de poissons et de crevettes. De plus, elles représentent la nourriture exclusive des larves de plusieurs espèces de mollusques, crustacés et poissons. Elles apportent les acides gras et les acides aminés essentiels, le cholestérol et de multiples oligoéléments que les animaux d'élevage aquicoles ne peuvent synthétiser *de novo* (ROBERT *et al.*, 2004). Même si une espèce ne se nourrit pas directement de microalgues, celles-ci auront servi à nourrir des espèces de zooplancton fourrage comme par exemple les rotifères, les artémies, les copépodes, les cladocères, etc.

Les microalgues entrent en compétition sur ce marché des aliments aquicoles avec les pigments caroténoïdes de synthèse, des levures et des nourritures artificielles micro-encapsulées.

En ce qui concerne les pigments, ils sont normalement retrouvés naturellement dans l'alimentation des poissons sauvages, mais doivent être ajoutés artificiellement dans l'alimentation des poissons d'élevage pour colorer la chair (salmonidés). L'astaxanthine est produite par synthèse chimique depuis plus de 30 ans, au départ par la multinationale Hoffmann-La Roche. Aujourd'hui, les deux principaux joueurs de cette production sont BASF et DSM. L'astaxanthine de synthèse est moins dispendieuse sur le marché que l'astaxanthine naturelle et est aussi moins dispendieuse à produire (OLAIZOLA, 2003) ce qui lui confère un net avantage. Le prix de l'astaxanthine serait de 2000 à 2500 \$US le kilogramme (CYSEWSKI et LORENZ, 2000; OLAIZOLA, 2003).

Si les producteurs de microalgues ne peuvent pour le moment faire compétition à l'astaxanthine de synthèse sur le prix, d'autres facteurs sont en mesure de stimuler ce marché. Les consommateurs recherchent aujourd'hui davantage des aliments dits naturels, exempts de produits chimiques (pigments synthétiques). Il est fort probable que le marché de l'aquaculture doive s'adapter de plus en plus à cette exigence. Il s'agit donc d'une bonne opportunité pour les producteurs de microalgues. Selon OLAIZOLA (2003), une meilleure éducation sur les différences entre le produit naturel et de synthèse aurait probablement pour effet d'augmenter la demande du produit naturel.

La production de microalgues tend à se spécialiser pour répondre aux besoins nutritionnels précis de différentes espèces animales issues de l'aquaculture. Certaines microalgues cultivées de façon plus importante sont aussi introduites davantage dans l'alimentation d'espèces aquicoles afin de bénéficier des effets positifs observés sur les animaux (stimulation du système immunitaire des poissons, obtention d'une coloration « naturelle », ajout de facteurs de croissance).

Les microalgues fourrages sont généralement produites et utilisées par par les entreprises aquicoles pour répondre à leurs besoins spécifiques. Certaines entreprises

ou centres de recherche fournissent des cultures de départ aux entreprises aquicoles afin qu'elles puissent produire quelques espèces de microalgues³. Ce type de petites productions ne bénéficie pas d'économie d'échelle. Si l'on ajoute à cela des productivités généralement faibles et des coûts de main d'œuvre importants, le coût moyen de revient des microalgues ainsi produites est très important. Les coûts estimés et mesurés de ces petites productions *in situ* varient grandement dans la littérature, de 50 \$ US par kg (DUERR *et al.*, 1997) à 250 \$ US – 1000 \$ US par kg de biomasse sèche (BOROWITZKA, 1997; MULLER-FEUGA, 2000; PULZ et GROSS, 2004). Considérant ce coût élevé, les aquaculteurs se tournent vers d'autres sources de nourritures alors qu'il est très généralement admis dans la littérature que les microalgues sont vitales pour plusieurs types de production (IFREMER).

Il semble donc y avoir une opportunité d'affaires pour des entreprises spécialisées dans la production de microalgues puisque qu'elles peuvent offrir leurs produits à des prix (50 \$ US à 300 \$ US/kg de matière sèche) nettement inférieurs (MULLER-FEUGA, 2000). Le fournisseur de microalgues devra néanmoins posséder une technologie adéquate de transport des biomasses permettant de préserver leurs intégrités physiques et leurs qualités nutritives jusqu'à la livraison chez ses clients.

Les tableaux 1 et 2 présentent des listes non exhaustives de microalgues fourrages utilisées dans l'élevage de différentes espèces aquicoles directement comme aliments ou pour nourrir des espèces de zooplanctons fourrages (BORGES *et al.*, 2005; BOROWITZKA, 1997; DUERR, *et al.*, 1997; DUFOSSÉ, *et al.*, 2005; LEE, 1997; LORENZ et CYSEWSKI, 2000; PULZ et GROSS, 2004; ROBERT *et al.*, 2004; WARD et SINGH, 2005; WIKFORS et OHNO, 2001).

Tableau 1. Genres et espèces de microalgues fourrages couramment utilisées en aquaculture

<i>Chaetoceros muelleri</i> , <i>C. gracilis</i> et <i>C. calcitrans</i>
<i>Chlorella</i> sp.
<i>Cryptomonas</i> sp.
<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Isochrysis galbana</i>
<i>Nannochloropsis</i> sp.
<i>Nitzschia</i> sp.
<i>Pavlova lutheri</i>
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>
<i>Pyramimonas</i> sp.
<i>Rhodomonas salina</i>
<i>Scenedesmus</i> sp.
<i>Skeletonema costatum</i>
<i>Spirulina</i> sp.

³ Par exemple, CSIRO en Australie (<http://www.marine.csiro.au/microalgae/supply.html>),

<i>Tetraselmis suecica</i> , <i>T. striata</i> et <i>T. chui</i>
<i>Thalassiosira pseudodonana</i>

Tableau 2. Microalgues utilisées pour pigmenter des espèces d'élevages aquacoles directement ou sous forme d'extraits riches en pigments caroténoïdes

<i>Dunaliella</i> sp. (β -carotène, lutéine)
<i>Haematococcus pluvialis</i> (astaxanthine)
<i>Spirulina</i> sp. (β -carotène)

2.2.2 Agriculture : suppléments nutritionnels

La grande popularité des acides gras omega-3 a fait naître une gamme de produits d'origine animale à base de ce supplément. Le lait s'affichant avec des omega-3 est produit de deux façons, soit en ajoutant à l'usine de transformation un supplément, soit en donnant une alimentation riche en omega-3 aux vaches laitières. Au Québec, le lait et les œufs riches en omega-3 ont fait leur apparition sur les tablettes des supermarchés. En France, nous retrouvons même des charcuteries avec un supplément d'omega-3.

Les omega-3 peuvent provenir de plusieurs sources, les plus connues sont les graines de lin riches en huile et les huiles de poisson. L'huile de lin est particulièrement riche en acide alpha linoléique (18 : 3 n-3) tandis que les huiles de poissons gras (saumons, sardines, anchois, hareng, maquereau, etc.) le sont en longues chaînes polyinsaturées principalement en EPA et en DHA. Seuls les acides gras de type omega-3 à longues chaînes possèdent un véritable effet de protection pour la santé du système cardiovasculaire. Étant donné la grande popularité des produits alimentaires enrichis en omega-3, une utilisation plus vaste des microalgues comme source d'EPA et de DHA pourrait être développée. L'ajout de microalgues très riches en omega-3 (EPA et DHA) dans l'alimentation des animaux de ferme pourrait s'avérer une avenue commerciale très intéressante afin d'obtenir des œufs et du lait enrichis en omega-3 présentant un effet potentiel réel sur la santé des consommateurs (CHOUINARD, 2005). De plus, plusieurs microalgues (*Chlorella*, *Scenedesmus* et *Spirulina*) sont non seulement une source d'acides gras polyinsaturés mais possèdent aussi des bienfaits reconnus sur la santé des animaux en stimulant leur système immunitaire (PULZ et GROSS, 2004).

LORENZ et CYZEWSKI (2000) rapportent aussi l'utilisation de suppléments d'astaxanthine extraite d'*H. pluvialis* dans l'alimentation des poules afin de colorer davantage les jaunes d'œuf. En plus de l'atteinte de cet objectif, une augmentation des pigments jaunes de la peau, des pattes et du bec a été observée. Les poulets nourris avec un aliment contenant une farine d'*H. pluvialis* montraient un gain de poids plus rapide ainsi qu'une augmentation du poids des muscles de la poitrine. Des études ont aussi démontré que l'incorporation de cette espèce de microalgue dans la nourriture des poulets reproducteurs provoquait une hausse de 5% de l'éclosion des œufs. L'ajout de microalgues, source d'astaxanthine et d'acides gras omega-3 (EPA et DHA), dans la

diète des poules et poulets permet d'offrir aux consommateurs un produit mieux adapté à leurs préférences (PULZ et GROSS, 2004).

En effet, il a déjà été mentionné dans ce texte que les consommateurs sont de plus en plus en quête de produits plus naturels, sans ajouts d'ingrédients issus de la synthèse chimique. Comme le rendement des animaux de ferme est le reflet de leur santé, des sources naturelles de biomolécules ou de suppléments alimentaires telles que les biomasses de microalgues peuvent représenter un débouché commercial potentiellement intéressant dans le domaine des élevages agricoles traditionnels.

2.2.3 Animaux de compagnie et aquariophilie : suppléments alimentaires

Les nombreux bienfaits des microalgues semblent attirants même pour le marché des animaux domestiques. En effet, les propriétaires d'animaux de compagnie ne s'intéressent pas seulement à la santé de leur animal mais aussi à leur aspect esthétique (poils brillants, belles plumes colorées, etc.). PULLZ et GROSS (2004) rapportent que des études sur des lapins et des visons ont démontré ce type de bienfaits par l'ajout de microalgues à leurs aliments.

Figure 3. Exemple de produit pour animaux de compagnie



Note : Des gaufrettes à base de chlorelle vendues comme supplément alimentaire pour les animaux de compagnie. Pour 60 gaufrettes, le consommateur paiera en moyenne 32 \$ US sur le site de Sun Chlorella. Source : <http://www.sunchlorellausa.com/catalog/petsunchlorella.htm>

De plus, les pigments contenus dans les microalgues, le β -carotène par exemple, peuvent être utilisés pour améliorer l'apparence de la nourriture pour les animaux de compagnies (DUFOSSÉ *et al.*, 2005). Les propriétés antioxydantes reconnues du β -carotène sont certes aussi un avantage important. Certains fabricants d'aliments offrent une gamme de nutraceutiques pour les animaux de compagnies possédant les mêmes revendications pour la santé que les produits destinés à la consommation humaine.

Quelques producteurs de microalgues pour aquaculture commercialisent aussi une ligne de produits pour les aquariophiles. On retrouve donc les mêmes avantages à donner des suppléments d'algues aux poissons d'aquarium qu'à tous les autres animaux, sans compter que les éleveurs amateurs de certaines espèces doivent impérativement offrir une nourriture à base de microalgues à leurs pensionnaires. Certaines microalgues

joueront un rôle dans la pigmentation des poissons en plus d'être un apport important sinon exclusifs de certains nutriments.

Avec la vague de popularité que connaissent les produits de santé naturels chez l'Homme, certains producteurs ont développé une gamme pour animaux de compagnie avec exactement les mêmes prétentions de bienfaits pour la santé. Par exemple, BioNutrition⁴ offre sur le marché un produit destiné aux animaux « BioPreparation » à base de *Spirulina platensis*, de *Dunaliella* sp. et d'astaxanthine naturelle. Les PSN pour animaux représentent peut-être un autre marché d'avenir pour les microalgues et ce, malgré sa petite taille.

2.3 Recherches biomédicales et biopharmaceutiques

Les microalgues sont une source intéressante de pigments fluorescents utilisés pour certains tests diagnostics médicaux, la microscopie, les « protein chips » et les « gene chips » ainsi que la cytométrie de flux. Quelques grandes compagnies de microalgues, telles Martek et Cyanotech, mettent sur le marché les phycobiliprotéines, produites par les cyanophycées. Selon la littérature, il s'agit d'un marché petit, mais stable (Cyanotech; PULZ et GROSS 2004). Les prix varient grandement en fonction de la pureté et de la stabilité des produits, c'est-à-dire de 3 à 1500 \$ US/g.

Le criblage d'extraits de microalgues par les entreprises de biotechnologie afin d'identifier des molécules actives et des médicaments potentiels est aussi un secteur en expansion. Bien que la compréhension des mécanismes physiologiques de ce groupe très diversifié ne soit encore qu'à ses débuts, le potentiel des microalgues dans ce domaine est très important simplement par le nombre gigantesque d'espèces et de souches du groupe. De plus, le contrôle des conditions de culture des microalgues permet d'infléchir, de maximiser ou d'optimiser la production de composés ciblés (production « biodirigée »). Les microalgues peuvent alors agir comme de véritables usines à biomolécules d'intérêt.

La section 5 traite plus spécifiquement de ce point par une revue bibliographique des molécules d'intérêt pour le marché biopharmaceutique et de la chimie fine répertoriées dans les algues (microalgues vs macroalgues).

2.3.1 Les sources naturelles de médicaments

La majorité des médicaments sur le marché sont dérivés de produits naturels (figure 4) ce qui peut être un bon présage pour la recherche sur les microalgues. En effet, 64% des nouveaux médicaments approuvés entre 1981 et 2002 provenaient de sources naturelles ou bien de produits naturels modifiés tandis que seulement 33% émanaient de produits totalement synthétiques, comme par exemple une librairie faite à partir de la chimie combinatoire classique.

⁴ BioNutrition site internet : www.biosuperaliment.com

Dans le cas du cancer, la proportion de nouveaux médicaments issus de sources naturelles est encore plus grande soit 69% (figure 5). Les statistiques concernant cette maladie sont alarmantes : 40% des Canadiens seront atteints un jour d'un cancer dont 25% en mourront tandis que 35% des Canadiennes seront atteintes et 20% décéderont (Société canadienne du Cancer, 2005).

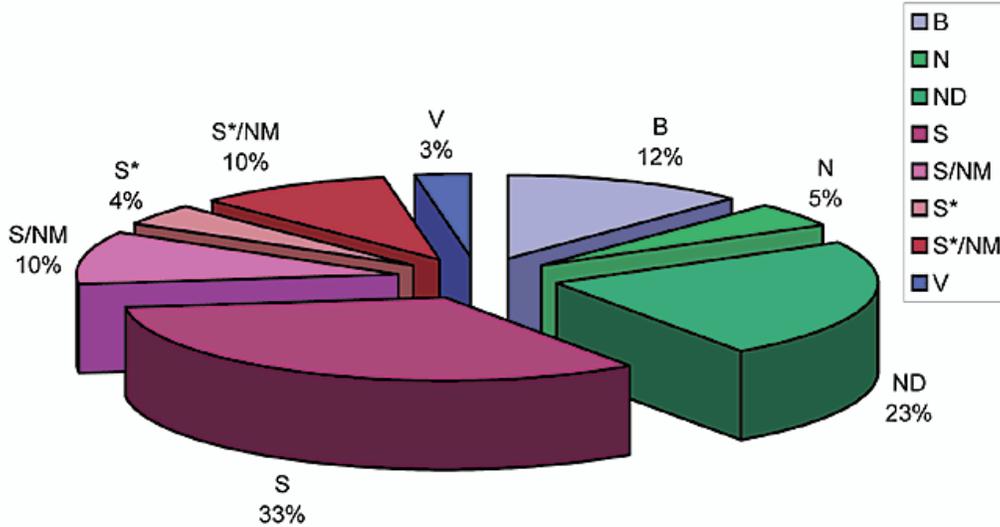


Figure 4. Source de tous les nouveaux médicaments approuvés entre 1981-2002
(Newman, D. J). *J. Nat. Prod.* 2003, 66, 1022-1037)

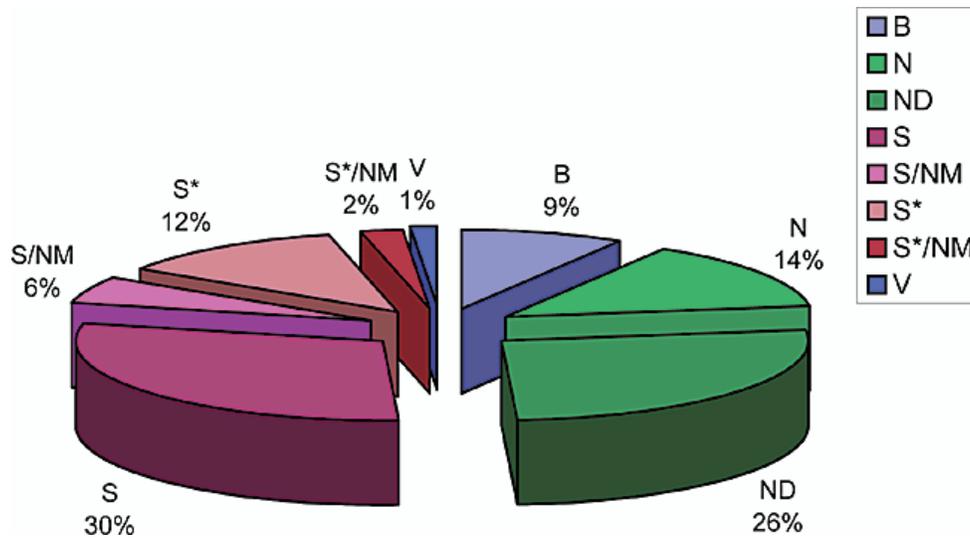


Figure 5. Source de tous les médicaments anticancéreux disponible entre 1940-2002
(Newman, D. J. *J. Nat. Prod.* 2003, 66, 1022-1037)

Légende:

B= Biologique (peptide ou protéine isolé d'un organisme)

N= Produit naturel

ND= Dérivé d'un produit naturel (modifications synthétiques)

S= Totalemment synthétique

S^{*}= Produit de synthèse mais le pharmacophore provient d'un produit naturel

V= Vaccin

NM= Mimique de produit naturel

Donc malgré l'augmentation significative de la capacité à générer de petites molécules synthétiques (robotisation des laboratoires de synthèse organique, chimie combinatoire, etc.), il semble que la nature demeure la meilleure source d'inspiration et de diversité dans l'élaboration d'une librairie de produits originaux pour lutter contre les maladies.

À ce titre, une citation du prof. Sam Danishefsky dans un article de S. Borman (*Chem. Eng. News* **2002**, 80 (2), 23-24.) appuie bien ce fait :

"At the risk of sounding Neanderthal, I would even put in a pitch for industry getting back to the screening of natural products," he says. "Some of the most valuable products and promising leads in oncology are naturally derived or naturally inspired. For instance, paclitaxel, a clinically established drug, came from natural product sources, as did doxorubicin, the etoposides, and the latter-day camptothecins. In fact, even tamoxifen arose from natural product leads: steroid hormones. Moreover, several of today's most promising pipeline candidates in oncology--such as ecteinascidin, halichondrin, bryostatin, and, of course, the epothilones--all arose from natural product screening followed up by synthetic modifications."

A small collection of "smart" compounds "may be more valuable than a much larger hodgepodge collection mindlessly assembled," he says. "Thus, the decision on the part of several pharma companies to get out of the natural products business is gross foolishness. There are major teachings in these natural products that we would do well to consider. They may be reflecting eons of wisdom and refinement. The much maligned natural product collections did, after all, bring us to statin, β -lactam, aminoglycoside, and macrolide blockbuster drugs. In fact, one of the most promising approaches in diversity chemistry is to produce diversity-chemistry-derived collections that benefit from or partake of the 'wisdom' of natural products."

2.4 Environnement

2.4.1 Réduction de rejets liquides polluants – traitement des eaux usées

Les microalgues peuvent être utilisées dans une approche générale de traitement des eaux usées, appelée phyco-épuration. Cette approche est appliquée à plusieurs usages dont le traitement des eaux usées municipales, agricoles et des entreprises agroalimentaires. Selon OLGUIN (2003), plusieurs méthodes sont encore au stade de recherche et développement, surtout dans le domaine agricole. Par contre, pour le traitement des eaux usées municipale, quelques technologies sont déjà sur le marché. Oswald and Green, LLC, USA, commercialise le *Advanced Integrated Wastewater Pond Systems Technology*. La technologie utilisant des microalgues pour le traitement des eaux usées est confrontée à de grands problèmes d'efficacité versus les coûts d'exploitation ainsi que des problèmes liés à la récolte des microalgues produites. Par contre, elle

semble être efficace pour l'élimination des composés impliqués dans l'eutrophisation des plans d'eau naturels. DE-BASHAN et BASHAN (2004) rapportent que *Chlorella vulgaris* parvient à enlever 55 % des phosphates contenus dans les effluents de fermes laitières et de porcheries.

En agriculture, en plus de réduire drastiquement la pollution environnementale, un système intégré de recyclage des eaux usées permet la création d'extraits (biomasse végétale) à valeur ajoutée. Les microalgues produites dans le processus de phyco-épuration peuvent être utilisées par la suite dans l'alimentation des animaux de ferme. Évidemment, toutes les phases de la production des microalgues doivent être parfaitement contrôlées pour éviter une contamination de celles-ci. PULZ et GROSS (2004) avancent que le traitement des eaux usées à l'aide de microalgues possède un potentiel économique intéressant.

À l'Université du Québec à Rimouski, un chercheur a étudié le potentiel de croissance de spiruline dans des effluents de pisciculture (KARAR 2005). Cela aurait l'avantage de traiter les eaux usées et de produire une biomasse avec une valeur sur le marché. Le chercheur arrive aussi à la conclusion que les microalgues peuvent avoir un potentiel intéressant pour éliminer le phosphore et le phosphate. Par contre, nous apprenons qu'il aura fallu enrichir les effluents pour que la spiruline puisse croître et donc obtenir un extrait intéressant. La production serait difficile en basses températures, ce qui rend l'application au Québec un peu problématique. De plus amples études sont nécessaires pour déterminer la rentabilité d'un tel système et voir si une application pourrait être développée au Québec.

2.4.2 Traitement des émissions de gaz effet de serre et production de biocarburants

La technologie des bioréacteurs peut être utilisée pour un meilleur contrôle de la production de biomasses de microalgues ou de certains de leurs composés d'intérêt. Elle permet aussi de récupérer et de piéger dans les microalgues à l'aide de la photosynthèse certains gaz nocifs pour l'environnement. Une compagnie américaine, GreenFuel Technologies, teste déjà le potentiel de cette technologie pour la récupération des émissions de CO₂ et de NO_x d'une centrale thermique. Le CO₂ et les oxydes d'azote sont des composés permettant la croissance des microalgues. GreenFuel compte réduire les émissions de gaz à effet de serre de certains types d'industries tout en créant un produit qui possède une valeur ajoutée. En effet, les microalgues produites par GreenFuel sont riches en huile. Celle-ci est extraite par pression pour être ensuite transformée en biodiesel par trans-estérification.

Avec la hausse du prix du pétrole, les biodiesels présentent un intérêt de plus en plus certain. Le prix du baril de pétrole s'établissait au 19 août 2005 à 65,35\$ US. Longtemps considérés comme trop cher par rapport au marché du pétrole, les biodiesels pourront, dans un avenir assez rapproché, devenir compétitifs. Actuellement, le coût moyen du baril de biodiesel à base de microalgues est de 94 \$ US avec une fourchette hypothétique de 61 \$ à 126 \$ US le baril (DANIELO, 2005). Les experts prédisent que le biodiesel produit par les microalgues pourrait être rentable d'ici 2010.

La version électronique du journal Le Monde du 30 août 2005 cite le Président de la France, M. Jacques Chirac, qui mentionne que « le prix du pétrole risque d'être durablement élevé : le renouveau de notre politique énergétique est indispensable ». Les microalgues pourraient peut-être faire partie de la nouvelle équation énergétique dans un proche avenir.

L'autre avantage important des biocarburants sur les carburants fossiles est leurs capacités à limiter le réchauffement de la planète. En effet, les biocarburants libèrent des oxydes de carbone préalablement prélevés dans l'atmosphère (croissance des organismes vivants) et non celui piégé depuis des millions d'années dans le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

2.5 Références

- BEZAT, J-M. (2005). Le pétrole cher donne leur chance aux énergies renouvelables. Le Monde.fr, 30 août 2005.
- BORGES, M-T. et al. (2005). Integration of consumer-targeted microalgal production with marine fish effluent biofiltration – a strategy for mariculture sustainability. *Journal of Applied Phycology*, 17: 187-197.
- BOROWITZKA, M. A. (1997). Microalgae for aquaculture: Opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 9: 393-401.
- CHOUINARD, Y (2005). Utilisations des acides gras oméga 3 en production laitière et bovine, présentation dans le cadre de la rencontre technologique « Additifs et suppléments alimentaires en production animale : innovations et tendances ». Rencontre technologique organisée par le CQVB, 7 juin 2005, Saint-Hyacinthe.
- DANIELO, O. (2005). An algae-based fuel. *Biofutur*, Numéro 255, mai 2005.
- DE-BASHAN, L. E. & BASHAN, Y. (2004). Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer. *Water Research* 38: 4222-4246.
- DUERR, E. O., MOLNAR, A. & SATO, V. (1998). Cultured microalgae as aquaculture feeds. *Journal of Marine Biotechnology* 7: 65-70.
- DUFOSSÉ, L. et al. (2005). Microorganisms and microalgae as source of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality? *Trends in Food Science & Technology*, (sous presse).
- IFREMER : www.ifremer.fr/dr/vppba/presenta.htm
- KARAR, M. M. (2005) Contribution à la production de spirulines : recherche d'un milieu naturel pour la culture de la microalgue *Spirulina Platensis* en vue de réduire le coût de production et d'optimiser la croissance, Thèse présentée à l'Université du Québec à Rimouski.
- LEE, Y-K. (1997). Commercial production of microalgae in the Asia-Pacific rim. *Journal of Applied Phycology*, 9: 403-411.
- LORENZ, R. T. & CYSEWSKI, G. R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthine. *TIBTECH*, avril 2000 (Vol.18)
- MULLER-FEUGA, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12: 527-534.
- OLAIZOLA, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*, 20: 459-466.
- OLGUIN, E. J. (2003). Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal process. *Biotechnology Advances*, 22: 81-91
- PULZ, O. & GROSS, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, publié en ligne 6 août 2004.
- RADIO-CANADA (2006). Le CHUM s'intéresse aux Omega-3, <http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2006/01/11/006-omega-3-chum.shtml>
- ROBERT, R. et al. (2004). Amélioration des productions phytoplanctoniques en éclosérie de mollusques : caractérisation des microalgues fourrage. Direction des Ressources Vivantes,



Département des Ressources Aquacoles, Laboratoire de Physiologie des Invertébrés Marins.
DR/RST/RA/LPI/ 2004-05.

Société canadienne du cancer et Institut national du cancer du Canada : statistiques canadiennes
sur le cancer 2005, Toronto, Canada, 2005.

WARD, O. P. & SINGH, A. (2005). Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production,
Process Biochemistry, (sous presse).

WIKFORS, G. H. & OHNO, M. (2001). Impact of algal research in aquaculture. Journal of
Phycology, 37: 968-974.

3. Recensement de produits avec des microalgues

Cette section présente un répertoire de produits à base d'extraits de microalgues ou dans lesquels des microalgues complètes ont été ajoutées. Cette liste ne saurait être exhaustive, mais elle donne une bonne idée de l'offre faite au consommateur et celle qui se dessine à court terme. Les fonctions et prétentions présentées dans les tableaux sont celles de leur fabricant ou distributeur respectif. Ces informations ne sont donc pas vérifiées scientifiquement et sont données à titre indicatif seulement.

3.1 Consommation humaine et soins corporels

Dans le tableau 3, nous analysons le marché de la consommation humaine, selon les usages déjà présentés à la section 2.1. Les produits sont classés comme suit :

- Produits purs – non mélangés (par exemple, une capsule uniquement composée de spiruline)
- Mélanges de microalgues (plusieurs microalgues combinées pour l'obtention d'effets supplémentaires, un apport plus varié en vitamines par exemple)
- Ajout de microalgues dans un produit (pour bénéficier des bienfaits des microalgues dans un autre produit)
- Produits retracés sur Internet – peut-être non disponible au Québec (offre internationale)

Nous pouvons noter que les types de microalgues les plus souvent utilisées pour la consommation humaine sont celles qui sont autorisées par les agences de santé publique. Ainsi donc, de nouvelles microalgues devraient toujours faire leur preuve d'innocuité avant d'atteindre ce marché, comme ce fut le cas avec l'Odontelle en France (voir section 2.1.1). Par contre, vue l'étendue des pâtes de microalgues vendues par SATMAR (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros calcitrans*, *Thalassiosira pseudonana*, *Tetraselmis tchui*, *Tetraselmis suesica*, *Isochrysis galbana*, *Isochrysis sp.*, *Paolova lutheri*) pour un usage en cosmétique, tout porte à croire que ce domaine est moins restrictif que la consommation par voie orale. Il peut donc peut-être y avoir plus d'applications potentielles pour des algues moins connues.

La Spiruline et la Chlorelle sont les microalgues les plus populaires dans les produits que l'on retrouve sur le marché québécois. Il est important aussi de mentionner que même si certains fabricants parlent de « Spirulina Pacifica », il ne s'agit pas d'une espèce, mais bien d'un nom marketing utilisé pour la spiruline produite à Hawaï. D'autres espèces et leurs extraits s'y retrouvent tout de même dont *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cryptocodinium cohnii*, *Schizochytrium*, *Prophyridium* et l'Odontelle.

Un autre produit populaire retrouvé chez les magasins d'aliments naturels est le mélange de « greens ». Un mélange d'antioxydants dans lesquels on retrouve pratiquement toujours de la spiruline et de la chlorelle.

Nous pouvons constater à la lecture des tableaux que des produits sont issus de plusieurs pays, ce qui laisse entrevoir les microalgues comme un phénomène international. Pas étonnant puisque les vertues nutritionnelles de ces dernières sont reconnues depuis longtemps à divers endroits du monde (Mexique, Afrique).

Il est intéressant d'observer que les quatre vertues les plus communément attribuées sont :

- Effet antioxydant
- Aide au système immunitaire
- Stimule l'énergie
- Apport nutritionnel intéressant

Des études approfondies sur les effets précis des microalgues sont plutôt rares et il y a encore place à la recherche dans ce domaine.

3.2 Consommation animale

Dans le marché destiné aux animaux, pour sa part moins réglementé, nous retrouvons plus d'espèces de microalgues (voir tableau 1), particulièrement pour l'aquaculture. À la lecture du Tableau 4, il semble que la vertu la plus attribuée à cet aliment soit liée à l'apport nutritionnel. Il y a en général moins de prétentions de vertues pour les produits destinés à la consommation animale. Certains aliments pour animaux commencent à ressembler drôlement au marché des nutraceutiques pour l'homme : on les donne à ses animaux de compagnie pour qu'ils soient en meilleure santé ou pour prévenir certains états (par exemple : aide aux problèmes de perte d'appétit, à l'obésité, aux problèmes de poils et de peau). Par contre, le nombre de compagnies qui utilisent cet axe de communication sont encore peu nombreuses.

Tableau 3. Exemples de produits à base de microalgues et prétention des propriétés – nutrition humaine et soins corporels

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétentions	Autre information
<i>Produits purs – non mélangés</i>					
Jamieson Laboratories	Toronto, ON	Spiruline	Spiruline	Contribue au bon fonctionnement du système immunitaire, à la régulation du taux de cholestérol et à l'assimilation des minéraux	
Phyto-Santé Ltée	Ste-Foy, QC	Spiruline	<i>Spirulina maxima</i>	Anémie, fatigue, surmenage, spasmophilie, obésité, diminue l'appétit.	Séchée à froid en Californie
Nu-Greens	Toronto, ON	Nu-Life	<i>Spirulina (pacifica)</i>	Renforce le système immunitaire, augmente le niveau d'énergie, effet détoxiquant, prévient l'anémie et réduit les symptômes d'allergies	
Yves Ponroy	France	Grand Océan Spiruline	Spiruline	Tonus et Vitalité	
New Roots Herbal	Beaconsfield, QC	Chlorelle	Chlorelle		
Ultra Bio-Logics Inc.	Rigaud, QC	Nutriteck	Spiruline	Supplément alimentaire	
Gourmet Nutrition	Québec	Chlorelle	Chlorelle	Immunité et protection contre les rayons U.V.	
Gourmet Nutrition	Québec	Spiruline	Spiruline	Énergie, apport élevé en protéines et vitamines	
Herbal Select	Ontario	Spiruline de vert et bleu	Spiruline	Supplément alimentaire, renforce le système immunitaire	
Royal Body Care	Texas, USA	Spirulina Nano Clusters	Spiruline	Riches en nutriments, bonne nutrition pour les gens qui	Commandes par Internet

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / préentions	Autre information
Swiss Natural Sources	Toronto, ON	Chlorella	Chlorelle	suivent un régime, détoxication	
Mayaka International	Montréal, QC	Spiruline	Spiruline	Ralentit les effets du vieillissement, stimule l'énergie physique, soulage la dépression et le stress, revitalise, aide à l'absorption, stimule le système immunitaire, prévient les problèmes de glande thyroïde	
Mélange de microalgues					
GoVitalityGo	Otterburn Park, QC	GoAlgaeGo	Spiruline d'Hawaii, <i>Dunaliella Salina</i> et astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Favorise l'énergie vitale, l'endurance, l'anti-oxydation et la protection radicalaire de l'organisme	
BioNutrition	BioNutrition	Laval, QC	<i>Spirulina (pacifica)</i> , <i>Spirulina platensis</i> , <i>Dunaliella</i> , et astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Nutrition énergisante, protection immunitaire contre les toxines, perte de poids et augmentation de la masse musculaire, digestion et absorption cellulaire optimales, meilleure fonction cérébrale et équilibre émotionnel, rajeunissement métabolique	
Yves Ponroy	France	Grand Océan Micro Algues	Chlorelle et Odontelle	Stress ou fatigue	

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétentions	Autre information
New Roots Herbal	Beaconsfield, QC	Spiruline et Chlorelle	Spiruline et Chlorelle		
Jean-Marc Brunet, Le Naturaliste	Québec	Ultra Algues	Spiruline et Chlorelle	Complément alimentaire rééquilibrant	
Adrien Gagnon	La Prairie, QC	Spiruline	<i>Spirulina maxima</i>	Fortifiant; tonique; revitalisant; reminéralisant	
Ajout de microalgues ou d'extrait de microalgues dans un produit					
Johanne Verdon	Montréal, QC	Bio-Sirum Énergie-Vive	Spiruline	Supplément alimentaire tonique	
Nutripur	Boisbriand, QC	Phyto-Slim	Spiruline	Favorise la perte de poids, stimule les fonctions d'élimination, aide à brûler le gras corporel, donne de l'énergie	
Horizon Santé	Lachute, QC	Spiruline Plus	Spiruline	Fournit acides aminés, vitamines et minéraux en supplément à l'alimentation	
Phytocure	Québec, QC	Phytocure complexe Tonus	Spiruline	Combat la fatigue, le manque de libido, le surmenage et permet d'éviter l'état dépressif	
Genuine Health	Toronto, ON	Greens+	Spiruline et Chlorelle	Augmente l'énergie et le bien-être	
New Roots Herbal	Beaconsfield, QC	Freedom Greens	Spiruline et Chlorelle	Nourrit l'organisme, nettoyage et détoxification interne, accroît la vitalité, renforce le système immunitaire, augmente le niveau d'énergie et bien-être	

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétentions	Autre information
Enerex Botanicals	Colombie-Britannique	Greens Rx	Spiruline	général. Supplément alimentaire	
Enerex Botanicals	Colombie-Britannique	Sona	Spiruline	Apport en substances nutritives	Comprimés de multi vitamines, minéraux enzymes avec concentré d'aliments verts enrichis
Adrien Gagnon	La Prairie, QC	Antiox	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	un des plus puissants antioxydants; neutralise les radicaux libres	
Royal Body Care	Texas, USA	Green Phyto-Power	Spiruline et chlorelle	Nettoie l'organisme, aide au système immunitaire et combat la fatigue	Commandes par internet
Bolthouse	Californie, USA	Bonté Verte	Spiruline, Chlorelle, Algues bleu-vert (<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>)	Produit nutritif sous forme de jus de fruit	Disponible dans les épicereries québécoises
Produits retracés sur Internet – potentiellement non disponible au Québec					
Flamant Vert	France	Spiruline	Spiruline	Permet une diminution des risques de carence et de déficience en micronutriments essentiels, compense les apports alimentaires insuffisants, bien-être global lié à une hygiène alimentaire mieux structurée.	
Flamant Vert	France	Chlorelle	Chlorelle	Effet détoxiquant et régénérant	
Siam Algae	Thaïlande	Spirulina	Spiruline	Nourrit la peau, prévient les	

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / préentions rides et supplément alimentaire	Autre information
Cyanotech	Hawaii, USA	Bioastin	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Antioxydant	
Cyanotech	Hawaii, USA	Spirulina Pacifica	Spiruline	Supplément alimentaire	
Earthrise	Californie, USA	Spirulina Organic	Spiruline	Renforce le système immunitaire et apporte des effets antioxydant	
Earthrise	Californie, USA	Green Blends Cleansing	Spiruline et chlorelle	Effet détoxifiant de l'organisme	
Yunnan Spirulina Co. Ltd	Chine	Spirin	Spiruline	Antifatigue, renforce le système immunitaire, normalise le gras dans le sang, inhibiteur de tumeur	
Martek Biosciences	Maryland, USA	Neuromins DHA	Extraits de <i>Cryptocodinium cohnii</i> et <i>Schizochytrium</i>	Important pour un développement optimal du cerveau et des yeux chez les bébés et aide à la santé cérébrale, visuelle et cardiovasculaire chez l'adulte	
Astavita	New-Jersey, USA	Asta-Real	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Puissant antioxydant	Supplément d'astaxanthine
Astavita	New-Jersey, USA	Skin Defense Complex	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Propriétés anti-âge, combat les radicaux libres pour une peau en santé. Réduit les rides.	Supplément alimentaire en forme de gélule
Valensa (U.S. Nutra	Floride, USA	Zanthin	Astaxantine extraite	Santé cérébrale et visuelle,	

Compagnie Products)	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétections	Autre information
Soliance	France	Spirucosm	d' <i>Haematococcus pluvialis</i> Extrait de Spiruline	protection contre les UV, puissant antioxydant. Apport de protéines et d'acides aminés et de vitamines B1, B12 et A. Propriétés anti-oxydantes, immunostimulantes, énergisantes et anti- inflammatoires.	
Soliance	France	Porphyricosm SOD	Extrait de <i>Porphyridium</i>	Lutte contre les méfaits des radicaux libres formés et engendrés par les expositions au soleil, aux oxydants et aux polluants extérieurs	
Georges Colleuil	France	Elixir 22	Spiruline	Antioxydant, antiradicalaire, immunostimulant	Extrait liquide (en ampoule) de spiruline fraîche
Elona Rose	France	Coup d'éclat en ampoules	Extrait de Spiruline	Éclat, lissage et fermeté de la peau	
Soliance	France	Chlorophycosm	Extrait de Chlorophycée	Molécules osmorégulatrices capables d'aider les cellules à maintenir leur potentiel hydrique	
Febico	Taiwan	Spichlo Energy Plus	<i>Spirulina platensis</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Cryptocodinium colnii</i>	Apport complet en nutriments, aide à surmonter le stress et la fatigue	Il existe toute une gamme de produits Spichlo faite à base de spiruline et d'autres ingrédients. Chaque formulation vise une clientèle particulière.

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétections	Autre information
Febico	Taiwan	Apogen	Allophycocyanine, C-phycocyanine, nucléotides et acides aminés extraits de spiruline	Propriétés anti-virales	Extraits de protéines de microalgues (protéines et nucléotides purifiés); formulation sous brevet US # 6346408
Vita Api	France	ProSelem	Spiruline	Améliore concentration et mémoire, renforce les défenses immunitaires, combat les agents cancérigènes, améliore la fertilité masculine, augmente la libido, lutte contre le stress, les états dépressifs et l'anxiété	
Now Foods Products	Floride, USA	Blue-Green Algae	<i>Aphanizomenon flos- aquae</i>	Supplément alimentaire	
Now Foods Products	Floride, USA	Chlorella	Chlorella	Supplément alimentaire	
Now Foods Products	Floride, USA	Spirulina	Spiruline	Supplément alimentaire	
Now Foods Products	Floride, USA	Green Phyto Foods	Chlorella et Spiruline	Supplément alimentaire	
Sun Chlorella	USA et Japon	Chlorella	Chlorella	Supplément alimentaire	
Algatech	Israël	Astaxanthin (Cold Water Dispersible Tablets, CO ₂ Extracted Oleoresin, Algae Biomass)	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Réduit l'inflammation, protège les cellules des dommages oxydatifs, stimule le système immunitaire, protège la peau des rayons UV	Composant pour suppléments alimentaires
SATMAR	Gatteville, France	Pâtes de	<i>Skeletonema</i>	Utilisation en cosmétique	Pâte concentrée



Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / préentions	Autre information
		microalgues	<i>costatum</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i> , <i>Tetraselmis tchui</i> , <i>Tetraselmis suecica</i> , <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Isochrysis sp.</i> , <i>Pavlova lutheri</i>		obtenue par la centrifugation de différentes espèces de microalgues

Tableau 4. Exemples de produits à base de microalgues et prétention des propriétés – nutrition animale

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétentions	Autre information
<i>Animaux de compagnie</i>					
Hagen	Canada	Tropicán	Spiruline	Alimentation des perruches	Ajout à une moulée
Hagen	Canada	Nutrafin	Spiruline	Alimentation des poissons	Ajout à une moulée
Sun Chlorella	USA et Japon	Pet Sun Chlorella	Chlorelle	Alimentation des animaux domestiques ; aide aux problèmes de perte d'appétit, à l'obésité, aux problèmes de poils et de peau	Gaufrettes pour animaux
Pet Solution	Ohio, USA Food	Pet Solution Spirulina	Spiruline	Aliment haut de gamme pour poissons d'aquarium herbivores dont le plecostomus et certains cichlidés. Facile à digérer donc ne pollue pas l'aquarium ; contient une forte concentration de plantes, incluant la spiruline ainsi que de la vitamine C stabilisée.	
Pet Solution	Ohio, USA	Pet Solution Spirulina Wafers	Spiruline	Nutrition haut de gamme pour les poissons herbivores ; ne pollue pas l'aquarium	
Reed Mariculture	Californie, USA	Phyto Feast	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Pavlova</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Thalassiosira weissflogii</i>	Contient toute la nutrition nécessaire pour les animaux filtreurs dans un aquarium, riche en omega-3,	Mélange de cinq espèces d'algues vivantes
The Coral Garden	Royaume-Uni	Phyto-Aqua	<i>Nannochloropsis</i>	Riche en DHA et EPA,	Algues vivantes pour

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétections	Autre information
DT's Plankton Farm	Illinois, USA	DT's Live Marine Phytoplankton	<i>Nannochloropsis oculata</i> , <i>Nannochloropsis salina</i> et <i>Chlorella</i>	bonne nutrition pour les clams, coraux, zooplanctons et larves de poissons Nutrition pour animaux filtreurs	aquarium Algues vivantes pour aquarium
That Coral Guy		Phyto-Gold	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Tetraselmsis</i>	Algues vivantes pour une performance maximale des coraux mous ou durs ainsi que des clams	Algues vivantes pour aquarium
BioNutrition	Laval, QC	BioPréparation	<i>Spirulina platensis</i> , <i>Dunaliella</i> et astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Réduction des désordres hormonaux, renforce l'action du système immunitaire, prévention des tumeurs cancéreuses, améliore la digestion et l'assimilation des nutriments, augmente l'endurance et l'énergie, régularise l'humeur, rend la peau et la fourrure saine, etc.	Supplément en capsules
Aquaculture					
Earthrise	Californie, USA	Natural Spirulina ou Organic Spirulina	Spiruline	Très riche en phytonutriments (phycocyanine, caroténoïdes, etc.). Pure, sans toxine algale, sans pesticides ou herbicides ni agents de conservation, faible taux de métaux lourds	Vendue en gros pour l'aquaculture
Reed Mariculture	Californie, USA	Instant Algae	<i>Nannochloropsis</i> ,	Variété de microalgues pour	Concentré vendu par

Compagnie	Localisation	Produit	Microalgue	Fonctions / prétections	Autre information
Reed Mariculture	Californie, USA	Rotifer Diet	<i>Pavlova</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Thalassiosira weissflogii</i> , <i>Amphora</i>	les besoins nutritionnels spécifiques, produit stabilisé	espèce de microalgue
Reed Mariculture	Californie, USA	Shellfish Diet	<i>Pavlova</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Thalassiosira weissflogii</i>	Les rotifères produisent davantage d'œufs avec cet aliment Bon profil nutritionnel	Mélange préparé spécialement pour les rotifères Mélange de quatre espèces de microalgues
SATMAR	Gatteville, France	Pâtes d'algues	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i> , <i>Tetraselmis tchui</i> , <i>Tetraselmis suesica</i> , <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Isochrysis sp.</i> , <i>Pavlova lutheri</i>	Aliment complémentaire pour mollusques filtreurs ; alimentation des artémias en aquarium	Pâte concentrée obtenue par centrifugation des microalgues
Febico	Taiwan	Microencapsulated feed	<i>Spirulina</i>	Haute teneur en protéines, haute digestibilité, bonne stabilité dans l'eau	
Cyanotech	Hawaii, USA	NatuRose	Astaxantine extraite d' <i>Haematococcus pluvialis</i>	Ingrédient alimentaire pour colorer la chair des salmonidés et améliorer l'apparence des poissons d'élevage	Huile concentrée en astaxanthine mono et diester.

3.3 Références

- Adrien Gagnon** <http://www.adriengagnon.com/>
- Algatech** <http://algatech.com/>
- Antenna Technologies** <http://www.antenna.ch>
- Astavita** <http://www.astavita.com>
- BioNutrition** <http://www.biosuperaliment.com/>
- Coral Garden** <http://www.shop-coralgarden.co.uk/>
- CSIRO** <http://www.marine.csiro.au/microalgae/supply.html>
- Cyanotech** <http://www.cyanotech.com/>
- DT's Plankton Farm** <http://www.dtplankton.com/phytoplankton/main.html>
- Earthrise** <http://www.earthrise.com/products.asp>
- Elona Rose** <http://www.elonarose.com>
- Enerex Botanicals** <http://www.enerex.ca/>
- Febico** <http://www.febico.com.tw>
- Flamant Vert France** <http://www.flamantvert.com/>
- Genuine Health** <http://www.genuinehealth.com/>
- Georges Colleuil** <http://www.georgescolleuil.com/Produits.php>
- Gourmet Nutrition** <http://www.gourmetfb.com/>
- Hagen** <http://www.hagen.com/canada/francais/>
- Herbal Select** <http://www.herbalselect.com/advantage.asp>
- Horizon Santé** <http://www.horizonsante.com/>
- Jamieson Laboratories** <http://fr.jamiesonvitamins.com/>
- Jean-Marc Brunet, Le Naturiste** <http://www.jmb-lenaturiste.com/>
- Johanne Verdon** <http://www.johanneverdon.com>
- Martek** <http://www.martekbio.com/>
- Mayaka International** <http://www.mayaka.com/>
- New Roots Herbal** <http://www.newrootsherbal.com/>
- Now Foods Products** <http://store.yahoo.com/nowcatalog/2693.html>
- Nu-Life Nutrition** <http://www.nulifevitamins.com/>
- Nutripur** <http://www.nutripur.com/>
- Pet Solution** <http://www.petsolutions.com/>
- Phyto-Cure** <http://www.phytocure.ca/>



Phyto-Santé Ltée <http://www.phytosante.com/>

Recherche GoVitalityGo http://www.govitalitygo.com/algae_fr.html

Reed Mariculture <http://contact.reed-mariculture.com/history.asp>

Royal Body Care <http://spirulina.sun-cell.com/>

Satmar <http://satmar.fr/>

Siam Algae Co. <http://www.siamalgae.com/>

Soliance <http://www.groupesoliance.com/>

Sun Chlorella <http://www.sunchlorellausa.com>

Swiss Natural Sources <http://www.swissherbal.ca/>

That Coral Guy <http://www.thatcoralguy.com/shipping.htm>

Ultra Bio-Logics Inc. <http://www.nutriteck.com/>

Valensa (U.S. Nutra Products) <http://www.usnutra.com/products/product.jsp?id=1>

Vita Api <http://www.proselem.com/>

Yves Ponroy <http://www.ponroy.ca/>

Yunnan Spirulina Co. http://www.chinapages.com/yunnan/kunming/spirin/spirin_i.html

4. Optimisation des conditions de culture et de production de microalgues

4.1 Caractéristiques recherchées pour la production de microalgues

Pour la conception d'un procédé de production susceptible de répondre à différents marchés, il est important d'évaluer les caractéristiques des microalgues ciblées afin de minimiser les coûts de fabrication, maximiser la productivité et ainsi assurer une rentabilité maximale.

Borowitzka (1992) cible six caractéristiques principales à considérer pour la mise en œuvre du développement et de la production des microalgues. Ces caractéristiques sont :

- 1- leur capacité de croissance en environnement extrême,
- 2- leur taux de croissance,
- 3- leur taille,
- 4- leur tolérance aux conditions environnementales (pH, illumination, salinité, etc.),
- 5- leur résistance aux forces de cisaillement*,
- 6- leur valeur commerciale.

La première caractéristique avancée par l'auteur est la capacité de croissance en environnement extrême. L'objectif principal de cette caractéristique est de pouvoir appliquer des conditions sélectives de croissance à la culture afin de réduire les risques de contamination, de compétition et de prédation par d'autres microorganismes. Ces conditions sélectives peuvent être des paramètres de pH, d'intensité lumineuse, de salinité et de température sélective acceptée par la microalgue ciblée et incompatible pour la plupart des autres types de microalgues. On choisira une espèce de microalgues dont le taux de croissance est rapide sous ces conditions sélectives, ce qui lui donnera un avantage compétitif face à d'autres microorganismes contaminants ou à d'éventuels prédateurs. Par contre, plus le taux de croissance est rapide, plus les cellules algales seront petites, ce qui entre en conflit avec la troisième caractéristique recherchée. En effet, plus les cellules algales sont de grandes tailles, et si possible filamenteuses ou coloniales, plus les coûts de récolte seront réduits mais cela signifie un taux de croissance moindre. Il est donc nécessaire d'arriver à un compromis entre la rapidité de croissance, la taille des microalgues obtenues et la rentabilité de la culture. Il faut aussi tenter de choisir une espèce de microalgues tolérant une vaste gamme de conditions environnementales (pH, contaminants, température, concentration en CO₂) ce qui permettra de réduire en partie la nécessité d'un contrôle strict et coûteux des conditions de culture ou encore d'appliquer des conditions sélectives de culture.

* Forces qui se manifestent dans le milieu de culture pendant la filtration et la centrifugation des microalgues pouvant entraîner la rupture des cellules.

Une particularité avec la plupart des espèces de microalgues couramment produites commercialement est leur capacité de croître dans un environnement hautement sélectif. Elles peuvent donc être cultivées en milieu ouvert (tout dépend de la région géographique) sans être trop contaminées par d'autres espèces de microalgues. Ainsi, *Chlorella* croît bien dans un milieu riche en nutriments, *Spirulina* préfère les milieux à pH élevé et une forte concentration en bicarbonate tandis que *Dunaliella salina* croît dans un environnement à forte teneur en sels. La croissance optimale de la cyanobactérie *Spirulina spp* et de la microalgue verte *Haematococcus* dépendent des sels nutritifs, de la température entre 28°C et 35°C, de l'intensité lumineuse entre 20 et 35K lux, et du pH alcalin.

Le nombre d'espèces pouvant croître dans de telles conditions est relativement restreint et la production nécessitera pour les autres espèces une approche en culture contrôlée. Dépendant des marchés visés et de la réglementation inhérente à ce marché, la culture des microalgues devra être aussi sévère et rigoureuse que la culture de microorganismes fongiques et bactériens, c'est-à-dire en appliquant des techniques de cultures aseptiques afin de favoriser une seule espèce de microalgues et en utilisant un système de contrôle des paramètres de culture. Pour la production de composés de chimie fine ou d'additifs alimentaires particuliers, ces conditions contrôlées sont obligatoires afin de permettre la manipulation des conditions de cultures (taux de croissance, éléments nutritifs et précurseurs, concentration en oxygène et gaz carbonique, etc.) et le conditionnement de la biomasse produite.

Certaines microalgues possèdent une bonne résistance aux forces de cisaillement. Cette particularité signifie que des méthodes de pompage et de brassage moins coûteuses pourront être utilisées pour les cultiver.

Enfin, la dernière caractéristique dépend des objectifs de valorisation de la biomasse cultivée. Il sera avantageux de choisir une espèce de microalgue ayant un important contenu cellulaire présentant une forte teneur en composés à haute valeur ajoutée, ou encore une espèce à valeur nutritive élevée.

4.2 Optimisation des facteurs de croissance des microalgues

Une fois la ou les microalgues retenues, il faut étudier les différents facteurs qui peuvent affecter leur croissance, et par conséquent leur productivité ou encore l'obtention de composés spécifiques. Les facteurs de croissance bien connus sont la lumière, la température, la source de carbone (CO₂ et carbone organique), l'oxygène, le pH et les nutriments. Ces facteurs sont à étudier pour chaque souche de microalgues et leurs métabolites ciblés puisque chacune des souches possède un métabolisme spécifique et donc des préférences environnementales pour sa croissance.

4.2.1 Lumière

Le principal facteur de croissance et aussi le principal facteur limitant celle-ci est sans aucun doute la lumière, source d'énergie essentielle à la photosynthèse. Elle prend

d'autant plus d'importance dans nos climats rigoureux : les photopériodes courtes représentent sept mois par année. Elles deviennent donc un facteur limitant la croissance des microalgues en milieu ouvert, et ce même si la température du milieu de culture est optimisée.

L'utilisation de lumière artificielle peut combler ce déficit bien qu'elle soit moins efficace que la lumière naturelle (Travieso *et al.*, 1992) que ce soit en serre ou en bioréacteur. Toutefois, dans les situations où la lumière naturelle n'est pas suffisante, l'éclairage artificiel devient la seule option viable. D'autres parts, encore une fois, en fonction du produit et des marchés visés, une croissance en mode non éclairé (hétérotrophe) de certains types de microalgues comme les dinoflagellés doit être sérieusement considérée (De Swaaf, 2003).

Pourquoi pas une production hétérotrophe sans lumière ?

Réf. : Schmidt *et al.* (2005)

Espèce ciblée : *Galdieria sulphuraria*, pour la production de phycocyanine.

Il est possible de faire croître dans un milieu de culture approprié différentes espèces de microalgues en conditions d'absence de lumière. Ce sont des conditions de culture en mode hétérotrophe. A titre d'exemple, Schmidt *et al.* (2005) ont investigué la production en mode cuvée et semi-continue de la phycocyanine produite par une microalgue rouge *Galdieria sulphuraria* par croissance en présence de glucose, fructose, sucrose ou mélasse de betterave. Cette microalgue a été capable de tolérer des concentrations en glucose et fructose aussi forte que 166 g/l (0,9M). Des concentrations en biomasse de l'ordre de 80 à 120 g sec/litre ont pu être obtenues en mode semi-continue. La productivité de phycocyanine en production semi-continue était supérieure aux valeurs habituellement atteintes dans les cultures à ciel ouvert de *Spirulina platensis*, où la phycocyanine est présentement produite commercialement.

Réf. Martek Bioscience Corporation (2005)

Espèce ciblée : *Cryptocodinium cohnii* pour la production d'omega-3 (acide docosahexaénoïque ou DHA)

Martek Biosciences possède des unités de production localisées au Kentucky et en Caroline du Sud (production et raffinage). Cette entreprise obtient de l'huile riche en DHA. Le procédé commence par une mise à l'échelle et se termine par l'étape finale de conditionnement de l'huile. Les microalgues sont cultivées dans des fermenteurs traditionnels de volume de 80 000 à 260 000 litres. Les Dinoflagellées sont par la suite récoltées par centrifugation et le concentré obtenu est séché par atomisation (spray dried). La biomasse sèche est alors broyée et baignée dans un solvant pour extraire l'huile. Le solvant est alors évaporé pour permettre l'obtention de l'huile brute. Le produit fini est un produit transparent, de couleur ambre et riche en DHA.

4.2.1.1 Photo-inhibition

Une intensité lumineuse trop élevée peut inhiber la photosynthèse et par conséquent la croissance algale. L'intensité lumineuse tolérable varie en fonction du type d'algues. Cette photo-inhibition est causée par un surplus d'électrons généré par la captation initiale des rayons solaires, lesquels vont saturer les récepteurs d'électrons du pigment photosynthétique.

Comme ces récepteurs agissent aussi comme semi-conducteurs, leur saturation empêchera donc le passage des électrons d'un pigment chlorophyllien à l'autre, inhibant ainsi la photosynthèse (Goldman et Home, 1994). A titre d'exemple, Cornet (1998) présente les effets de l'intensité lumineuse sur le taux de croissance des microalgues qui augmente de manière exponentielle entre 50 Watts/m² et 200 W/m². Puis, le taux de croissance atteint un plateau entre 200 W/m² et 300 W/m². Il s'agit de l'intensité de saturation. A partir de 300 W/m², on assiste à une diminution du taux de croissance proportionnelle à l'augmentation de l'intensité lumineuse. C'est la phase de photo-inhibition.

Les expériences de Talbot *et al.* (1991) ont permis de démontrer qu'il existe pour chaque espèce de microalgues une luminosité optimale variable en fonction de la température du milieu de culture. L'apport principal de ces travaux est un modèle mathématique permettant de visualiser la facilité des cellules algales à croître à l'intérieur d'une certaine variation d'intensité lumineuse. Les espèces algales doivent donc être étudiées en fonction de cet optimum d'éclairage et de la productivité en biomasse ou en composés biochimiques visés.

4.2.2 Température

En fonction du type d'algues, la température optimale de croissance ou d'obtention d'un métabolite particulier varie. Les températures élevées favorisent la croissance comparativement aux températures plus faibles (Goldman et Horne, 1994). Même si les microalgues peuvent survivre à une diminution de la température de leur milieu de culture, leur croissance en sera affectée, particulièrement parce que la température affecte la solubilité des gaz dans l'eau, tel que le CO₂, selon une relation inversement proportionnelle.

4.2.3 Carbone et pH

La quantité de CO₂ disponible affectera aussi la croissance des microalgues puisque c'est leur source privilégiée de carbone inorganique. Le CO₂ gazeux diffuse aisément dans l'eau et est utilisable directement par les cellules lors de la photosynthèse. Selon Goldman et Horne (1994), dans un milieu aqueux, la biodisponibilité du carbone inorganique est fonction d'un équilibre complexe entre le CO₂ dissout, l'acide carbonique (H₂CO₃), le bicarbonate (HCO₃⁻) et l'ion carbonate (CO₃²⁻).

La concentration en CO₂ dans le milieu de culture a un effet important sur le pH, le CO₂ réagissant avec l'eau pour former l'acide carbonique. L'apport d'une trop grande quantité de CO₂ ou l'ajout de sels de carbonate peut causer une altération accrue du pH

d'où la nécessité de retenir une souche de microalgue résistante à une vaste gamme de pH.

Les espèces de microalgues possédant la capacité d'auto-floculation sont intéressantes à utiliser pour faciliter leur récolte. Par contre, elles peuvent causer certains problèmes lorsque le floc atteint des proportions trop importantes. Le taux de transfert du CO₂ entre le film liquide entourant le floc et l'intérieur de ce dernier sera alors réduit (Talbot *et al.*, 1991).

Les microalgues démontrent des tolérances variables au CO₂. Récemment, plusieurs études ont porté sur les moyens de recycler le CO₂ responsable du réchauffement global de la planète par la production de microalgues (ex. : Institute of Materials Processing, Michigan Technological University). A titre d'exemple, différentes souches ont pu être sélectionnées pour leur tolérance supérieure au CO₂ (Chang and Yang, 2003; U.S. Department of Energy, 2003).

4.2.4 Éléments nutritifs

Il faut porter une attention particulière aux éléments nutritifs requis par les microalgues. Dans un contexte d'une production confinée, la conception d'un milieu optimal de culture alliée à l'utilisation de l'eau de mer sera cruciale. L'azote (N) et le phosphore (P) sont les deux principaux éléments nutritifs limitant la croissance des algues. Lors du calcul des quantités de nutriments nécessaires au plein développement des algues, il est important de tenir compte du phénomène de dégazage. Celui-ci affecte l'azote ammoniacal, en effet dans un milieu à pH élevé des pertes importantes d'azote peuvent ainsi se produire. C'est autour d'un pH de 7 que ce phénomène est le moins important, avec 20% de dégazage. Il faut donc impérativement tenir compte de ce phénomène dans le calcul du ratio C/N/P recherché dans le milieu de culture.

Pour leur croissance, les microalgues ont aussi besoin de fer (Fe), de manganèse (Mn), de cuivre (Cu) ainsi que de calcium (Ca), de potassium (K) et de soufre. Le fer est nécessaire à la fabrication de la chlorophylle. Finalement, il faut tenir compte du degré de salinité toléré par la souche algale choisie, qu'elle provienne d'eau douce, des estuaires ou des océans.

4.3 Mode de production de la biomasse microalgale

Avant d'aller plus loin dans les éléments de la production de microalgues, certains concepts doivent être introduits et définis plus précisément. L'encadré suivant présente certains de ces concepts.

Définitions utiles

Système fermé :

Équipement (fermenteur, photofermenteur, photobioréacteur, lignes de transfert, appareil de récolte, etc.) ou étape du procédé qui n'expose pas le produit en cours de production aux conditions externes. Un système fermé exige le contrôle sévère de la qualité des produits introduits ou retirés du système. La façon dont ces matières sont introduites ou prélevées doit aussi être soigneusement contrôlée. Lorsque la culture est effectuée en mode confiné permettant d'éviter la contamination par d'autres microorganismes, on dit que la culture est produite en mode aseptique.

Système ouvert :

Équipement ou étape du procédé qui expose la biomasse en cours de production aux conditions externes. Ex : culture en étangs, culture en réservoirs ouverts ou en lagunes, etc. sous serre ou non.

Système en continu :

Cultures où les nutriments sont continuellement ajoutés dans le système et la récolte de la biomasse produite se fait en continu. Ce système permet de maintenir les cultures à un taux généralement près du maximum de production.

Système en semi-continu :

Les cultures sont partiellement récoltées sur une base régulière avec apport ponctuel et graduel de milieu de culture frais pour combler le volume prélevé afin de poursuivre la production de la microalgue. Une variante de cette approche est le mode « fed-batch ».

Système discontinu :

La totalité de la culture est récoltée lorsque la production est maximale. Après chaque récolte, une nouvelle production peut être lancée. La culture est dite aussi en mode « batch » ou en cuvée.

Système stérile :

Cultures exemptes de microorganismes autres que la microalgue produite. Système de production qui nécessite la stérilisation stricte de tous produits et matériels en contact avec le milieu de culture afin d'éviter toute contamination bactérienne.

Système axénique :

Suivant une stérilisation du milieu de culture et des équipements de croissance, la culture axénique ou culture pure contient uniquement l'espèce de microalgue produite.

Il existe plusieurs types de systèmes de cultures de microalgues sur le marché. Le choix du système dépend de plusieurs facteurs. Les facteurs à considérer sont la biologie de la microalgue, le coût de l'espace nécessaire, le personnel requis, l'énergie, l'eau, les nutriments, le climat et le type de produit fini que l'on désire obtenir. Le tableau 5 présente les avantages et inconvénients des différentes approches.

Les systèmes de culture à grande échelle doivent aussi être comparés selon leur propriété telle que l'utilisation efficace de la lumière, la facilité à contrôler la température, le stress physique généré sur les microalgues, la maintenance du système,

le nettoyage et la sanitation, la pureté des produits obtenus et finalement, la facilité de la mise à l'échelle industrielle. Le choix final du système de production doit résulter d'un compromis entre toutes ces considérations et l'aspect économique (la rentabilité). Le succès d'une production de microalgues est lié à :

- l'utilisation d'un système approprié aux besoins réels de production,
- à la bonne connaissance de la physiologie de l'espèce choisie,
- des propriétés physiques de la microalgue à mettre en culture.

Tableau 5. Comparaison des différents systèmes de cultures de microalgues : avantages et inconvénients

Paramètres	Exemple	Avantages	Inconvénients
Culture intérieure	Cuve ouverte dans un bâtiment ou sous serre, en photobioréacteur (PBR).	Bon contrôle : photopériode, sanitation, contamination.	Plus coûteux qu'un système ouvert; éclairage artificielle et chauffage nécessaire en milieu nordique.
Culture extérieur	Culture à ciel ouvert, en lagune naturelle, en étang ou en bassin artificiel.	Coûts de production moins élevés.	Peu de contrôle (luminosité, contamination, sanitation, toxines des microalgues envahissantes, etc.); dépendant de la météo et des intempéries (voir encadré), sensible à la pollution environnementale; impossible en zones nordiques.
Fermé	Bioréacteur stérilisable ou non (le contrôle de stérilité peut s'appliquer à l'ensemble du réacteur ou au milieu de culture).	Faible risque de contamination, peu d'espace requis, culture d'une grande variété de microalgues, mode axénique possible, flexibilité de production, forte productivité, contrôle de la sanitation.	Très dispendieux.
Ouvert	Cuve ouverte sous serre, ou extérieure, en plateau, en étang, etc.	Coûts de production moins élevés.	Haut risque de contamination, faible nombre d'espèces de microalgues éligibles, exige des conditions très sélectives de croissance.
Culture aseptique sous condition de stérilité	Photobioréacteur stérilisable seulement incluant la stérilisation du milieu de culture	Fiable, moins sujet aux pertes de production. Peut être mise en œuvre en mode cGMP	Très dispendieux, difficile à opérer et demande un système de contrôle complet.
Non stérile	Photobioréacteur non stérilisable mais facilement nettoyable. Application en systèmes ouvert ou non.	Coût moins élevé, moins difficile d'utilisation.	Plus facile de perdre une production par la contamination d'autres microalgues et micro-organismes (champignons, levures, protozoaires et bactéries).
En continu	Applicable en système fermé ou ouvert, extérieure ou intérieure.	Efficace, donne des cellules de qualités, bon taux de production sur de longues périodes.	Difficile, bon seulement pour de petits volumes de production, dépenses reliées à l'équipement peuvent être importantes, la mutation des souches est possible en cours de production.
En semi continu	Applicable en système fermé ou ouvert, extérieure ou intérieure.	Facile, quelques fois efficace.	Qualité non-uniforme, moins rentable, difficile d'application.
En discontinu	Applicable le plus souvent en photobioréacteur ouvert ou fermé	Un système de lot peut être mis en place donc une traçabilité du produit peut facilement se faire. Modèle qui se rapproche plus du système cGMP.	Le temps requis pour la mise en route des lots de production fait augmenter les coûts de production.

Sensibilité aux intempéries de la production en milieu ouvert

Pacific Business News, August 2, 2004.

Rain notwithstanding, reasonably sunny quarter for Cyanotech

The Big Island antioxidant maker [Cyanotech Corp.](#) reports quarterly sales rose 11 percent from spring 2003 to spring 2004 and it ended the quarter in the black, despite problems resulting from the company getting rained on a lot. Spring sales were down from nearly \$3.3 million in winter sales because of unfulfilled orders due to lower production caused by inclement weather, the company said Monday. The company facility at Keahole Point normally gets wet weather in the winter and plans for it. But this year the same thing happened in the spring and the facility got 383 percent of normal rain. This resulted in a nutrient imbalance in the culture ponds, negatively impacting production. "While we are disappointed with the quarter's results that mark a departure from our recent trend of sequential quarterly increases in revenue and net income, we are encouraged with the progress we have made from a year ago," said CEO Gerald Cysewski. The quarter at a glance: Revenue: \$2.7 million. Year ago: \$2.4 million. Net income: \$113,000. Year ago: Loss of \$141,000. Per share: 1 cent. Year ago: Loss of 1 cent. Cost of production was also affected by the increased need for nutrients. This resulted in gross profit margin of 33 percent, down from the winter quarter but still better than year-ago levels. Overall costs were still lower than year-ago levels even with this problem. Cysewski says the business is finally generating sufficient cashflow to fund the expansion of production. Cyanotech uses water drawn from the deep Pacific off the Kona Coast to grow microalgae rich in antioxidants, which cleanse the blood of toxins. It sells nutraceutical pills for people, animal feed, and plant food, all containing astaxanthin, its antioxidant product.



Ferme de production de microalgues de Cyanotech (vue aérienne)

Il existe deux types de production de microalgues qui permettent l'obtention de biomasses et de produits biochimiques à haute valeur, la production en étang et celles en photobioréacteurs. Des compagnies productrices de microalgues sont présentées à la fin de cette section au Tableau 6.

Le premier mode, le plus traditionnel, consiste à cultiver les microalgues à ciel ouvert ou en serres en système ouvert, et en modes de culture en cuvée, semi-continu ou continu. Un brassage continu du milieu de culture est effectué et le CO₂ peut être injecté à différentes concentrations en fonction du type de microalgues cultivée. L'énergie lumineuse est fournie directement par la lumière solaire.

La production en étangs est la technologie standard la plus utilisée pour les grandes cultures commerciales de microalgues (ex. : Spiruline). Cependant ce mode de culture comporte plusieurs inconvénients (stabilité variable, sensibilité à la contamination et aux intempéries, importantes surfaces requises, applications confinées aux climats tropicaux ou subtropicaux) qui ont amenés le développement de différents types de production en milieu et en système fermé ou confiné utilisant entre autres la technologie des photobioréacteurs (PBR).

Compte tenu des applications très limitées en climat nordique pour les cultures d'algues en milieu ouvert, la présente étude met donc l'emphase sur les technologies de production en PBR.

Les sujets de transformation de microalgues après l'étape de production de biomasse ne sont pas considérés dans cette étude puisque les approches préconisées sont des adaptations de technologies déjà développées et appliquées à l'échelle industrielle pour la production de divers types de microorganismes non photosynthétiques (Bjorn *et al.*, 1994; Scriban, 1984). Les travaux à faire avec les microalgues consistent à adapter des procédures et méthodologies de transformation pour ces différentes technologies. Ces différentes approches concernent la filtration, la centrifugation, les différentes technologies de séchage et les technologies d'extraction.

La recherche sur la technologie des PBR pour la production de microalgues n'est pas récente et un grand nombre d'équipes à travers le monde ont travaillé sur ce sujet et ce depuis plus de 30 ans. Il existe de très nombreux modèles de PBR développés à différentes échelles de production, présentant différents niveaux de sophistication permettant de vastes possibilités d'applications commerciales (Borowitzka, 1999).

Les photobioréacteurs possèdent un avantage considérable sur les productions à aire ouverte : il est beaucoup plus facile de contrôler les conditions de croissance des microalgues et la qualité des produits finis. Dans un contexte où la production de microalgues doit conduire à une biomasse de haute qualité ou encore à des produits de chimie fine pour des marchés du secteur de la santé, le contrôle des conditions de croissance en PBR présente un avantage concurrentiel plus qu'important. Les conditions d'éclairage, de température, de pH ainsi que la concentration de CO₂ et d'oxygène, des éléments nutritifs et inducteurs peuvent être suivis et modifiés afin d'obtenir les

conditions optimales de croissance pour l'espèce ou la souche de microalgue choisie et les produits métaboliques recherchés (chimie fine).

Exemple de manipulation d'un système de croissance d'algues à exploiter en photobioréacteurs contrôlés.

Réf. : Tremblay *et al.*, 2002. Brevet CA 2395622

Espèces visées : *Chaetoceros gracilis* ou *Skeletonema costatum* (Diatomées)

Procédés d'enrichissement en lipides et en acides gras omega-3 dans les cultures d'algues

Tremblay et collaborateurs ont inventé un système de culture adapté à de nombreuses espèces d'algues en mode de production semi-continu. Ce système en milieu contrôlé optimise les concentrations d'algues tout en permettant un enrichissement en acides gras, spécialement en omega-3. Immédiatement à la fin de la phase de croissance exponentielle, les cultures d'algues sont soumises à un stress environnemental contrôlé entraînant une modification des processus métaboliques de fabrication des acides gras ciblés. Le stress de culture peut être amené simultanément ou concurremment par une limitation en silice, en d'autres nutriments ou par le contrôle de l'intensité lumineuse. Sous l'influence de ce stress, les algues cessent de se diviser pour emmagasiner des lipides sous la forme d'acides gras polyinsaturés et particulièrement de type omega-3. Les algues sont cultivées par une approche semi-continue à une température, un pH et des conditions d'illumination adaptées pour leur croissance. Plus précisément, les algues sont cultivées à des températures de 18°C à 20°C, à un pH de 7,5 - 8,0 et avec un éclairage sur un côté du flacon de culture à l'aide de tubes fluorescents. La photopériode est composée d'un cycle de 16 heures consécutives de lumière sur 24 heures. La croissance de la culture se fait graduellement. Au départ, la culture est contenue dans des erlenmeyers de 125 ml pour finir dans des contenants de 20 litres.

Réf. : Yim *et al.*, 2004

Espèces visées : *Gyrodinium impudicum* KG03, composés antiviraux.

Yim et collaborateurs expérimentent la production d'un composé antiviral (polysaccharide sulfaté) synthétisé par la microalgue *G. impudicum*. Les conditions de productions en culture axénique dans un PBR de 2 litres sont les suivantes : 1% de CO₂ avec un débit d'air de 50 ml/min, un milieu de culture spécifique à l'obtention du composé antiviral à une température de 22,5°C et une photopériode de 16 heures d'éclairage sur 24 heures. Le composé antiviral est utilisé contre le virus de l'encéphalomyocardite (EMCV).

Plusieurs modèles de PBR ont été testés jusqu'à maintenant, la plupart du temps dans des conditions expérimentales et à échelles relativement petites. Les résultats encourageants démontrent des efficacités de conversion photosynthétique pour la lumière visible de l'ordre de 20 à 24% (Benemann, 1997) ainsi que des productions dans des volumes de plus en plus importants. Il semble que les grandes percées

technologiques sont probablement atteintes (Mueller-Fuega, communication personnelle, juin 2005). Déjà, une commercialisation de certains modèles est débutée et des transferts technologiques sont en cours (Infors AG, 2006; Muller-Feuga *et al.*, 2004). Les modèles actuellement commercialisés s'inspirent tout simplement des diverses technologies de fermenteurs exploitées commercialement depuis plusieurs dizaines d'années. Enfin, d'autres approches plus simples exploitent des répétitions d'unités confinées en sacs ou en tubes horizontaux afin de favoriser la production de grandes quantités de biomasses que ce soit sous serres ou avec des systèmes d'éclairage artificiels.

Exemple de commercialisation

La société INFORS HT commercialise déjà un BPR de laboratoire, le Labfors Lux pour la production de microorganismes photosynthétiques.



Le Labfors Lux s'inspire des fermenteurs traditionnels de laboratoire utilisés pour la culture des bactéries et des champignons microscopiques (série Labfors3 d'Infors AG). Ce PBR est un fermenteur bench-scale de 2,4 litres de volume utile entouré de lumières lesquelles peuvent être contrôlées manuellement ou automatiquement.

Il existe différentes catégories de PBR se distinguant principalement par les moyens d'éclairage utilisés et des systèmes de mélange du milieu de culture. D'ailleurs beaucoup de travaux consistent à optimiser les moyens d'illumination de ce type de système. La limitation en énergie lumineuse est souvent le goulot d'étranglement dans l'augmentation de la productivité de la culture en bioréacteur (Suh et Lee, 2003). Une autre catégorie de PBR permettent aux microalgues d'utiliser directement la lumière solaire à l'aide d'une section ou d'un capteur laissant pénétrer celle-ci dans le milieu de culture (ex : utilisation de fibres optiques). Il est à noter qu'une approche hybride utilisant les deux types d'éclairage est aussi possible.

Plusieurs modèles ou conceptions de PBR ont été développés jusqu'à maintenant. Ils sont utilisés pour différents objectifs :

- production et maintien de banque de microalgues
- études expérimentales de la croissance de souches spécifiques

- obtention de composés de chimie fine et alimentaires
- production commerciale de biomasses destinées à différents marchés (produits de santé naturel, de l'alimentation animale, et du biomédical).

4.3.1 Les photobioréacteurs avec agitation pneumatique à éclairage externe

Les PBR avec agitation pneumatique sont des réacteurs dépourvus de dispositifs d'agitation mécanique. C'est l'introduction de gaz qui provoque l'agitation du contenu du PBR. En production expérimentale ou industrielle de microalgues, deux principaux types de réacteurs à agitation pneumatique sont utilisés, les PBR à colonnes à bulle et les PBR à boucle ou encore appelée à circulation interne (air-lift). Ces réacteurs sont souvent similaires à la conception de fermenteurs traditionnels pour la production de microorganismes non-photosynthétiques. Ils se différencient principalement par l'utilisation de parois transparentes permettant l'apport de lumière naturelle et/ou artificielle de l'extérieur vers l'intérieur du réacteur. L'éclairage externe au réacteur présente plusieurs avantages reliés entre autres à un nettoyage plus efficace et par la conception de photobioréacteurs complètement stérilisables à hautes températures (100°C à 121°C).

4.3.2 Les colonnes à bulle

Les colonnes à bulle sont probablement les PBR les plus simples et les moins coûteux à construire. Ils sont fabriqués de PVC, de verre ou de plexiglas transparent selon différentes configurations (cylindriques ou tubulaires, cuves, sacs, formes cubiques ou rectangulaires), dans lesquelles circulent le milieu de culture et les microalgues.

Ces conceptions de PBR préconisent une utilisation minimale de surface au plancher. Il s'agit de réacteurs dont la hauteur des colonnes est très supérieure au diamètre. Cela permet d'augmenter le temps de séjour moyen des bulles de gaz émises à la partie inférieure de la colonne pour favoriser le transfert gazeux dans le liquide ainsi que l'agitation du milieu de culture. L'éclairage naturel et/ou artificiel est produit à l'extérieur du bioréacteur à l'aide d'une très grande variété de mécanismes. La formation de bulles ascendantes provoque aussi le mélange.

La production de certains microorganismes (bactéries filamenteuses, moisissures) à l'aide des colonnes à bulles est très efficace. Elles conviennent aussi à la culture de tissus animaux, particulièrement sensibles aux actions de cisaillement. Cette approche a été appliquée dans le développement de PBR pour les microalgues. Des exemples de PBR tubulaires sont montrés dans les brevets US 5137,828, 5, 242,827 et 6, 174,720.

Les réacteurs typiques ainsi que des exemples d'applications spécifiques sont présentés dans les pages suivants.

Photobioréacteur de type colonne à bulles (« bubble column bioreactor »)

Réf. : Karube *et al.*, 1992.

Espèce testée : *Chlorella pyrenoidosa* (Algue verte)

Karube *et al.* rapportent l'utilisation d'un PBR en colonne à bulles utilisant un système d'éclairage composé de fibres optiques. Le système a été utilisé en laboratoire pour cultiver *Chlorella pyrenoidosa* dans un volume de 2,4 litres avec une alimentation en gaz par bullage variant entre 22 et 214 litres/heure. Le PBR est équipé d'un réseau de fibres optiques qui lui confère une surface d'éclairage correspondant à 5 800 cm²/litre de suspension algale. La lumière solaire est concentrée sur le ballot de fibres optiques par des lentilles de Fresnel. Celles-ci permettent à la lumière visible de pénétrer le milieu de culture, tout en empêchant la quasi-totalité des UV et 60% des infrarouges d'y entrer. Des lampes au xénon sont utilisées lorsque le rayonnement solaire est insuffisant. *Les taux de croissance obtenus dans ce réacteur sont 33 fois plus élevés que ceux retrouvés dans les étangs de culture renfermant la même espèce de microalgue.*

Réf. : Suzuki *et al.*, 1995.

Espèce testée : *Dunaliella tertiolecta* (Algue verte)

Le PBR est constitué d'un cylindre de verre contenant le milieu de culture, d'un système de contrôle, de distribution de CO₂ ainsi que de lampes fluorescentes éclairant le bioréacteur d'un seul côté. Le mélange air et CO₂ est injecté dans le bioréacteur par un tube de verre de 1 mm de diamètre placé au fond de ce dernier. Les bulles d'air et de CO₂ permettent d'assurer un brassage continu du milieu de culture. Ce mode d'aération est préféré afin d'éviter un stress hydraulique susceptible d'endommager les cellules algales. Après quelques essais, les conditions environnementales ont été fixées à 30°C, pour un pH de 7,6. Les performances de production ne sont pas connues.

Réf. : Rorrer *et al.*, 2004. Oregon State University.

Espèce testée : *Nitzschia frustulum* (Diatomée), pour la production d'un matériau nanocomposite d'oxyde de Si-Ge (CaSiO₃ et Ca₃GeO₅)

Production d'un matériel nanocomposite à l'aide d'une diatomée en PBR de 3 litres (diamètre interne de 7,6 cm et 4 lampes fluorescentes externes de 15W) avec une photopériode de 14 heures de lumière sur 24 heures. L'air contenant le CO₂ est stérilisé par un filtre de 0,2µm introduit à la base du réacteur. Deux étapes de culture sont utilisées afin de permettre l'obtention du matériel nanocomposite après cuisson à 800°C de la masse cellulaire obtenue.

Réf. Thepenier *et al.*, 1994.

Espèce testée : *Porphyridium cruentum*, pour la production d'acides gras polyinsaturés.

Le procédé breveté exploite un PBR fermé composé de colonnes tubulaires à bulles où les conditions de culture sont adaptées pour la production d'acides gras polyinsaturés (omega-3). La biomasse est retirée du réacteur ponctuellement afin de lui faire subir un traitement spécifique pour l'obtention des acides gras visés. Pour l'éclairage, le BPR est équipé d'une cellule solaire. L'objectif visé est d'optimiser la production de biomasse et la quantité des lipides riches en acides gras polyinsaturés. La productivité observée pour une culture en cuvée de 6 jours est de 10 g sec/m² surface occupée/jour pour un volume de réacteur inconnu.

Photobioréacteur Biocoil – unité de production de laboratoire

Développé par la compagnie australienne Biotechna Graesser (Watanabe et Hall, 1995)

Espèce testée : *Spirulina platensis*, pour la production de biomasse.

Le système inspiré des BPR avec colonnes à bulles, comprend un étage photosynthétique cylindrique composé de 60 m de tuyau flexible en PVC transparent, avec un diamètre interne de 1,6 cm et des parois de 0,3 cm pour un volume total de 12 litres; un échangeur externe de chaleur hélicoïdal comportant 10 m de tuyau flexible de PVC à l'intérieur duquel circule de l'eau provenant d'un bain thermostaté, un dégazeur, une pompe à air, une bonbonne de CO₂ et un compteur à gaz. Ce réacteur démontre un ratio d'utilisation de la surface du sol de 1/5,3 (Superficie occupée au sol et superficie interne illuminée du réacteur). Le PBR est éclairé 24 heures par jour, la température moyenne est de 36 ± 2° et un apport en gaz de 0,3 litre/minute. *Spirulina platensis* a été utilisée dans le PBR pour une efficacité photosynthétique (EP) de 5,45% ce qui correspond à une valeur plus élevée que celles retrouvées dans les cultures commerciales de Spiruline en étang. La production maximale de biomasse rapportée sur l'aire à la base du réacteur est de 30,2 g sec/m²-jour.

Photobioréacteur conique – unité de production de laboratoire

Réf. : Watanabe et Saiki (1997)

Espèce testée : *Chlorella* sp.

Watanabe et Saiki (1997) ont conçu un système semblable au Biocoil en optant pour une forme conique plutôt que cylindrique. Les composantes du BPR sont les mêmes. Ils ont réalisé deux modèles : le premier, pour des essais en laboratoire utilise une lampe halogène de 400 W pour une surface éclairée de 0,50 m² pour une superficie basale de 0,255 m² (ratio de 1/1,96). Le second utilise un éclairage naturel avec un ratio de 1/2. La partie extérieure du second PBR est recouverte de papier d'aluminium afin de bien pouvoir tester l'efficacité photosynthétique (EP) en lumière visible. L'éclairage était de 12 heures par jour. Les données recueillies lors de ces essais ont permis de déterminer lequel des deux types d'éclairage était le plus performant. En lumière artificielle le PBR a permis d'obtenir 21,5 g poids sec/jour.m² et une EP de 5,67%. L'utilisation de la lumière solaire montrait une EP de 3,04%.

Photobioréacteur tubulaire fermé pour culture axénique

Réf. : Hai *et al.*, 2000. Institut für Mikrobiologie der Westfälischen, Wilhelms-Universität Münster, Germany.

Espèces testées : *Synbechocystis* sp (cyanobactérie ou algue bleu), *Chlorella* sp.

Le PBR à culture axénique, d'un volume de 80 litres, est conçu pour une stérilisation complète à 121°C. Le réacteur est composé de plusieurs tubes de verre munis de ports d'entrées pour la mesure du pH, le contrôle du moussage du milieu de culture, la mesure de la densité optique ou encore pour l'addition de substrats. Une pompe modulaire permet l'agitation du milieu dans le réacteur. La température du milieu est contrôlée à l'aide d'une sonde Pt-100 et d'un échangeur de chaleur couplé à un thermostat. L'éclairage est fournie par trois panneaux de lumière composé chacun de 10 tubes fluorescents. Les performances présentées ne sont que préliminaires.

Photobioréacteur PEPPA unité de production industrielle

Réf. : Réal Fournier, communication personnelle, Juin 2005 (ISMER)

Espèces testées ou en étude : *Isochrysis galbana* (Tiso), *Paolova lutheri* (Mono), *Nannochloropsis sp.*(souche indigène), *Chaetoceros muelleri* (Chgra) et *Skeletonema costatum* (Skel). *Tetraselmis suecica* et *Chlorella* d'eau douce seront testées.

Le PBR PEPPA est un modèle complètement développée par l'ISMER (Institut des Sciences de la Mer, Rimouski). L'unité de base du PBR comprend un module de 6 cylindres en acrylique de 17 cm de diamètre par 213 cm de hauteur inter-reliés dans une base commune. Le volume utile d'un module de production est de 282 litres avec un ratio surface au sol/surface illuminée de 1 sur 2,4. Le module de production est conçu de telle sorte qu'il peut être rapidement démonté en ses composantes (base, couvercle, cylindres) pour l'entretien et le nettoyage. Le PBR est fermé hermétiquement par des attaches qui compressent des joints toriques sur la base et dans le couvercle. En production, les modules sont rangés côte à côte et des rampes d'éclairage sont insérées entre chaque module de façon à ce que les cylindres soient éclairés sur les deux côtés simultanément. Ces rampes d'éclairage sont composées d'un cadre de plastique dans lequel sont insérés 6 tubes fluorescents verticaux qui viennent s'aligner sur chacun des cylindres du photobioréacteur. Les modules de BPR sont munis d'accouplements mécaniques pour les relier entre eux et former au besoin un ou plusieurs blocs de production. Ainsi, les installations pour une production type de 4 500 L n'occuperaient qu'une surface au sol de 16 m² (281 L/m²). Selon les espèces et les conditions de culture appliquées (température, quantité de nutriments, qualité d'éclairage, pH, taux de dilution), la productivité peut varier de 150 à 500 g sec/m² éclairé/jour ou 441 à 1470 g sec/m² au sol/ jour (1,6 g à 5,2 g sec/litre/jour). Le PBR PEPPA a été développé pour la production de microalgues d'eaux froides en production monospécifique.

Le PBR PEPPA est conçu avec l'unité de traitement PEPPA permettant la préparation et la stérilisation du milieu nutritif et d'une unité de concentration SCAFT (brevet CA 2448184) pour concentrer les microalgues. L'objectif est de développer la technologie pour des concentrés de microalgues haut de gamme dont la qualité répond aux exigences de la nutrition *des mollusques en éclosion* et aux besoins de la recherche et de la production de composés à valeur ajoutée pour la chimie fine.



Photobioréacteur PEPPA



Unité de traitement PEPPA

Photobioréacteur à sacs

Réf. SeaCaps, www.seacaps.com

Espèces visées : Espèces variées pour les écloséries et la production de crevettes. Microalgues fourrage pour copépodes et rotifères utilisés comme aliments vivants pour les larves de poissons (turbot, bar, loup de mer, etc.).

Le système de production SeaCaps est constitué de 40 sacs disposés dans un support en treillis à raison d'un volume total de production 3200 litres à 8000 litres d'algues par jour, selon un prélèvement régulier (production semicontinue). L'eau de production est pasteurisé pour alimenter la culture principale et les cellules sont récoltées en phase post-logarithmique afin d'assurer la présence des acides gras polyinsaturés nécessaires à la qualité et à la santé des mollusques, poissons et crustacés. Des applications industrielles sont offertes pour produire des biomasses algales utilisées comme aliments santé et comme sources d'ingrédients pour les cosmétiques et de molécules actives dans les produits pharmaceutiques. La densité cellulaire est dépendante de la qualité de l'eau et de la qualité de l'éclairage. Les sacs de 500 litres sont opérés pendant environ 4 mois et sont par la suite remplacés. Les unités sont installées soit à l'extérieur, en bâtiments fermés ou majoritairement sous serres. Des capacités existent pour des productions de 1000 à 25 000 litres par jour. Une installation typique sous serre permet d'atteindre jusqu'à 4×10^6 cellules / ml. (Exemples d'application industrielle : productions de pétoncles en Norvège (Scalpro AS) et en Colombie Britannique (Innovative Aquaculture)).



Système SeaCaps

4.3.3 Les photobioréacteurs à circulation interne

En production microbienne, le bioréacteur pneumatique à circulation interne, ou encore réacteurs à boucle, est généralement conçu de la manière suivante. A l'intérieur du réacteur de forme cylindrique, un cylindre ou des chicanes en série délimitent deux zones : une zone centrale (l'intérieur du cylindre ou une zone entre les chicanes) et une zone périphérique entre les parois du cylindre et celle du bioréacteur ou à l'extrémité des chicanes. La suspension cellulaire est expansée dans la zone centrale ou aux extrémités des chicanes et est circulée vers le bas entre les parois du cylindre et les parois externes du bioréacteur. Les bioréacteurs pneumatiques à circulation interne sont généralement alimentés par injection de gaz à la base du cylindre centrale, ce qui provoque la circulation en boucle du milieu de culture. Des bioréacteurs de ce type sont à la base de nombreux procédés industriels de production microbienne et permettent l'obtention de très fortes densités de biomasses.



En production de microalgues, les conceptions retrouvées s'inspirent de ces approches bien connues en y ajoutant au besoin diverses technologies d'éclairage et des approches adaptées permettant d'optimiser la circulation interne du milieu de culture. Ce type de PBR sont préconisés afin d'augmenter le mélange, les échanges et les transferts de gaz, la circulation optimale des nutriments et un contact maximisé des cellules avec les sources de lumière (Niesing, 2002).

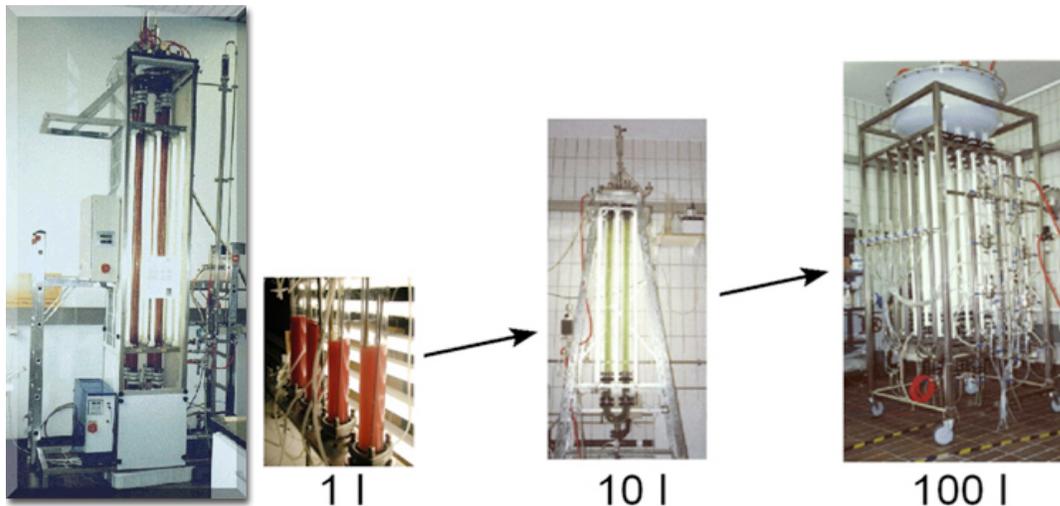
Photobioréacteur MEDUSA

Réf. : Institute of Bioprocess Engineering (IBE), équipe du Dr Christian Walter, ing.
Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nuremberg (Direction du prof. Dr. Rainer Bucholz). Données mises à jour en mai 2004.

Espèce testée : *Chlorella salina* (Walter *et al.*, 2003)

Composés de chimie fine : acides gras omega-3 et composés antiviraux.

Le système MEDUSA avec boucle de circulation interne est *stérilisable à la chaleur*. L'intensité lumineuse peut être régulée par un contrôleur externe. Jusqu'à présent, des réacteurs de 10 à 100 litres (10, 25, 60 et 100) ont été construits et un système à l'échelle de 1000 litres serait à l'étape des plans et devis. Le système MEDUSA est spécifiquement utilisé pour la culture d'organismes sensibles aux forces de cisaillement. Le mélange efficace permet un transport cyclique des cellules sur toute la surface illuminée. *Les réacteurs rencontrent les standards de bonne pratique de fabrication (GMP standard)*. Les travaux R-D de l'IBE sont orientés sur l'optimisation et l'établissement des paramètres de culture pleinement contrôlés visant la production de substances à haute valeur pour les marchés de la santé, particulièrement pour la recherche concernant les acides gras omega-3 et les composés antiviraux contre l'herpès humain. L'approche préconise entre autres des méthodes de cultures avec des sources uniques de carbone organique (croissance mixotrophique) permettant d'éviter les contaminations de celle-ci. Sous des conditions photoautotrophes, une concentration de biomasse maximale de 7,89 g/ litre (poids sec) et une productivité de 35 mg/l/h (8,4 g sec /l/j ou 840 g sec par jour pour un volume de 100 litres) a été obtenu en culture par cuvée (batch) avec une biomasse initiale de 0,03 g/l.



Système MEDUSA : Réacteur de 25 litres et mise à l'échelle

Le système MEDUSA est assisté par de plus petits modules de PBR pour le dépistage (PSM; « photobioreactor screening module »). Ils permettent d'effectuer des travaux de R-D sur de nouvelles souches de microalgues en petits volumes (1 litre). Les modules sont opérés comme des colonnes à bulles, sous des conditions monospécifiques et pertinentes à l'obtention de composés biopharmaceutiques. Les résultats obtenus en PSM sont alors transférés à l'échelle des PBR MEDUSA, en vue d'une validation de la mise à l'échelle et pour l'obtention de produits utilisés lors d'essais en recherche clinique.

4.3.4 Photobioréacteur à éclairage interne

De manière à maximiser le transfert d'énergie lumineuse aux cellules et donc la productivité algale, l'approche préconisée consiste à éclairer la culture de microalgues de l'intérieur. Le PBR est conçu de manière à ce que des tubes creux traversent la masse liquide de la culture. La source lumineuse (tubes néons) est insérée à l'intérieur des tubes creux ce qui permet d'illuminer la masse de liquide de façon optimale. Les tubes néons sont accessibles de l'extérieur du réacteur pour permettre, tout comme pour un éclairage hors réacteur, le remplacement et l'entretien de la source lumineuse artificielle sans stopper les opérations de production. Dans certains modèles, la surface externe des tubes creux en contact avec le milieu de culture sont munis d'un système de nettoyage par raclage. Certains exemples de ce type de PBR sont présentés dans l'encadré qui suit.

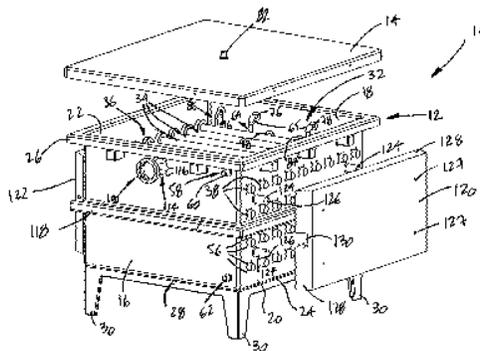
Sous toutes réserves de comparaison entre différentes espèces de microalgues, les données de productivités actuellement disponibles montrent des résultats inférieurs à ceux obtenus et répertoriés avec les PBR à colonne à bulles et plus particulièrement, pour ceux équipés d'une boucle interne de mélange et d'un éclairage externe.

PBR à éclairage interne

Réf. : Armstrong *et al.*, 2002. Conseil National du Canada. (Demande de brevet CA 2394518; United States Patent Application 20030059932, 2001) Halifax

Espèces testées : Aucune mention, domaines d'applications : production de microalgues pour éclosion, fourrage pour alimentation des rotifères, et biomasses algales pour l'utilisation comme nutraceutiques, produits de santé naturel, et produits à valeur ajoutée (chimie fine).

Ce PBR permet la production, à haute densité cellulaire, de microalgues libres de pathogènes sur de longues périodes. Le PBR est muni d'une série de tubes creux disposés entre les parois parallèles du réservoir de culture permettant d'insérer les tubes néons. Le réacteur n'est pas équipé d'un système de nettoyage des surfaces des tubes creux en contact avec le milieu de culture. Le PBR est équipé de systèmes de contrôle du pH, de la photopériode, du taux d'éclairage et de la température (injection d'un liquide refroidissant). L'injection d'air se fait à la base du réacteur afin d'assurer l'alimentation en CO₂, l'enlèvement de l'oxygène accumulé et le mélange de la culture. Le PBR peut-être fermé hermétiquement avec des entrées et sorties contrôlées. L'air et/ou le CO₂ peuvent être stérilisés par filtration. L'eau de mer ou l'eau douce utilisée pour la culture peut être pasteurisée ou stérilisée. Aucune production commerciale n'a été retracée avec ce système de PBR.

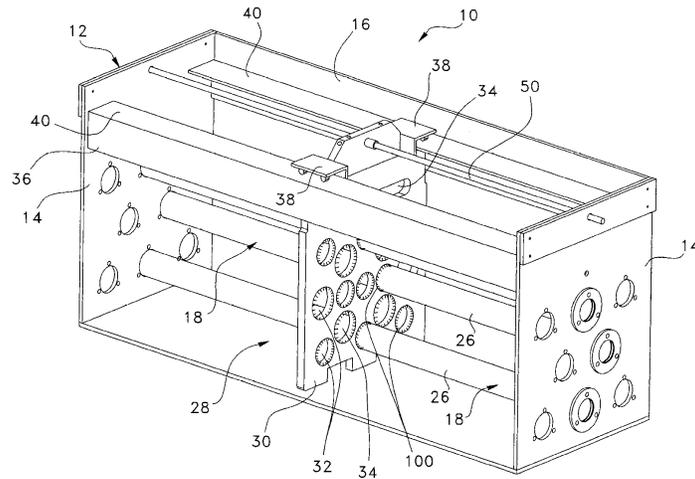


Photobioréacteur, Demande de brevet CA 2394518

Réf. : Dutil, 2002. CO₂ Solution Inc.

Espèce testée : *Spirulina platensis*, en biomasse sèche comme agent prophylactique dans les formulations d'aliments pour volailles.

Le réacteur est muni d'un système de nettoyage des surfaces externes des tubes creux isolant la source de lumière du milieu de culture. La distance séparant les tubes lumineux dépend de la densité cellulaire et du niveau de productivité désirée. Le PBR peut être conçu pour être stérilisé en utilisant des matériaux de construction adéquats (ex : PBR en acier inoxydable avec des tubes internes en verre). Une série de 50 PBR de 7,0 m³ (volume utile de 3,1 m³ pour un total possible de 155 000 litres) peut être utilisé pour la croissance de *S. platensis*. Dans un milieu de culture spécifique, *S. platensis* peut atteindre une densité cellulaire de 0,6 g sec /litre, pour une production de 250 kg sec/jour (1,6 g sec/l/jour). Actuellement, aucune production commerciale n'est connue avec ce système.



Photobioreactor, Patent No. US 6,602,703

Réf.: Mueller Feuga *et al.*, 2004 ; Mueller Feuga A., communications personnelles 2003 à 2005.

Photobioréacteurs de la série LAMP séries ALP, et ALPFORS

IFREMER (Institut Français pour l'Exploitation de la MER), licencié à INFORS AG (mise en marché était prévue en 2005)

Espèces testées : *Phorphyridium cruentum* et plusieurs autres espèces.

La technologie développée par l'IFREMER est un concept de PBR complètement contrôlés. Elle a été développée dans le but de manipuler la production de microalgues à une échelle de préparation pour des analyses biochimiques, la mesure d'activités de drogues et de médicaments, et pour l'extraction et la purification de composés à haute valeur ajoutée. Le PBR est constitué de boucles tubulaires incluant 8 chambres d'illuminations artificielles, organisées autour de tubes fluorescents, en disposition horizontale. Le matériel et la conception permettent la stérilisation à la vapeur sous des conditions sécuritaires. Le PBR est opérable en mode de production en cuvée et en continue. La productivité attendue et/ou obtenue est égale ou inférieure à 15,6 g/m²/j ou encore 0,29 g sec/l/jour et de 41 g/j. La dernière version du modèle de PBR (modèle ALPFORS) est équipée d'un module de production de 155 litres de volume total. Les prédictions de performances sont de 50 g/jour pour une productivité de 0,32 g sec/l/jour et 1,37g sec/l.

Plus de 10 espèces de microalgues ont été cultivées avec succès (espèces fragiles et extrémophiles). Cette technologie est maintenant en transfert technologique dans l'entreprise INFORS AG. Muller-Feuga *et al.* (2003) rapportent aussi une production en cuvée de 3,0 g sec/l et 0,7 g sec/l en chemostat (culture continue). Muller-Feuga *et al.* (1998) mentionnent que la productivité de *P. cruentum* obtenue avec cette technologie est dix fois supérieure à la productivité de la même espèce observée dans des réservoirs transparents conventionnels utilisés en écloséries d'entreprises aquicoles.

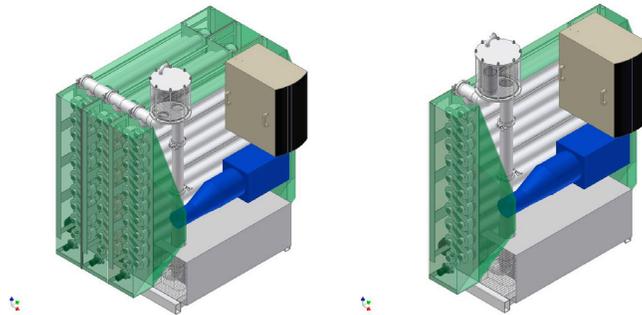


Image synthétique du module ALPFORS avec un et trois modules de production.



Les prototypes ALP2 et ALP3

4.3.5 Photobioréacteurs à chambre de croissance horizontale

Ces PBR sont fabriqués avec des tubes de verre de faible diamètre, disposés horizontalement. La turbulence provoquée par le pompage du milieu de culture assure le mélange et le contact lumineux avec les cellules photosynthétiques est optimisé. Ces systèmes sont généralement opérés sous serre. L'injection de CO₂ a lieu dans un réservoir indépendant utilisé pour la préparation du milieu de culture. La quantité de gaz injectée est contrôlée en fonction de l'ensoleillement. Seules les microalgues résistantes au cisaillement comme les *Chlorelles* peuvent être produites par ce type de PBR.

Réf. : Steinberg K.-H, M. Ecke et J. Ullmann. (2005).

Photobioréacteurs horizontaux sans bullage

Espèce produite : *Chlorella vulgaris* pour différents marchés

Le système de production de microalgue présenté est composé de 500 kilomètres de tubes de verre protégé par une serre. Cete immense structure de verre est divisée en 20 PBR indépendants, chacun opérant avec sa propre unité de contrôle. Le milieu de culture est pompé à travers les tubes de verre avec un débit garantissant un courant turbulent. Ce courant turbulent évite la sédimentation des cellules et permet à la lumière d'atteindre le plus uniformément possible celles-ci. L'alimentation en CO₂ s'effectue en relation avec la consommation de CO₂ des microalgues. Une partie de la culture est prélevée dans chacun des systèmes (mode semi-continue) lorsque la concentration cellulaire dépasse une valeur préalablement définie. La biomasse est concentrée par centrifugation puis séchée immédiatement par atomisation. Dépendant de la température et de la souche mère de microalgue utilisée, le système produit annuellement de 60 à 100 tonnes métriques de poudre de *Chlorella vulgaris*.



Système de production de Steinberg Produktions-und Vertriebs-GmbH und Co KG

Tableau 6. Identification de sites de production de microalgues au niveau national et international
Sites de production fermés – photobioréacteurs (R-D et/ou commercialisation)

Compagnie	Site Internet	Localisation	Microalgues	Autre information
ACOL, Department of Botany, University of Coimbra	http://www.uc.pt/botanica/ACOL.htm	Portugal	Voir le site Internet; plusieurs espèces	Collection de microalgues
Algatechnologies, Ltd.	http://algatech.com	Israël	<i>Haematococcus pluvialis</i>	
Algatek inc.	N/A-	Québec, Canada	<i>Haematococcus pluvialis</i> , Spirulines.	Projet d'entreprise en recherche de financement
AlgoBank-Caen Collection de Cultures de Microalgues	http://www.unicaen.fr/algobank/FR/catalogue/catalogue1.php	Basse-Normandie, France	Voir le site Internet; plusieurs espèces	Collection de microalgues
Bioprodukte Prof. Steinberg Produktions-une Vertheibs-GmbH und Co KG	http://www.bioprodukte-steinberg.de/	Klötze, Allemagne	Voir le site Internet	Production de 60 à 100t/année de poudre de <i>Chorella vulgaris</i>
CCMP, The Provasoli-Guillard National Center for Culture of Marine Phytoplankton	http://ccmp.bigelow.org	Maine, USA	Voir le site Internet; plusieurs espèces	Collection de microalgues
CSIRO, microalgae research	http://www.marine.csiro.au/microalgae/index.html	Australie	Voir le site Internet; plusieurs espèces	Collection de microalgues
Fitoplankton Marino	http://www.easyalgae.com/empresa_ing.asp	Espagne	<i>Nannochloropsis gaditana</i> , <i>Pavlova lutheri</i> <i>Isochrysis galbana</i>	

Compagnie	Site Internet	Localisation	Microalgues (Clon T-ISO)	Autre information
GreenFuel Technologies Corporation	http://www.greenfuelonline.com	Maine, USA	<i>Thalassiosira weissflogii</i> <i>Tetraselmis chunii</i> <i>Rhodomonas salina</i> <i>Chaetoceros gracilis</i> <i>Cryptocodinium cohnii</i> <i>Porphyridium cruentum</i> <i>Dunaliella salina</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i> <i>Skeletonema costatum</i>	Échelle pilote
Innovative aquaculture products	http://www.innovativeaquaculture.com	Colombie- Britannique, Canada	<i>Tahitian isochrysis</i> , <i>Isochrysis galbana</i> , <i> Pavlova lutheri</i> , <i>Nannochloropsis oculata</i> , <i>Chaetoceros-B</i> , <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	
Martek Biosciences	http://www.martekbio.com	Maryland, USA	<i>Cryptocodinium cohnii</i> et <i>Schizochytrium</i> sp.	
Mera Pharmaceuticals Inc.	http://www.aquasearch.com	Hawaii, USA	<i>Haematococcus pluviialis</i>	

Compagnie	Site Internet	Localisation	Microalgues	Autre information
Newco (nom provisoire)	N/A	Québec, Canada	<i>Isochrysis galbana</i> , <i>Pavlova Lutheri</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Nannochloropsis</i> sp.	Entreprise en démarrage
Promar AX	http://www.intravision.no/	Norvège	<i>Haematococcus pluvialis</i> et autres espèces de microalgues	Astaxanthine naturelle, marchés visés : cosmétique, produits de santé naturels, pharmaceutique et l'aquaculture
Reed Mariculture	http://www.reed-mariculture.com/	Californie, USA	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Pavlova</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Thalassiosira weissflogii</i>	
SATMAR	http://satmar.fr	Barfleur et St. Just-Luzac, France	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> , <i>Pavlova lutheri</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i> , <i>Tetraselmis tchui</i> , <i>Tetraselmis suesica</i> , <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Isochrysis</i> sp.,	
SeaCAPS	http://www.seacaps.com/	Kent, Grande-Bretagne	<i>Pavlova Lutheri</i> , <i>Tetraselmis suecica</i> , <i>Tahitian Isochrysis</i> ,	

Compagnie	Site Internet	Localisation	Microalgues	Autre information
The University of Texas at Austin The Culture Collection of Algae (UTEX)	http://www.utex.org	Texas, USA	<i>Chaetoceros muelleri</i> , <i>Chaetoceros ceratosporum</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Rhinomonas sp.</i> Voir le site Internet	Collection de près de 400 espèces de microalgues

Sites de production ouverts

Compagnie	Site Internet	Localisation	Microalgues	Autre information
Alpha Biotech	http://www.alpha-biotech.fr/	Bretagne, France	Spiruline	
BlueBioTech	http://www.bluebiotech.com/	Allemagne (+ joint venture en Chine)	Spiruline, Chlorelle	
Cognis	http://www.cognis.com	Australie	<i>Dunaliella salina</i>	En mer
Cyanotech	http://www.cyanotech.com/	Hawaii, USA	Spiruline (pacifica) <i>Haematococcus pluvialis</i>	Étangs ouverts
Earthrise*	http://www.earthrise.com	Californie, USA	Spiruline	Étangs ouverts
Hainan DIC Microalgae Co., Ltd.*	http://www.hidic.com.cn/html/011.htm	Chine	Spiruline	Étangs ouverts
Power Organics	http://www.klamathbluegreen.com	Oregon, USA	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	Dans le lac Klamath - Oregon
Siam Algae Co., Ltd.*	http://www.siamalgae.com	Thaïlande	Spiruline	Étangs ouverts
Sun Chlorella	http://www.sunchlorella.com	Java, Indonésie	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Siège social de la compagnie est situé au Japon
Yunnan Spirin Co., Ltd.	<a href="http://www.chinapages.com/yunnan/kunming/s
pirin/spirin.html">http://www.chinapages.com/yunnan/kunming/s pirin/spirin.html	Yunnan, Chine	Spiruline	Cultivée dans le lac Chenghai

* Filiale de Dainippon Ink and Chemicals Inc., site web de la compagnie : <http://www.dic.co.jp/eng/products/lina/index.html>

4.4 Références

- Food and agriculture organization of the United Nations. Site Internet: <http://www.fao.org>
- Earthrise Nutritionals. Site Internet: <http://www.earthrise.com/home.asp>
- ARMSTRONG, S.M., BAUDER, A.G., CRAIGIE, J.S. & STAPLES, L.S. (2002). Photobioreactor. Base de données sur les brevets canadiens. CA 2394518.
- BECKER, E. W. (1994). Microalgae biotechnology and microbiology. Cambridge University Press: 293.
- BELTER, P. A., CUSSLER, E. L. & HU, W. S. (1998). Bioseparations: Downstream Processing for Biotechnology. New York: Wiley.
- BENEMAN, J.R. (1997). CO₂ mitigation with microalgae systems. Energy Conserv. Mgmt. 38: S475-S479.
- BERMEJO ROMAN, R., TALALVERA, E. M. & ALVAREZ-PEZ, J. M. (2001). Chromatographic purification and characterization of α -phycoerythrin from *Porphyridium cruentum*. Semipreparative HPLC separation and characterization of its subunits. J. Chromatogr. A, 917: 135-45.
- BJORN, K. L., D'ELIA, N.A. & NELSON, Éd. (1994). Bioprocess Engineering- Systems, Equipment and Facilities. 805 Pp.
- BOROWITZKA, M.A. (1992). Algal biotechnology products and processes-matching science and economics. J. Appl. Phyco. 4: 267-79.
- BOROWITZKA, M.A. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermentors. J. Biotech. 70: 313-21.
- CHANG E.-H. & YANG, S.-S. (2003). Some characteristics of microalgae isolated in Taiwan for biofixation of carbon dioxide. Bot. Bull. Acad. Sin. 44 : 43-52.
- DE SWAAF, M.E. (2003). Docosahexaenoic acid production by the marine algae *Cryptocoinium cohnii*. Ph.D. Thesis. Agrotechnological Research Institute (ATO BV) The Netherlands. 135 Pp.
- DUTIL, F. (2002). Photobioreactor. United States Patent NO. 6, 602,703.
- FOURNIER, R. (Septembre 2002). Système de concentration de microalgues par filtration tangentielle.
- GOLDMAN, C.R. & HOME A.J. (1994). Limnology, second edition. McGraw-Hill Inc. New York, 1994. 576 pages.
- HAI, T., AHLERS, H., GORENFLO, V. & STEINBUCHER, A. (2000). Axenic cultivation of anoxygenic phototrophic bacteria, cyanobacteria, and microalgae in a new closed tubular glass photobioreactor. Appl. Microbiol. Biotechnol. 53: 383-9.
- Infors HT. 2006. www.infors-ht.com
- Institute of bioprocess engineering. Site internet: www.bvt.cbi.uni-erlangen.de/e_html/html/publik3.html

- KAJIWARA, S., YAMADA, H., OHKUNI, N. & OHTAGUCHI, K. (1997). Design of photobioreactor for carbon dioxide fixation by *Synechococcus* PCC 7942. *Energy Convers. Mgmt.* 38: S529-S532.
- KARUBE, I., TAKEUCHI, T. & BARNES, D.J. (1992). Biotechnological reduction of CO₂ emissions. *Adv. Biochem Eng. Biotech.* 19(45): 62-79.
- MACKAY, D. & SALUSBURY, T. (1988). Choosing between centrifugation and crossflow microfiltration. *Chem Eng (Lond)*, 477: 45-50.
- Market Biosciences Corporation (2005)
http://www.martekbio.com/Nutritional_Products/Introduction.asp
- MENDES-PINTO, M.M., RAPOSO, M.F.J., BOWEN, J., YOUNG, A. J. & MORAIS, R. (2001). Evaluation of different cell disruption processes on encysted cells of *Haematococcus pluvialis*: effects on astaxanthin recovery and amplifications for bio-availability. *J. Appl. Phycol.*, 13: 19-24.
- Michigan Technological University, Institute of Materials Processing. Site internet: www.imp.mtu.edu/matchar/boil.html.
- MOLINA GRAMA, E., BELARBI, E-H., ACIEN FERNANDEZ, F. G., ROBLES MEDINA, A. & CHRISTI, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnol. Adv.*, 20: 491-515.
- MULLER-FEUGA, A., LE GUÉDEZ, R., HERVÉ, A. & DURAND P. (1998). Comparison of artificial light photobioreactors and other production systems using *Porphyridium cruentum*. *J. Appl. Phyco.* 10: 83-90.
- MULLER-FEUGA, A., LE GUÉDEZ, R. & PRUVOST, J. (2003). Benefits and limitations of modeling for optimization of *Porphyridium cruentum* culture in an annular photobioreactor. *J. Biotech.* 103: 153-163.
- MULLER-FEUGA, A., LE GUÉDEZ, R., GUILLERME, M., GUTZWILLER, L. & HAWRYLENKO, A. (2004). The artificial light photobioreactor ALPFORS. Poster, Nantes, juin 2004.
- NIESING, B. (2002). Healthy algae. *Faunhofer Magazine.* 1: 16-17.
- OLAIZOLA, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomol. Engine.* 20: 459-66.
- PULZ, O. (2001). Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57: 287-93.
- RORRER, G.L., CHANG, C-H., LIU, S-H, JEFFRYES, C., JIAO, J. & HEDBERG, J.A. (2004). *J. Nanosci. Nanotech.*
- SCHMIDT R.A., WIEBE M.G., ERIKSEN N.T. (2005). Heterotrophic high cell-density fed-batch cultures of the phycocyanin-producing red alga *Galdieria sulphuraria*. *Biotechnol. Bioeng.* 90: 77-84.
- SCRIBAN, R. (1984). *Biotechnologie. Technique et documentation Lavoisier.* 2nd Édition. 662 Pp.
- STEINBERG K.-H, M. ECKE, J. ULLMANN. (2005). Experience with the world-largest glass tube photo bioreactor for *Chlorella* cultivation. Oral presentation. 6th European Workshop. European society of Micro Algal Biotechnology. May 23rd to 25th. Postdam, Germany.

SUH, I.S. & LEE, S.B. (2003). A light distribution model for an internally radiating photobioreactor. *Biotech Bioengineering*. 82: 180-9.

SUZUKI, T., MATSUO, T., OHTAGUCHI, K. & KOIDE, K. (1995). Gas sparged bioreactors for CO₂ fixation by *Dunaliella tertiolecta*. *J. Chem. Tech. Biotech.* 62: 351-8.

TALBOT, P., THEBAULT, J.M., DAUTA, A. & DE LA NOUE, J. (1991). A comparative study and mathematical modeling of temperature, light and growth of three microalgae potentially useful for wastewater treatment. *Water Res.* 25: 465-72.

TALBOT, P., LENCKI, R.W. & DE LA NOUE, J. (1990). Carbon dioxide absorption characterization of a bioractor for biomass production of *Phormidium bonheri*: comparative study of three types of diffuser. *J. Appl. Phyco.* 2: 341-50.

TRAVIESO, L., BENITEZ, F. & DUPEIRON, R. (1992). Sewage treatment using immobilized microalgae. *Biores. Technol.* 40: 183-7.

TREMBLAY, R., PERNET, F. & BOURGET, E. (2002). Patent application CA 2395622. Process for lipid and omega-3 fatty acid enrichment in algal cultures. Canadian Patents Database.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2003). Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory. Recovery & sequestration of CO₂ from stationary combustion systems by photosynthesis of microalgae. Project facts. Site internet: www.netl.doe.gov.

VERNERAY, A., ALBIOL, J., LASSEUR, C. & GODIA, F. (2001). Scale-up and design of a pilot-plant photobioreactor for the continuous culture of *Spirulina platensis*. *Biotechnol Prog.*, 17: 431-38.

WALTER, C., STEINAU, T., CERMSCH, N. & BUCHHOLZ, R. (2003). Monoseptic cultivation of phototrophic microorganisms-development and scale-up of a photobioreactor system with thermal sterilization. *Biomol. Engine.* 20(4-6): 261-71.

WATANABE, Y. & HALL, D.O. (1995). Photoxynthetic CO₂ fixation technologies using a helical tubular bioreactor incorporating the filamentous cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Energy Convers. Mgmt.* 36(6, 9): 721-4.

WATANABE, Y. & SAIKI, H. (1997). Development of a photobioreactor incorporating *Chlorella* sp. For removal of CO₂ in stack gases. *Energy convers. Mgmt.* 38: S499-S503.

YIM, J.H., KIM, S.J., AHN, S.H., LEE, C.K., RHIE, K.T. & LEE, H.K. (2004). Antiviral effects of sulphated exopolysaccharide from the marine microalga *Gyrodinium impudicum* strain KG03. *Mar. Biotech.* 6: 17-25.

5. Valorisation des biomasses, des produits et des coproduits

5.1 Produits à valeur ajoutée extraits de microalgues

Cette section fait une revue précise et à jour des molécules actives extraites et identifiées à partir des algues unicellulaires, les microalgues. L'information présentée considère aussi les algues pluricellulaires ou macroscopiques aussi nommées macroalgues afin de pouvoir apporter des comparaisons et supporter des orientations de R-D sur les microalgues. Cette revue est principalement tirée de l'excellent ouvrage du professeur J-M Kornprobst publié en octobre 2005 et intitulé : Substances naturelles d'origine marine. Néanmoins, d'autres sources de références récentes ont été consultées (CD-ROM Phytonutrition–Algues, CD-ROM MarinLit, PubMed, Cambridge Scientific Abstracts) afin de compléter les informations sur ce vaste domaine en pleine expansion.

La classification générale des algues et plus particulièrement celle associée aux espèces de phytoplancton eucaryote, subit depuis quelques années des modifications profondes en lien avec l'évolution des technologies d'identification basées sur la génomique. Le lecteur désirant approfondir le domaine de la nomenclature des microalgues et connaître les derniers développements de la classification de ce vaste groupe peut consulter les publications suivantes : Falkowski *et al.* 2004; Grzebyk *et al.* 2004; Keeling *et al.* 2004; Adl *et al.* 2005.

Certains groupes d'algues sont uniquement formés par des microalgues tandis que d'autres comme les algues vertes, rouges et brunes comportent des classes parfois entièrement, d'autres fois partiellement composées de micro- ou de macroalgues. Une classification très simplifiée de chacun des groupes d'algues est donnée sous forme de tableaux à l'annexe 2 afin de servir de référence au lecteur de cette section du travail.

5.1.1 Cyanobactéries (Cyanophycées ou Algues Bleues)

Procaryotes unicellulaires, les cyanobactéries aussi appelées cyanophycées ou algues bleues se retrouvent dans tous les biotopes marins, dulcicoles et terrestres. Il y a environ 7500 espèces décrites mais selon les travaux récents d'identification, il n'y aurait en réalité que 200 espèces différentes. 75 % des cyanobactéries sont marines, soit environ 150 espèces. Certaines peuvent vivre en eau douce ou salée et sont donc spécialement adaptées aux conditions des estuaires. D'autres sont fortement halophiles et ne vivent qu'en milieu très salé (marais salant, Mer Morte, etc.). Certaines espèces marines comme *Oscillatoria erythraea* vivent en pleine eau océanique. Cette Cyanophycée est très fortement pigmentée et sa présence en grande concentration dans la mer Rouge lui a d'ailleurs donné son nom. La majorité des espèces vivent en colonies plus ou moins importantes et appartiennent à la classe des Hormogoneae. Ce sont les cyanobactéries filamenteuses qui sont parfois visible à l'œil nu. Toutes les autres algues bleues sont de la classe des Chroococcales et ne forment pas de colonie.

Le tableau 7 présente les principales biomolécules actives et celles possédant un intérêt économique obtenues à partir de quelques espèces seulement de cyanobactéries. Ce groupe de microalgues possède des pigments photosynthétiques secondaires qui remplacent la chlorophylle *b*, ce sont les phycobilines. Les phycobilines sont des chromoprotéines solubles représentées par la phycocyanobiline (bleue) et la phycoérythrobyline (rouge). Ces deux molécules sont très proches des pigments biliaries des mammifères, soit la bilirubine et la biliverdine (Brown *et al.* 1990). Les groupements prosthétiques respectifs de ces deux pigments (phycocyanine et phycoérythrine) sont commercialisés depuis quelques années dans différents secteurs de marché. Ils servent de réactifs fluorescents dans plusieurs tests diagnostics pour le domaine biomédical ainsi que comme pigments naturels pour les aliments et les cosmétiques (Yamagushi, 1997; Bermejo *et al.* 2003). La phycocyanine a aussi été identifiée comme un inhibiteur de la lipase pancréatique chez le rat tout comme un composé glycolipidique (Hb-2) isolé de *Arthrospira platensis* (Han *et al.* 2006). Cette activité pourrait avoir un intérêt dans le traitement des problèmes d'hypertriglycémie chez l'homme en limitant la digestibilité des lipides alimentaires.

Bien que le genre *Arthrospira* anciennement nommé *Spirulina* soit le plus connu des cyanobactéries (suppléments alimentaires), le plus grand nombre de biomolécules actives provient jusqu'à présent du genre *Lyngbya*. Ce genre est très représentatif des propriétés biologiques des Cyanobactéries en général soit leur toxicité. Cette caractéristique les rend dangereuses pour l'environnement. Dans des cas spécifiques d'importante prolifération cellulaire, elles sont associées à la production de toxines. Cette propriété est aussi utile puisque certaines de ces toxines peuvent servir de modèles pour l'obtention de médicaments originaux (Burja *et al.* 2001; Kornprobst, 2005).

La recherche d'extraits et de molécules actives par criblage à plus grande échelle sur des espèces de Cyanobactéries reconnues pour leur toxicité permettrait très probablement d'obtenir de nouvelles structures chimiques d'intérêt pour la lutte contre certaines maladies métaboliques et infectieuses.

Tableau 7. Molécules actives extraites des cyanobactéries

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Plusieurs genres mais plus particulièrement <i>Spirulina</i> sp.	Phycocyanine Phycéoérythrine	Pigments	Pigments fluorescents utilisés comme réactifs dans des tests diagnostics et comme pigments naturels dans les aliments et les cosmétiques.	1985 1988 2005
	Phycocyanine	Pigments	Inhibiteur, dose dépendant, de l'activité enzymatique de la lipase pancréatique <i>in vivo</i> chez le Rat. Diminution de l'absorption intestinale des lipides.	2006
	Glycolipide H-b2	Glycolipides	Inhibiteur, dose dépendant, de l'activité enzymatique de la lipase pancréatique <i>in vivo</i> chez le Rat. Diminution de l'absorption intestinale des lipides.	2006
<i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>platensis</i>	Non identifiée	Polysaccharides	Effet anti-tumoral <i>in vivo</i> chez la Souris. Améliore l'inhibition de la prolifération du CFU-GM et de l'apoptose induite par la CTX (cyclophosphamide) sur des cellules hématopoïétiques.	2002
	Non identifiée	Polysaccharides	Activité immunostimulante <i>in vivo</i> . Augmente le taux des globules blancs et des cellules nucléées et de l'ADN de la moelle osseuse chez les souris (30-60 mg/kg) mais n'a pas d'effet sur les globules rouges et sur l'hémoglobine. Augmente le taux des globules rouges, des globules blancs, de l'hémoglobine dans le sang et des cellules nucléées de la moelle osseuse chez les chiens (12 mg/kg).	2001
	Extrait aqueux		Activité immunostimulante <i>in vivo</i> chez l'Homme. Améliore les fonctions NK (Natural Killer) représentées par la production d'IFN γ et la cytolyse chez plus de 50 % des sujets ayant consommés l'extrait algal.	2002
	Extraits à l'eau chaude		Activité antivirale <i>in vitro</i> contre HSV-1, HSV-2, PRV et HCMV. Inhibition de 50 % de l'infection aux concentrations variant de 0,069 à 0,333 g/l.	2002

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>maxima</i>	Extraits lipidiques		Effet hépato-protecteur <i>in vivo</i> chez des Rats présentant des stéatoses hépatiques induites par une injection intra-péritonéale de CCl ₄ (tétrachloroéthane).	1999
	Extraits éthanoliques		Effet antihypertenseur <i>in vitro</i> . Produit une diminution dose-dépendante (60 à 1 000 mg/l) de la contraction des anneaux aortiques due à la phényléphrine. Aucun effet observé en présence de carbachol.	2001
<i>Spirulina platensis</i> , <i>Aphanizomenon</i> <i>flos-aquæ</i>	Immunulina Immunion	Polysaccharides	Activité immunostimulante importante <i>in vitro</i> . Les valeurs EC ₅₀ de ces polysaccharides pour l'activation immunitaire sont comprises entre 20 et 110 mg/l (environ 10 pM). Ils sont entre 100 à 1000 fois plus actifs pour l'activation des monocytes que les préparations de polysaccharides couramment utilisées dans l'immunothérapie du cancer.	2001
<i>Aphanizomenon</i> <i>flos-aquæ</i>	Extraits aqueux		Activités immunostimulantes <i>in vivo</i> chez l'Homme par l'activation des monocytes similaires aux réponses montrées par les lipopolysaccharides bactériens (LPS).	2001
	Extrait cellulaire total		Effet antimutagène <i>in vitro</i> (tests d'Ames) contre le Nitrovin.	1994
<i>Aphanizomenon</i> <i>flos-aquæ</i> , <i>Tychonema</i> <i>bourrellyi</i> , <i>Microcystis</i> <i>aeruginosa</i> , <i>Micrococcus luteus</i> <i>Cylindrospermopsis</i> <i>raciborskii</i>	Extraits éthanoliques et méthanoliques		Les extraits méthanoliques ont le pouvoir antibactérien le plus prononcé <i>in vitro</i> .	1998
<i>Microcoleus</i> <i>lyngbyaceus</i>	Téveuniamides A-K	Dérivés polychlorés d'amides	Toxines marines dont la forme G est la plus toxique pour les larves de crevette (Dose létale, DL ₅₀ = 1,0 µg/mL).	2004

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Nombreuses espèces dont <i>Lyngbya majuscula</i>	Lyngbyabellines A et B	Cyclodepsipeptides	Propriétés cytotoxiques et antifongiques	2000
	Malyngamides	Amides chlorées	Nombreuses propriétés biologiques dont, antimicrobiennes, ichtyo-toxiques, antiappétants, cytotoxique, immunosuppresseurs.	2001
<i>Lyngbya majuscula</i>	Curacines A, B, C et D	Cyclopropane thiazoline	Puissants antimitotiques donc anti-cancers potentiels. La curacine A et des analogues structuraux ont été brevetés en 1998.	1994, 1995, 1998
	Microcolines A et B	Pentapeptides	Intenses propriétés immunosuppressives et antiprolifératives.	1992
	Laxaphycines A et B	Polypeptides	Activités cytotoxiques et antifongiques	1997
	Ypaoamide	Dipeptides	Fortement antiappétants	1996
	Antillatoxine B	Cyclodepsipeptides	Propriétés neurotoxiques	2001
	Apratoxine A	Cyclodepsipeptides	Très fortement cytotoxique <i>in vitro</i> pour différentes lignées tumorales humaines avec des DL ₅₀ de 0,36 à 0,52 nM.	2001
	Pitipeptolides A et B	Cyclodepsipeptides	Modérément cytotoxiques	2001
	Majusculamide C	Cyclodepsipeptides	Activité antifongique	1984
	Lyngbyastines 2	Cyclodepsipeptides	Activités cytotoxiques	1999
	Lyngbyatoxine A	Alcaloïde indolique	Composé cytotoxique responsable de dermatites des baigneurs à Hawaii.	1979
<i>Lyngbya majuscula</i> <i>Schizothrix</i> sp.	Lyngbyastines 1 et 3	Cyclodepsipeptides	Activités cytotoxiques	1998 2003
	Apramides A-G Tasiamides A et B Micromides	Peptides linéaires	Toutes ces molécules sont cytotoxiques	2000, 2002, 2004
<i>Simploca</i> sp.				

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Lyngbya majuscula</i> <i>Oscillatoria nigroviridis</i>		Bromophénols substitués par une macrolactone	Cytotoxiques et irritants puissants. Provoquent des dermatites sévères aux baigneurs à Hawaii.	1991, 1997, 1998
	Palau'amide	Cyclodepsipeptides	Très fortement cytotoxique <i>in vitro</i> pour les cellules KB avec un DL ₅₀ = 13 nM.	2003
<i>Lyngbya</i> sp.	Ulongapeptine		Fortement cytotoxique <i>in vitro</i> pour les cellules KB avec un DL ₅₀ = 0,63 µM.	2003
<i>Nodularia spumigena</i>	Nodularine	Polypeptides	Hépatotoxique	1988
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Microcystines	Polypeptides	Hépatotoxiques	1988
	Microginines	Peptides	Inhibiteurs des zinc métallo-protéases donc influencent plusieurs systèmes physiologiques.	2000
<i>Microcystis</i> sp.	Aéroginosines	Tripeptides sulfatés	Inhibiteurs enzymatiques.	1995
<i>Oscillatoria</i> sp.				1996
<i>Schizothrix</i> sp.	Schizothrine A	Undécapeptides cycliques	Forte activité antibactérienne	1994
<i>Simploca</i> sp.	Tasipeptine A	Cyclodepsipeptides	Fortement cytotoxique <i>in vitro</i> pour les cellules KB avec un DL ₅₀ = 0,93 µM. Fortement cytotoxique <i>in vitro</i> pour les cellules KB avec un DL ₅₀ = 0,82 µM.	2003
	Tasipeptine B			2003
<i>Oscillatoria agaralhui</i>	Microviridines D et E	Cyclodepsipeptides	Inhibiteurs de la sérine protéase. Cet enzyme intervient dans certains troubles cardiovasculaires.	1996
Très nombreuses espèces dont <i>Scytonema</i> ssp.	Scytonémine	Pigments dimériques	Molécule présentant une propriété anti-radicalaire. Pigment qui absorbe dans les trois domaines de l'UV : UV-A, UV-B et UV-C.	1849 1993
<i>Scytonema</i> sp.	Tolytoxine Scytophycines B et E	Macrolides non peptidiques	Propriétés cytotoxiques.	1986 1990

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Scytonema varium</i>	Scytovirin	Protéine	Antivirale topique potentielle contre le HIV en essais précliniques.	2006
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Cylindrospermopsine	Polycétides	Composés fortement hépatotoxiques.	1992
<i>Umezakia natans</i>	Désoxycylindrospermopsine			1999

5.1.2 Lignée des Algues Brunes

La lignée des algues brunes est divisée en quatre grands groupes, les Straménopiles, les Alveolates, les Haptophytes et les Cryptophycées. Nous n'avons pu trouver d'information pertinente sur les biomolécules actives provenant du groupe des Cryptophycées.

Les Straménopiles

Les Straménopiles sont divisés en plusieurs groupes distincts dont:

- Les Bacillariophyceae (Diatomées)
- Les Chrysophyceae (Algues dorées)
- Les Phaeophyceae (Algues brunes)

Ainsi les deux premiers groupes représentent des organismes monocellulaires (microalgues) tandis que le troisième est composé essentiellement d'algues pluricellulaires (macroalgues).

Bacillariophyceae (Diatomées)

Les Diatomées sont extrêmement répandues dans les mers et les océans du globe. Elles constituent l'immense majorité du phytoplancton marin, soit 95 à 98 % ce qui représente 30 000 à 50 000 espèces. Elles sont responsables de la majeure partie de la photosynthèse océanique. Les diatomées sont aussi fortement représentées dans les eaux douces et les milieux humides où l'on retrouve de 50 à 70 % des 100 000 espèces actuellement identifiées.

Les diatomées possèdent une paroi cellulaire solide constituée de silice, la frustule elle-même enrobée de mucopolysaccharides. Chacune des cellules est composée par deux frustules s'emboîtant l'une dans l'autre comme une boîte et son couvercle. Un facteur limitant de la croissance des Diatomées est la quantité de silice du milieu qui permet une autorégulation des blooms de ces espèces.

Les diatomées sont divisées en deux ordres : les Centrales et les Pennales. Le premier ordre est composé de cellules de forme globalement circulaire et à symétrie radiale tandis que les Pennales possèdent une forme allongée comme une plume avec une symétrie bilatérale. Les Centrales sont généralement planctoniques et les Pennales très souvent benthiques cela étant due à une question de flottabilité plus marquée pour les microalgues circulaires. Généralement, la taille cellulaire des Diatomées varie de 20 à 50 μm mais certaines formes coloniales filamenteuses peuvent atteindre une longueur de 2 mm.

Les données chimiques et biochimiques sur les métabolites primaires et secondaires des diatomées sont peu nombreuses. Cela est encore plus évident lorsque l'on fait un rapport avec leur abondance relative dans les différents milieux marins de la planète.

À l'exception de leur forte teneur en lipides membranaires généralement riches en acides gras polyinsaturés, les diatomées ne sont pas reconnues comme une source importante de biomolécules actives (Voir le tableau 9). De la dizaine d'espèces de diatomées couramment cultivées, celle qui synthétise et accumule la plus forte teneur en l'acide eicosapentaénoïque (EPA) est *Skeletonema costatum* (Kornprobst, 2005). L'EPA ou l'acide gras 20 : 5 *n*-3 est une molécule qui présente un intérêt grandissant comme ingrédient pour différents produits de santé naturels.

L'espèce *Nitzschia pungens* est peut être une exception dans le groupe des diatomées. En effet, deux types différents de molécules présentant des activités métaboliques intéressantes ont été isolés de cet organisme. D'autre part, il est fort probable que plusieurs nouvelles molécules d'intérêt puissent être identifiées à l'aide d'une recherche structurée qui cible les familles de diatomées les plus susceptibles de produire des composés actifs. En effet, deux facteurs permettent d'appuyer cette hypothèse soit le nombre important de genres et d'espèces de diatomées et le très faible nombre de ceux-ci ayant été au moins partiellement criblés.

Tableau 8. Molécules actives extraites des Bacillariophyceae

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Nombres dont <i>Skeletonema</i> <i>costatum</i>	Acide eicosapentaénoïque (EPA) ou 20 :5 n-3	Acides gras polyinsaturés de la famille des omega-3	Propriétés nutritionnelles et physiologiques importantes et diverses. Protection contre les maladies coronariennes, développement des neurones et des tissus nerveux des nouveau-nés ainsi que protection de la santé mentale. Concentration importante jusqu'à 30 % des lipides de la cellule.	1998 2003
<i>Navicula delognei</i>	Ester du phytol avec EPA	Dérivés terpéniques	Propriétés antibactériennes notables.	1984
<i>Phaeodactylum</i> <i>tricornutum</i>	Dérivés de fragmentations de la fucoxanthine (pigment caroténoïde)		Propriétés antiappétantes.	1995
	Extraits hydrosolubles		Activités anti-inflammatoires, antalgiques et antioxydantes <i>in vitro</i> . Ces activités ne sont pas détectées dans les fractions liposolubles.	2001
<i>Nitzschia pungens</i>	Extraits aqueux de polysaccharides	Polymères de glucides	Effets anti-inflammatoire <i>in vivo</i> et immuno-stimulent <i>in</i> <i>vitro</i> et <i>in vivo</i> .	2003
	Acide domoïque	Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)	Provoque des troubles neurologiques dont une perte de mémoire et dans certains cas, la mort. Utilisée en Asie comme vermifuge et insecticide.	1989 1993 1996
	Bacillariolides I et II	Lactones	La forme I est un inhibiteur de la phospholipase A ₂ . Permettrait de limiter l'absorption des lipides dans le tractus digestif. Pourrait aussi limiter la mise en place du processus inflammatoire.	1996

Chrysophyceae (Algues Dorées)

Les Chrysophycées se distinguent des Bacillariophycées, vus précédemment, par l'absence d'une véritable frustule. Les espèces marines sont estimées à environ 200, soit 20 % de toutes les espèces d'Algues dorées. Cela expliquerait le faible nombre de travaux sur la chimie consacrés à ce groupe de microalgues. Le tableau 3 de l'annexe 2 donne une classification très simplifiée ainsi que les genres utilisés jusqu'à présent pour les travaux de recherche sur la biochimie des Algues Dorées.

Leur composition générale en acides gras est analogue à celle des diatomées à part quelques exceptions. Les genres *Ochromonas* et *Poterioochromonas* sont totalement dépourvus des acides gras 16 :3 et EPA tandis que l'acide gras majoritaire est le 18 :2 *n*-6 ou l'acide linoléique (Kornprobst, 2005).

La seule molécule active isolée de ce groupe de microalgues jusqu'à présent est la Malhamensilipine A (Tableau 10). Ce composé original est un inhibiteur de la protéine tyrosine kinase (PTK). Ce type de composés est spécifiquement utilisé dans le traitement de certaines leucémies myéloïdes chroniques (LCM) et des cancers pulmonaires à petites cellules. Les tyrosines kinases sont des enzymes clés du contrôle positif de la multiplication cellulaire. Fréquemment des mutations de proto oncogènes en oncogènes sont dues justement à des mutations du domaine kinase rendant l'activité tyrosine kinase constitutive et non régulable (Aaronson, 1991; Druker *et al.* 1999; Krystal *et al.* 2000).

Tableau 9. Molécule active extraite des Chrysophyceae

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Poteroochromonas malhamensis</i>	Malhamensilipine A	Dérivé chloré d'un acide gras (C ₂₄)	Inhibiteur de la tyrosine kinase (PTK), composé présentant un intérêt potentiel dans le traitement de certaines leucémies agressives et cancers pulmonaires à petites cellules.	1994 1999 2000

Phaeophyceae

Le phylum des Phaeophyceae compte environ 1 500 espèces à 99,7 % marines. La quasi-totalité de celles-ci sont pluricellulaires et macroscopiques, les Phaeophyceae sont donc des macroalgues marines contrairement aux autres embranchements de la lignée brune, les Bacillariophyceae (Diatomées), les Chrysophyceae (Algues Dorées) présentés précédemment.

Les Phaeophyceae sont présentes dans toutes les mers et les océans avec une préférence pour les eaux froides et tempérées. Elles sont souvent de grande taille, *Macrocystis pyrifera* est le plus grand végétal du monde avec un thalle pouvant atteindre 75 mètres. Cette espèce est aussi considérée comme l'organisme végétal présentant la plus rapide croissance avec un allongement de 30 cm par jour. La calcification des tissus est rarement observée chez les Algues Brunes contrairement aux Algues Rouges et Vertes.

La classification des Phaeophyceae est basée sur les modes de reproduction observés. Une classification simplifiée est présentée dans le Tableau 4 de l'annexe 2. La systématique est très active avec les nouvelles capacités d'identification et de nouvelles classifications ont été proposées récemment mais elles sont moins propices au suivi des travaux sur la biochimie de ces macroalgues.

À titre indicatif, le tableau 11 présente les molécules actives extraites des macroalgues brunes. Évidemment, l'étude des composés structuraux et plus spécifiquement des polysaccharides de ce groupe a permis de trouver plusieurs types d'activités d'intérêt. Néanmoins, plusieurs travaux récents ont aussi permis de cibler des molécules issues du métabolisme secondaire présentant des effets cytotoxiques, antitumoraux, anticancers, anti-angiogéniques, antifongiques, antiviraux, anti-inflammatoires, bactéricides, immuno-modulateurs, insecticides, antiradicalaires et antioxydants.

Pour différentes raisons telles que la facilité de récolte et d'identification des organismes, l'activité chimique et biochimique des macroalgues a été jusqu'à présent étudiée beaucoup plus précisément que celle des microalgues. Il est en effet intéressant de constater que le nombre de composés actifs extraits des macroalgues brunes est très nettement supérieur à ceux des microalgues. Ces composés sont beaucoup plus diversifiés que ceux des microalgues de la même lignée de végétaux cela malgré une biodiversité nettement inférieure, soit 1500 espèces de macroalgues contre plus de 100 000 pour les microalgues de la lignée brune.

Tableau 10. Molécules actives extraites des Phaeophyceae

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Algues brunes	Fucoxanthine	Pigments caroténoïdes, xanthophylle	Effet anti-tumoral <i>in vitro</i> par inhibition de la croissance des cellules GOTO (lignée de neuroblastomes humains). À partir de 10 mg/L, la croissance est réduite de 38 % par rapport au contrôle. L'expression du gène N-myc est également diminuée après 4 heures.	1990
Algues brunes	Fucoxanthine	Pigments caroténoïdes, xanthophylle	Effet anti-tumoral <i>in vitro</i> par induction de l'apoptose des cellules du cancer de la prostate PC-3, DU145 et LNCaP. À 20 mmol/L, la viabilité des cellules est réduite de façon importante soit de 14,9 %, 5,0 % et 9,8 % respectivement.	2001
<i>Umdaria pinnatifida</i>	Fucoxanthine	Pigments caroténoïdes, xanthophylle	Effet anti-ischémique <i>in vitro</i> . Atténue les lésions des neurones de Rat en condition d'hypoxie et de ré-oxygénation.	2003
<i>Dictyota</i> ssp.	Plusieurs molécules et composés	Terpènes	Propriétés « Mollusquicides » et antifongiques.	1986
<i>Cladosiphon okamuranus</i>	Fucoïdes	Polysaccharides	Action anti-inflammatoire sur les cellules épithéliales intestinales animales et humaines.	2004
<i>Turbinaria conoides</i>	Hydroperoxystérol	Hydroperoxydes	Fortement cytotoxique.	1991
<i>Turbinaria ornata</i>	Acide 20-hydroxy-4,8,13,17-tétraméthyl-4,8,12,17-icosatétraénoïque	Diterpènes linéaires	Répulsif pour mollusques Gastéropodes herbivores.	1994
	Acide turbinarique	Tris-nor-triterpènes	Propriétés cytotoxiques.	1989
<i>Ecklonia kurome</i>	Plusieurs molécules	Phlorotannins	Fortement bactéricides pour 25 souches de bactéries résistantes à la méthicilline comme le SARM (<i>Staphylococcus aureus</i> résistant à la méthicilline).	2002

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Ecklonia stolonifera</i>	Ecklonialactones A et B	Macrolactones	Répulsifs contre les Ormeaux. Intérêt potentiel comme antialissures en milieu marin.	1989
	Phloroglucinol et ses dérivés	Phlorotannins	Forte activité inhibitrice de la tyrosinase donc sur le contrôle de la pigmentation des plantes et d'autres organismes.	2004
<i>Colpomenia sinuosa</i>	Colpol	Dérivé phénolique	Propriétés cytotoxiques.	1993
Plusieurs espèces des ordres Dictyotales et Fucales	Plusieurs molécules et dérivés	Prénylquinones, Hydroquinones prénylées	Antioxydants et /ou anti-radicalaires.	1965 1981 1991 2003
	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Effet protecteur des fonctions rénales lors de l'induction d'une néphrite de Heymann chez le Rat.	2005
Espèces de fucales	Fucanes	Polysaccharides	Effet anti-tumoral <i>in vitro</i> lié à l'interaction directe avec la laminine qui entraîne une inhibition de l'adhésion des cellules à la matrice extracellulaire et augmente la protéolyse de la membrane extracellulaire.	2002
<i>Fucus</i> spp.	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Effets antiprolifératifs des fibroblastes <i>in vitro</i> de la peau et régulateurs de la cicatrisation des blessures et des plaies.	2004
<i>Fucus evanescens</i>	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Activités anticoagulantes <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> comparables à celles de l'héparine mais contrairement à celle-ci les fucoïdes sulfatés possèdent des effets immunostimulants (leucocytes).	2003
<i>Fucus vesiculosus</i>	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Inhibition efficace <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> chez la souris des effets cytotoxiques et myotoxiques du venin de serpent (crotale).	2003

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Fucus evanescens</i> , <i>Petcoetia babingtonii</i>	Extraits éthanoliques		Inhibition importante de l'infection de cellules de mammifères par le protozoaire <i>Trypanosoma cruzi</i> à une concentration de 1 µg/mL.	2005
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Extraits lipidiques		À partir de 1 %, les extraits montrent une activité anti-oxydante <i>in vitro</i> par l'allongement de la période d'induction des radicaux. Effet synergique entre l'extrait d'algue (1,5 g/l) et la vitamine E (0,4 mmol/l). Le pouvoir antioxydant de la vitamine E est ainsi augmenté de 31 %.	1998
<i>Spatoglossum schroederi</i>	Fucane	Polysaccharides	Effet immuno-modulant <i>in vivo</i> . Inhibition de l'adhésion de la fibronectine dans deux types de cellules. Aucun effet n'est observé avec la laminine. Inhibe l'adhésion à la vitronectine dans le cas des cellules normales et celle au collagène de type I dans le cas des cellules mutantes. Composés antiadhésifs potentiels.	2001
<i>Laminaria japonica</i>	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Aucune toxicité sub-chronique n'a été observée chez le rat jusqu'à une dose journalière ingérée de 300 mg/kg de poids vif. À 900 et 2500 mg/kg de poids vif, seul le temps de saignement était allongé.	2005
<i>Laminaria digitata</i>	Phycarine	Polysaccharides	Effets immuno-stimulateurs <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> de l'activité phagocytaire et de la destruction de cellules tumorales.	2004
<i>Laminaria abyssalis</i>	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Inhibition importante du contact intercellulaire des cellules T lymphatiques humaines et donc de la transmission du virus de type 1 (HTLV-1).	2002
<i>Dictyopteris zonarioides</i> <i>D. undulata</i>	Zonarol, Isozonarol, Zonarone, Isozonarone, Cyclozonarone	Mérosesquiterpènes Sesquiterpène-quinone (SQ)	Propriétés antifongiques contre plusieurs espèces de pathogènes. Les SQ possèdent aussi des propriétés anti-tumorales, immuno-modulatrices et inhibitrices de la HIV-1 transcriptase inverse.	1977 1999 1991 1990

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Durovillaea antarctica</i>	Fractions d'hydrolyses enzymatiques	Polysaccharides sulfatés	Effet anticoagulant <i>in vitro</i> causé par une activité anti-thrombotique proche de celle de l'héparine. L'activité anti-thrombotique est croissante avec la diminution de la teneur en acide uronique du polymère.	1996
<i>Styopodium zonale</i>	Styopatriol, Stypoldione, Stypolactone	Méroditerpènes	Possèdent des propriétés insecticides, ichtyotoxiques et cytotoxiques.	1979 1981 2002
	Acide stypoquinonique	Méroditerpènes	Inhibiteur de la tyrosine kinase (PTK).	1999
	Acide déméthoxyatomarique et autres dérivés	Méroditerpènes	Cytotoxiques pour les cancers du poumon et du colon.	1999 2002
<i>Styopodium flabelliforme</i>	2 β ,3 α -epitaondiol, Flabellinol	Méroditerpènes	Effets cytotoxiques modérés contre la lignée cellulaire du cancer du poumon NCI-H460.	2005
	2 β ,3 α -epitaondiol, Flabellinol, Flabellinone	Méroditerpènes	Activité inhibitrice du canal sodium.	2005
<i>Cystophora</i> ssp. <i>Sargassum</i> ssp.	Farnésylacétone et des dérivés	Diterpènes linéaires	Propriétés insecticides.	1976 1980 1985
<i>Sargassum autumnale</i>	Nahocol A, A ₁ B, D et D ₁ Isonahocol D ₁ et D ₂	Méroditerpènes linéaires	Antagonistes de l'endothéline-I, puissant vasoconstricteur qui favorise l'hypertension artérielle, l'artériosclérose et l'insuffisance cardiaque.	1998
<i>Sargassum macrocarpum</i>	Acide sagaquinoïque ou MC14		Possède un facteur de croissance des cellules nerveuses avec un effet marqué de régénération neurale et de	2004

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	Extraits méthanoliques		protection contre le stress oxydatif.	
<i>Sargassum patens</i>	Fucoïdes sulfatés	Polysaccharides	Effets inhibiteurs de réactions allergiques inflammatoires atypiques tels que les dermatites.	2005
<i>Sargassum confusum</i>	Extraits de polysaccharides		Inhibition de la réplication du virus de l'herpès simplex de type 2 (HSV-2) doses dépendants. Inhibition importante de l'attachement du virus à la cellule hôte pour une concentration de 1 µg/mL.	2004
<i>Sargassum horneri</i>	Fucoïdes sulfatés, Hor-1 et Na-Hor	Polysaccharides	Inhibition dose dépendante de la croissance de cellules cancéreuses S180 transplantées chez des souris.	2005
<i>Sargassum fusiforme</i>	Extraits de polysaccharides		Inhibition de la réplication du virus de l'herpès simplex de type 1.	2001
<i>Sargassum polycystum</i>	Extrait alcoolique		Diminution de la mortalité par la stimulation du système immunitaire de crevettes d'élevage recevant un supplément alimentaire.	2006
			Effets inhibiteurs des composés pro-oxydants générés pendant la peroxydation des lipides lors d'une hépatite toxique induite chez le Rat.	2005

5.1.3 Les Alveolata

Dinophyceae (Dinoflagellés)

Les Dinophytes sont représentés par une seule classe de micro-organismes, les Dinophyceae ou Dinoflagellés. Cette classe se divise en 15 ordres comptant environ 130 genres et 2000 espèces dont 90 % sont marines (1800 espèces) et 60 % sont photosynthétiques (1200 espèces). Le tableau 5 de l'annexe 2 présente les principaux Ordres, Familles et Genres des Dinoflagellés.

Les formes unicellulaires ou coccoïdales possèdent des tailles moyennes comprises entre 50 et 100 µm tandis que les formes filamenteuses peuvent atteindre un à deux millimètres. Près de la moitié des espèces de ce groupe présentent des cellules à parois rigides, la thèque, faites de plaques cellulodiques. Grâce à leurs flagelles, ces micro-organismes peuvent se déplacer jusqu'à un mètre par heure. Pour certains Dinoflagellés hétérotrophes, les flagelles servent à capturer leurs proies. De nombreux Dinoflagellés sont symbiotiques, les Zooxanthelles sont principalement associées aux coraux ainsi qu'à certains mollusques. Elles appartiennent principalement au genre *Gymnodinium* renommé récemment *Symbiodinium*.

Ce groupe est le plus riche du point de vue de la chimiodiversité et est le plus important sur le plan économique. En effet, les dinoflagellés sont impliqués dans la majorité des intoxications par la consommation de mollusques suite aux blooms de leurs populations dans les zones de récoltes ou d'élevage. Heureusement, ces proliférations toxiques concernent un nombre très restreint d'espèces, environ une quarantaine. Ces proliférations se produisent généralement suite à la combinaison de facteurs favorables (température, salinité, nutriments, luminosité, etc.) dans un secteur particulier du milieu marin. Néanmoins, jusqu'au début des années 1990, la fréquence des efflorescences d'algues toxiques a augmenté tant dans l'espace que dans le temps sur les côtes du Nord de l'Europe (Hallegraeff, 1995). Plusieurs mécanismes liés aux activités humaines sont susceptibles d'être à l'origine de cette tendance :

- espèces introduites par exemple via l'eau de ballast ou par les cultures marines ;
- installations côtières intensifiant la stratification
- apports et flux d'azote anthropiques dans des zones sensibles à l'eutrophisation ;
- déséquilibre des ratios des nutriments, par exemple N/P et N/Si ;
- centrales hydroélectriques – vidanges exceptionnelles ;
- augmentation des apports fluviaux de substances humiques en raison des pluies acides.

Le Tableau 12 résume les principales intoxications humaines causées par les toxines de Dinoflagellés.

D'autre part, l'importance écologique des Dinoflagellés est très grande puisqu'ils sont en seconde position, après les Diatomées, pour la production primaire des océans.

Tableau 11. Principales intoxications humaines causées par les toxines de Dinoflagellés *

Type d'intoxication	Principales toxines	Mode d'action	Genres incriminés
Ciguatera Fish Poisoning (CFP)	Polyéthers cycliques ciguatoxines maitotoxine acides gambiériques Gambiérol	Activateurs des canaux sodiques et calciques (maitotoxine)	<i>Dinophysis</i> , <i>Gambierdiscus</i> , <i>Prorocentrum</i>
Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)	Polyéthers cycliques et macrolides acide okadaïque amphidinolides dinophysis toxines pecténotoxines Yessotoxine	Inhibiteur des phosphatases	<i>Dinophysis</i> , <i>Gambierdiscus</i> , <i>Prorocentrum</i>
Neurotoxic Shellfish Poisoning (NSP)	Polyéthers cycliques brévéttoxines	Activateurs des canaux sodiques	<i>Alexandrium</i> , <i>Gymnodinium</i>
Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)	Dérivés de la guanidine Saxitoxines	Inhibiteurs des canaux sodiques	<i>Alexandrium</i> , <i>Gymnodinium</i> , <i>Pyronidium</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005.

Le tableau 13 de la page suivante indique quels sont les composés et dans certains cas les extraits actifs identifiés jusqu'à présent dans moins d'une dizaine de Genres de Dinoflagellés. Avec au moins 130 Genres différents, les travaux de recherche et de criblages à venir devraient permettre d'identifier un nombre beaucoup plus important de molécules actives possédant un potentiel commercial.

Cryptocodinium cohnii est actuellement utilisée de façon industrielle par l'entreprise Martek Bioscience Corp. pour produire une huile riche en DHA (oméga-3) qui entre ensuite dans la formulation de laits maternisés (pour plus de détails, voir le site Internet de l'entreprise www.martekbio.com/home.asp).

La majorité des autres composés actifs extraits des dinoflagellés sont cytotoxiques avec des activités antifongiques, antinéoplasiques, antitumoraux et anti-leucémiques. De plus, des macrolactones extraites d'un genre de dinoflagellés symbiotique (*Symbiodinium*) sont de puissants vasoconstricteurs. Ce groupe de microalgues semble donc présenter un fort potentiel pour l'obtention de composés d'intérêt pour les entreprises biopharmaceutiques opérant dans le marché des produits pharmaceutiques et des médicaments.

Tableau 12. Molécules actives extraites des Dinoflagellés

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Nombreuses dont <i>Cryptothecodinium colnii</i>	Acide docosahexaénoïque (DHA) ou 22 :6 n-3	Acides gras polyinsaturés de la famille des omega-3	Propriétés nutritionnelles et physiologiques importantes. Protection contre les maladies coronariennes, développement des neurones et des tissus nerveux des nouveau-nés ainsi qu'effets anti-inflammatoires. La concentration en DHA peut atteindre 30 % des lipides de la cellule.	1999
<i>Amphidinium klebsii</i>	Amphidinols 1 à 6	Allélopathiques	Toutes fortement antifongiques et hémolytiques.	1991 à 2001
<i>Amphidinium</i> sp.	Lutéophanols A, B, C Caribénolide I	Allélopathiques Macrolactones	Très probablement antifongiques et hémolytiques. Mêmes propriétés cytotoxiques que les amphidinolides.	1998 1995
<i>Amphidinium</i> ssp.	Amphidinolides de A à X, soit ~ 30 composés	Macrolides	Composés possédant une activité antinéoplasique, ils sont cytotoxiques et anti-tumoraux.	1997 2003
<i>Gambierdiscus toxicus</i>	Acides gambieriques A, B, C et D	Polyéthers cycliques	Activité antifongique considérable soit environ 2000 fois supérieure à celle de l'amphotéricine B contre <i>A. niger</i> .	2000
<i>Dinophysis</i> ssp. <i>Gambierdiscus</i> ssp., <i>Prorocentrum</i> ssp.	Acide okadaïque	Macrolides	Inhibiteur des protéines-phosphatases 1. Toxicité moyenne <i>in vivo</i> , test souris (DL ₅₀ ~ 200 µg/kg) mais très puissant cytotoxique pour la leucémie P388 (DE ₅₀ ~ 2 ng/mL) et la leucémie L1210 (DE ₅₀ ~ 20 ng/mL).	1982 1988 1990 1998 2000
<i>Goniodoma pseudogonyaulax</i>	Goniodomine A	Macrolactones	Mêmes propriétés cytotoxiques que les amphidinolides.	1988
<i>Symbiodinium</i> sp.	Zooxanthellatoxines A et B	Macrolactones	Puissants vasoconstricteurs.	1995
<i>Gonyaulax polyedra</i>	Gonyauline Gonyol	Sulfobétaines	Interviennent dans la bioluminescence. Régulateurs osmotiques cellulaires.	1991 1993

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Gymnodium mikimotoi</i>	Acide 18 :5 n-3	Acides gras polyinsaturés	Importantes propriétés ichtyo-toxiques.	1999
<i>Gymnodinium breve</i>	Substances non parfaitement définies	Molécules phosphorées	Composés ichtyo-toxiques.	1982 1983

Les Haptophytes

La majorité des espèces de ce groupe sont marines, soit environ 500. Les Haptophytes marines possèdent généralement un exosquelette d'écailles organiques ou calcaires à l'origine des grands dépôts de craie du Crétacé. Le Tableau 6 de annexe 2 présente une classification simplifiée de ce groupe de microalgues.

Jusqu'à présent, il existe très peu de travaux sur la biochimie de ces microalgues et ils touchent moins de 10 % des espèces décrites. Le tableau 14 indique les molécules actives extraites de ce groupe de microalgues. Quelques espèces peuvent éventuellement présenter un intérêt pour la production commerciale d'EPA.

Deux formes de glycoside démontrent une activité hémolytique très importante dont les applications potentielles dans les secteurs de marchés très diverses (médicales, pharmaceutiques, agroalimentaires et cosmétiques) sont possibles. Néanmoins, l'utilisation de ces composés devra être très réglementée à cause de l'extrême toxicité pour les poissons et les autres animaux aquatiques.

Tableau 13. Molécules actives extraites des Haptophyceae

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Plusieurs dont <i>Cricosphaera</i> ssp. et <i>Pseudopedinella</i> sp.	Acide eicosapentaénoïque (EPA) ou 20 :5 n-3	Acides gras polyinsaturés du groupe des oméga-3	Propriétés nutritionnelles et physiologiques importantes (voir le tableau 9). Certaines espèces potentiellement intéressantes comme source de cet acide gras avec des concentrations importantes, soit jusqu'à 26 % des lipides de la cellule.	1993 1994
<i>Prymnesium parvum</i>	Prymnésines 1 et 2	Glycosides	Fortement hémolytiques (DL ₅₀ = 3 nM), c'est-à-dire 50 000 fois plus que les saponines végétales. Fortement ichtyo- toxiques (DL ₅₀ = 10 nM).	1996 1999

5.1.4 Lignée des Algues Vertes

La lignée verte se divise en trois embranchements : les Glaucophytes, microalgues dulcicoles représentées par une quinzaine d'espèces seulement; les Chlorobiontes (Algues Vertes et plantes terrestres) et les Rhodobiontes (Algues Rouges). Dans cette section, seules les Chlorobiontes et des Rhodobiontes seront traitées.

Chlorobiontes (Algues vertes)

Les Chlorobiontes se divisent en plusieurs groupes :

- les Ulvophytes qui sont des algues vertes unicellulaires ou multicellulaires (3 679 espèces) dont les deux principales classes sont les :
 - Chlorophycées principalement composées par des microalgues (1 000 espèces).
 - Ulvophycées largement représentées par des algues pluricellulaires ou macroalgues.
- les Prasinophytes sont des algues unicellulaires flagellées planctoniques marines ou dulcicoles (180 espèces).
- les Streptophytes regroupent les plantes terrestres et certains groupes d'algues dont :
 - les Klebsomidiophytes sont des algues filamenteuses (40 espèces).
 - les Coléochaetophytes, algues épiphytes de plantes aquatiques d'eau douce (15 espèces).
 - les Zygnématophytes sont des algues majoritairement dulcicoles, unicellulaires ou filamenteuses (4000 espèces).

Le Tableau 7 de l'annexe 2, présente une classification très simplifiée des principaux genres d'Algues Vertes. Des 7 800 espèces d'algues vertes seulement 13 % sont marines, soit environ 1 100 espèces.

La composition de leur équipement photosynthétique (chlorophylles *a* et *b*) nécessite beaucoup de lumière, elles se retrouvent donc rarement sous 25 mètres de profondeur. Les macroalgues vivent aussi davantage en eaux calmes dans les baies abritées et les rivages protégés des vagues.

Les pigments secondaires majeurs des algues vertes sont représentés par plusieurs types de caroténoïdes. Les principaux carotènes sont l' α et le β - carotène tandis que les xanthophilles généralement présents en fortes concentrations sont la lutéine, la zéaxanthine, la violaxanthine et l'astaxanthine. La capacité antioxydante et antiradicalaire de ces pigments est reconnue depuis plusieurs années. Leur rôle principal est donc associé à la photoprotection de la cellule ou de l'organisme. Cette propriété des pigments caroténoïdes de piéger l'oxygène singulet ainsi que d'autres formes de molécules oxydantes est recherchée par les formulateurs de produits de santé naturels. Quelques microalgues (*H.*

pluvialis, *Muriellopsis* sp. et *Dunaliella* sp.) sont actuellement cultivées à grande échelle pour faire l'extraction et commercialiser leurs principaux caroténoïdes (Tableau 15).

L'autre type de molécules étudié chez les algues vertes est représenté par les polysaccharides matriciels. Ces composés structuraux appartiennent à deux groupes se distinguant par les sucres de base qui les forment et leurs taux de sulfate. Quelques extraits de polysaccharides isolés de Chlorophycées ont montré des activités d'intérêt pour des applications en santé humaine et animale (Tableau 15).

Par opposition à ce qui est observé jusqu'à présent chez les microalgues, les molécules actives identifiées chez les ulvoficées (macroalgues) sont généralement associées aux métabolites secondaires (Terpènes, amines, peptides et dérivés soufrés) de ces organismes (Tableau 16). Cela est cohérent avec la composition chimique de ce groupe d'algues puisque l'essentiel des métabolites secondaires des Algues Vertes est constitué de terpènes et de dérivés aromatiques (Kornprobst, 2005). Actuellement, au plus 20 % des espèces connues d'Algues Vertes (micro et macro-algues) ont fait l'objet de recherches chimiques. Cela signifie que ce groupe d'algues possède toujours un grand potentiel pour la découverte de molécules actives.

Tableau 14. Molécules actives extraites des Chlorophycées (microalgues)

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaxanthine	Pigment caroténoïde, xanthophylles	Très puissant antioxydant, probablement le meilleur de sa catégorie. Ce pigment estérifié est capable de passer la barrière hémato-encéphalique. Capacité protectrice contre les dommages des UV. Effets anti-inflammatoires rapportés. Utilisée comme suppléments alimentaires et ingrédient dans des produits de santé naturels.	1991 2003
<i>Muriellopsis sp.</i>	Lutéine	Pigment caroténoïde, xanthophylles	Antioxydant puissant qui entre dans le traitement de maladies oculaires du vieillissement telles que la cataracte et la dégénérescence maculaire. Utilisée comme suppléments alimentaires et ingrédient dans des produits de santé naturels. Protection contre le développement du cancer du poumon.	2000 2001 2003
<i>Dunaliella salina</i> souche mutante Zea1	Zéaxanthine	Pigment caroténoïde, xanthophylles	Stereo-isomère de la lutéine, c'est un puissant antioxydant aussi utile pour le traitement des maladies oculaires liées au vieillissement.	2003
<i>Dunaliella salina</i>	β -carotène	Pigment caroténoïde, carotène	Principal précurseur de la vitamine A, c'est aussi un très bon antioxydant. Utilisée comme suppléments alimentaires et ingrédient dans des produits de santé naturels. Activité anti-tumorale rapportée.	1986 1998
<i>Dunaliella bardawil</i>	β -carotène	Pigment caroténoïde, carotène	Activité anti-inflammatoire <i>in vivo</i> chez des rats ayant une entérite provoquée. Suppression de l'activité de la myéloperoxydase basale et induite par l'acide acétique. Préviens les changements histopathologiques, la lésion de l'épithélium, les œdèmes de la lamina propria,	2003

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
	β -carotène	Pigment caroténoïde, carotène	l'accumulation de cellules inflammatoires et des hémorragies. Traitement potentiel de la maladie de Crohn. Effet antioxydant chez 20 patients atteints d'un diabète non insulino-dépendant. Réduit la sensibilité à l'oxydation des LDL et augmente le taux de β -carotène-all-trans du plasma et des LDL, ce qui se traduit par une augmentation du temps d'initiation de l'oxydation et la réduction de la production de malondialdéhyde (25 %) et de peroxydes lipidiques (40 %).	2000
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Différentes protéines recombinantes	Protéines	Molécules présentant des activités antivirales, bio-pesticides, stimulantes du système immunitaire, etc. pour des applications en santé humaine et animale.	2002 2003 2005
<i>Chlorella sp.</i>	Non déterminée, simple extrait méthanolique		Effet anti-inflammatoire et inhibiteur <i>in vitro</i> de la prolifération de cellules cancéreuses du sein.	2002
<i>Chlorella stigmatophora</i>	Extraits aqueux de polysaccharides	Polymères de sucres	Effet anti-inflammatoire <i>in vivo</i> et immunosuppresseur <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> . Développement potentiel comme ingrédients nutraceutiques et si intérêt comme molécule pharmaceutique	2002
<i>Chlorella vulgaris</i> souche CK22	Glycoprotéine		Forte activité anti-tumorale <i>in vitro</i> . Développement potentiel comme médicament anticancer.	2002
<i>Chlorella vulgaris</i> souche C-27	Protéines HIC6 et HIC12		Effet cryoprotecteur pour des enzymes labiles à la congélation. Sur une base de concentration molaire $3,1 \times 10^6$ fois plus efficace que le sucrose. Potentiel d'utilisation dans la préparation d'enzyme et d'autres molécules labiles dans le domaine biomédical.	2000
<i>Chlorella autotrophica</i>	Extraits aqueux de polysaccharides sulfatés	Polymères de sucres	Inhibition significative dose dépendante de la réplication <i>in vitro</i> des virus de la septicémie hémorragique des	1999

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
			salmonidés et de la fièvre Africaine du porc. Potentiel en santé animal.	

Tableau 15. Molécules actives extraites des Ulvophycées (macroalgues)

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
Majorité des espèces		Terpènes	Propriétés ichtho-toxiques et antiappétantes pour les herbivores.	1987 1989
De très nombreuses espèces	Cymopol, Cymopolone, Cyclocymopol, Cymobarbatol, etc.	Mérotérpènes	Activités antioxydantes cellulaires. Potentiel comme ingrédients protecteurs de molécules actives à forte valeurs ajoutée.	1976 1989 1992
<i>Avrainvillea longicaulis</i> , <i>A. nigricans</i> , <i>A. ratsonii</i>	Avrainvilléol, Rawsonol, Isorawsonol	Dérivés aromatiques	Activités antibactériennes.	1983 1987
<i>Bryopsis plumosa</i>	N-méthyl-D-aspartique	Amines	Neurotransmetteur excitateur comparable à l'acide domoïque et à l'acide kaïnique. Potentiels comme ingrédients actifs en santé animale ou humaine.	1996
<i>Bryopsis</i> sp.	Kahalalide F	Peptides linéaires	La société PharmaMar développe cette molécule qui est en phase I des essais cliniques pour son action contre les tumeurs du sein et de la prostate. Elle provoque la dislocation membranaire des lysosomes. Fort potentiel comme médicament anticancer.	1993 1996 1999
<i>Caulerpa racemosa</i> , <i>C. serrulata</i>	Caulerpine, Caulersine	Pigments azotés	Activités ichtho-toxiques qui protègent l'organisme de l'attaque des herbivores.	1970 1991 1997
<i>Ulva fasciata</i>	Érythro-sphinga-4-8-diimine-N-palmitate	Sphinganines	Possède des propriétés antivirales.	1996
<i>Dictyosphaeria favulosa</i>	Bis-alkylxanthate	Dérivé soufré	Toxique pour les larves de moustiques. Potentiel d'application comme insecticide naturel.	1993 1995
<i>Bryopsis pennata</i> ,			Inhibiteur de la phospholipase A ₂ . Molécule anti-	1993

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Cymopolia barbata</i>	Disulfure cyclique	Dérivé soufré	inflammatoire non-corticoïde présentant un potentiel d'application dans le domaine pharmaceutique.	

Rhodobiontes (Algues rouges)

Malgré le fait que les Algues Rouges appartiennent au même groupe évolutif que les Algues Vertes, elles sont très différentes tant du point de vue de leur mode de reproduction que de leurs métabolites primaires et secondaires. Les Rhodophytes ou Rhodophyceae possèdent un équipement photosynthétique qui ressemble à celui des Cyanobactéries (Chlorophylles *a* et *d*, phycobiliprotéines, caroténoïdes et xanthophylles). Elles peuvent vivre à de très grandes profondeurs pour des organismes phototrophes. Dans les eaux claires des caraïbes, la présence d'Algues Rouges a été signalée à une profondeur de 250 mètres.

Le nombre d'espèces d'Algues Rouges est estimé à environ 4 000 dont 98 % sont marines. Les Rhodophytes se divisent en deux sous-classes dont l'importance en nombre d'espèces est très inégale. Les Bangiophyceae sont représentées par des formes primitives dont la plupart sont monocellulaires (microalgues) comme par exemple le genre *Porphyridium*. Néanmoins, certaines espèces pluricellulaires appartenant au genre *Porphyra* sont bien connues et cultivées au Japon depuis longtemps pour donner un aliment recherché, le nori.

Les Florideophyceae sont les formes les plus évoluées et les plus nombreuses des Rhodophytes. La plupart sont pluricellulaires et macroscopiques. Le Tableau 8 de l'annexe 2 présente une classification simplifiée des Algues Rouges.

Le nombre de molécules actives identifiées jusqu'à présent par les travaux de recherche favorise nettement les espèces d'Algues Rouges pluricellulaires par rapport aux microalgues (Tableaux 17 et 18). Comme pour les Algues Vertes, les composés actifs extraits des microalgues rouges sont relativement peu nombreux (8) et proviennent tous des molécules de structures (Polymères de sucres) ou des métabolites primaires (lipides, pigments). Dans le cas des Rhodophytes pluricellulaires les extraits actifs sont beaucoup plus nombreux (35) et associés à plus de 60 % aux métabolites secondaires (Tableau 18). Il est aussi intéressant de constater que les travaux de recherche chimiques sur les espèces de microalgues sont généralement beaucoup plus récents que ceux effectués sur les formes pluricellulaires d'Algues Rouges.

Cette observation peut indiquer que les récents progrès dans les méthodes de culture des microalgues permettraient d'élargir ce domaine recherche à de nouvelles et nombreuses espèces d'Agues Rouges moins étudiées jusqu'à présent.

Tableau 16. Molécules actives extraites des Rhodophytes unicellulaires (microalgues)

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Porphyridium</i> sp.	Extraits de polysaccharides sulfatés	Polymères de sucres	Importante activité antivirale contre l'herpès simplex de type 1 et 2 (HSV-1 et 2). Coupe la séquence de la réplication virale <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> chez le Rat et le Lapin à partir de 100 µg/mL. Aucune cytotoxicité à 250 µg/mL. Applications potentielles dans le domaine pharmaceutique.	2002 2003
	Extraits de polysaccharides	Polymères de sucres	Hautement inhibiteurs de la transformation de cellules de souris infectées par un virus mutagène MSV-124. Effets inhibiteurs des premières phases de réplication du virus. Composé potentiellement anti-cancer.	2001
	Extraits de polysaccharides sulfatés	Polymères de sucres	Composé hypocholestérolémiant chez les rats recevant un supplément alimentaire. Composé potentiellement utilisable dans les aliments fonctionnels ou comme produit de santé naturel.	2000
<i>Porphyridium</i> sp. <i>Rhodella reticulata</i>	Polysaccharides sulfatés extracellulaires « sur-sulfatés » <i>in vitro</i>	Polymères de sucres	Inhibition importante de la croissance de cellule cancéreuse de mammifères (200 µg/mL). Développement potentiel d'un médicament anticancer.	2002
<i>Porphyridium cruentum</i>	Fraction sulfoglycolipidique	Lipides polaires	Forte inhibition <i>in vitro</i> de la production de super-oxydes anioniques ainsi que de la croissance de différentes lignées de cellules cancéreuses humaines (Colon DLD-1, sein MCF-7, prostate PC-3, mélanome M4). Composés présentant un potentiel de développement comme médicament anticancer.	2002
	Extraits aqueux de polysaccharides sulfatés	Polymères de sucres	Inhibition significative dose dépendante de la réplication <i>in vitro</i> du virus de la septicémie hémorragique des Salmonidés (VHSV) et du virus de la fièvre africaine du	1999

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
			Porc (ASFV). Possibilité de développement d'un supplément alimentaire pour le marché de la santé animale.	
	β-Phycocerythrin	Pigment	Pigment fluorescent rose utilisé comme réactifs dans des tests diagnostics et comme pigments naturels dans les aliments et les cosmétiques.	2003
<i>Galdieria sulphuraria</i> 074G	Phycocyanin	Pigment	Pigment fluorescent utilisé comme réactifs dans des tests diagnostics.	2005

Tableau 17. Molécules actives extraites des Rhodophytes pluricellulaires (macroalgues)

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Porphyra tenera</i> <i>P. yezoensis</i>	Porphyrane	Polysaccharides	Stimulation de l'activité des macrophages <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> . Effets anti-inflammatoires chez des souris recevant un supplément oral. Développement d'ingrédients pour les produits de santé naturels.	2005
<i>Porphyra haitanensis</i>	Fraction galactane sulfatée (F1) isolée du Porphyrane	Polysaccharides	Activité anti-oxydante significative <i>in vitro</i> . Diminution de la peroxydation des lipides chez des souris âgées par l'augmentation de l'activité des enzymes super-oxyde dismutase (SOD) et de la glutathione peroxidase (GSH-Px). Intérêt potentiel comme ingrédient cosméceutique et dans une moindre mesure comme nutraceutique.	2004
<i>Ochtodes secundiramea</i> <i>O. crockeri</i> <i>Chondrococcus hornemannii</i>	Ochtodène, Ochtodiol, Chondrocole-A, C	Monoterpènes halogénés	Activités antiappétantes contre de nombreuses espèces herbivores marines.	1978 1980
<i>Ceratodictyon spongiosum</i>	Trans-trans-Cératospongamide	Cycloheptatides	Puissant inhibiteur d'une enzyme intervenant dans le processus inflammatoire (Dose efficace : DE ₅₀ = 32 nM). Développement potentiel d'un ingrédient cosméceutique (nutraceutique) et comme médicament.	2000 2001 2002
<i>Portieria / Chondrococcus hornemannii</i>	Halomon	Monoterpènes polyhalogénés	Forte action cytotoxique contre plusieurs lignées cancéreuses humaines (cerveau, rein, colon). Actuellement, en phase d'essais précliniques au National Cancer Institute (NCI) au États-Unis. Fort potentiel comme nouveau médicament contre différents types de cancers.	1992 1994 1996 1997 2000

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Rhodophyllis membranacea</i>	Dix molécules sans nom	Tri- et Tétra-halogénoindoles	Forte activité antifongique. Développement potentiel d'un ingrédient cosmétique ou cosméceutique.	1978
<i>Chondrus yendoii</i>	Palythine ou Iminomycosporine-gly	Mycosporine	Forte capacité d'absorption des UV dans la zone 305-320 nm. Agit comme écran solaire naturel. Applications potentielles dans les secteurs des produits de soins corporels, des cosmétiques et cosméceutiques.	1978
<i>Chondrus ocellatus</i>	Fractions de λ -carraghénane	Polysaccharides sulfatés	Inhibent la tumeur par une activation moyenne de l'immunocompétence <i>in vivo</i> chez la Souris. Les activités anti-tumorales et immuno-modulantes sont importantes. Les fractions les plus actives sont les PC4 et PC5 dont les poids moléculaires sont 15 et 9,3 kDa. Possibilité de développer des médicaments anticancers.	2004
<i>Hypnea valentiae</i>	5-iodo-5'-deoxytubercidine	Mycosporine	Inhibiteur de l'adénosine kinase et propriétés de relaxant musculaire. Développement d'ingrédients pharmaceutiques.	1983 1984 1985
<i>Laurencia pannosa</i>	Pannosanol et Pannosane	Halogénochamigranes	Effets cytotoxiques et antibactériens. Potentiel d'utilisation dans le domaine des ingrédients cosmétiques et cosméceutiques.	2001
<i>Laurencia filiformis</i>	Labdane, Parguérane, Sécoparguérane, Isoparguérane	Diterpènes halogénés	Cytotoxiques <i>in vitro</i> pour plusieurs lignées cellulaires (B16, HeLa, P388) avec des DE ₅₀ entre 0,2 et 5,0 µg/mL. Potentiel comme médicaments anticancers. Activité antiappétante pour les juvéniles d'ormeaux et d'oursins.	1989 1990 1998
<i>Laurencia hyrsifera</i> <i>L. pinnatifida</i> <i>L. obtusa</i> <i>L. intricata</i> <i>L. omaezakiana</i>	Thyrsiférol 15(28)-Anhydrothysiférol Magirérol A Intricatétraol Enshuol	Polyéthers cycliques halogénés	Propriétés cytotoxiques et antivirales. Potentiel comme médicaments anticancers.	1978 1984 1987 1993 1995

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>L. viridis</i>	Thyrsénol B			1997
<i>Laurencia obtusa</i>	Teurilène	Squalénoïdes tricycliques	Fortement cytotoxique contre la leucémie P388 (DE ₅₀ = 0,18 µg/mL). Potentiel comme médicament antileucémique.	1985
Plusieurs genres de l'Ordre des Cérariales dont <i>Lenormandia prolifera</i> <i>Vidalia obtusiloba</i>	Lanosol Vidalol A	Bromo- et polybromophénols	Tous ces dérivés phénoliques dont plusieurs n'ont pas de nom sont fortement antibactériens. Développement potentiel d'ingrédients pour les domaines cosmétique et cosméceutique.	1976 1991
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	Extraits cellulaires		Activité antibactérienne à large spectre et particulièrement contre les mycobactéries. Potentiel comme ingrédients cosméceutiques, cosmétiques et de soins corporels.	2001
	Armatane	Polysaccharides	Effets immunostimulants <i>in vivo</i> chez des rongeurs. Induirait l'évolution des processus cellulaires des phagocytes permettant l'accumulation de monocytes sur les sites inflammatoires. Potentiel comme ingrédients cosméceutiques et cosmétiques.	1980
<i>Asparagopsis armata</i>	Galactanes sulfatés	Polysaccharides	Activité antivirale <i>in vitro</i> . Inhibent la réplication du virus VIH-1 à 10 et 8 mg/L. L'effet antiviral maximal implique la présence de polysaccharides après ou pendant l'infection mais pas avant, ce qui suggère une inhibition à une étape précoce de l'infection par le VIH. Potentiel comme médicament ou composé thérapeutique.	2001
<i>Amansia multifida</i>	Amansine	Lectines	Effet immuno-modulant <i>in vitro</i> par l'activation maximale des lymphocytes humains à une concentration de 12,5 mg/L. Le mécanisme d'action de l'amansine n'est pas cytotoxique. Composé d'intérêt dans les domaines des	1998

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Amanisia multifida</i> , <i>Gracilaria caudata</i> , <i>Gracilaria corticata</i>	Polysaccharides		produits de santé naturels et des cosméceutiques. Induit la migration des neutrophiles <i>in vivo</i> et <i>in vitro</i> (Rat, Souris, Homme) de manière dose dépendante. Intérêt dans le domaine médical pour le traitement de certains types d'infection.	2002
<i>Bostrychia montagnei</i> , <i>Porphyra columbina</i>	Galactanes sulfatés	Polysaccharides	Effet antiviral par inhibition de la réplication de différentes souches de virus de l'herpès lorsqu'ils sont ajoutés pendant la phase d'adsorption et cela sans causer de diminution de la viabilité des cellules Vero. L'activité antivirale pourrait être liée au poids moléculaire et au contenu en sulfate des galactanes. Potentiel comme ingrédients pharmaceutiques.	2001
			Effets immunostimulants dose dépendant <i>in vitro</i> . À une concentration maximale de 80 mg/L entraîne des mitoses atypiques sur des cellules HeLa (présence de vésicules et de nuclei atypiques).	2001
<i>Botryocladia occidentalis</i>	D-galactane sulfaté	Polysaccharides	Présente une puissante activité anticoagulante <i>in vitro</i> (similaire à celle de l'héparine non fractionnée) due à l'élévation de l'inhibition de la thrombine et du facteur Xa par l'antithrombine et/ou de l'héparine cofacteur II.	2000
			Aucun effet hémorragique <i>in vitro</i> même à fortes doses, possiblement en liaison avec son activité sur l'agrégation plaquettaire. À doses comparables, l'héparine montre un effet de saignement intense. Intérêt dans le domaine médical comme anticoagulant à faible incidence hémorragique.	2001

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Bryothamnion seaforthii</i> , <i>Bryothamnion triquetrum</i>	Lectines, Extrait brut, Fractions hydrocarbonées		Inhibent les contractions abdominales induites par l'acide acétique. Dans le « formalin test », les lectines inhibent les phases 1 et 2. L'extrait brut augmente le temps de latence à la réponse aux stimuli thermiques et la naloxone inhibe l'effet antalgique, indiquant la participation du système opioïde. Les fractions hydrocarbonées sont les plus actives. Développement potentiel d'un nouveau relaxant musculaire pour le domaine médical.	2002
<i>Gloiopeltis tenax</i>	Extraits	Polysaccharides	Important effet hypocholestérolémiant <i>in vitro</i> chez le Rat. Diminution du cholestérol circulant de 80 %. Le cholestérol est excrété de façon plus importante en présence de polysaccharides algaux dans le tube digestif. Intérêt dans le domaine de produits de santé naturels et des suppléments alimentaires.	1994
<i>Digenea simplex</i>	Extrait aqueux brut		Stimule l'activité anti-HIV-1 <i>in vitro</i> . Inhibe l'effet cytopathogénique du VIH-1 sur les cellules MT-4 et la formation de cellules géantes des cellules Molt-4 infectées par le HIV-1.	1995
<i>Digenea simplex</i> , <i>Centroceras clavulatum</i>	Acide Kainique ou Digénique	Sulfoniobétaines	Activité anthelminthique contre les Ascaris. Potentiel comme ingrédient pour les produits de santé naturels ou dans le domaine de la santé animale.	1953 1954 1955
<i>Chondria californica</i>	Lenthionine, 4-Dioxo-1,2,4,6-tétrathiépane	Polysulfures cycliques	Activités antibiotiques.	1976 1978
	Armatols A-F	Squalénoïdes polycycliques	Propriétés antivirales, antibactériennes et antifongiques. Potentiel comme ingrédients cosméceutiques et cosmétiques.	2001

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Chondria armata</i>	Acide Domoïque	Sulfoniobétaines	Activité anthelminthique. Potentiel comme ingrédient pour les produits de santé naturels ou dans le domaine de la santé animale.	1980
	Acides Isodomoïques A-H Domoïlactone A et B	Sulfoniobétaines	Activités anthelminthiques et insecticides. Outils biologiques pour l'étude de maladies du système nerveux telles que l'épilepsie, la chorée de Huntington et la maladie de Parkinson.	1985 1986 2001
<i>Gigartina skottsbergii</i>	Carthagénane mu/cu 1C3	Polysaccharides sulfatés	Activité antivirale contre HSV-1 <i>in vivo</i> chez la souris. Le phénotype syn n'est pas lié à la résistance au polysaccharide. L'efficacité de la croissance des cellules Vero ainsi que la virulence dans les souris inoculées avec les variantes de 1C3-syn par voie intracérébrale ou intrapéritonéale, montrent des altérations non-significatives en comparaison avec les virus paternels. Intérêt pour le domaine pharmaceutique et traitement de l'herpes bucal.	2002
<i>Gracilaria verrucosa</i>	Hydrolysats enzymatique de polysaccharides		Effet immunostimulant <i>in vivo</i> chez la Souris. Augmentation dose-dépendante de l'activité phagocytaire et de la sécrétion de radicaux oxygénés par les cellules de l'exsudat péritonéal. Stimulent aussi les macrophages spléniques et augmentent leur sécrétion radicalaire.	1996
<i>Haraldiophyllum</i> sp.	Almazole D	Alcaloïdes indoliques	Fortement antibactérien pour <i>Serratia marcescens</i> et <i>Salmonella typhi</i> (Gram négatif). Développement potentiel dans le domaine médical.	1994 1996
<i>Dilisea fimbriata</i> <i>D. pulchra</i>	Plusieurs dérivés : Frimbrolides, Hydroxyfimbrolides, Acétoxyfimbrolides	Méthylénolactones halogénées (Cl, Br, I)	Puissants bactériostatiques qui inhibent les systèmes de communication des bactéries sans être directement toxiques. Composés antifouling naturels. Potentiel comme	1993 1995 1999 2000

Espèces	Biomolécules	Catégories	Activités / Intérêts	Année
<i>Nothogenia fastigiata</i>	Fractions de polymères	Xylomannanes	ingrédients cosméceutiques et cosmétiques. Possèdent des activités antivirales contre 4 souches différentes du virus de l'herpès. La fraction 6 montre l'activité la plus forte (IC ₅₀ de 0,6 et 1,3 mg/L). Toutes les fractions ont une activité anticoagulante.	1997
<i>Ptilonia australasica</i>	Pentabromopyrone et plusieurs dérivés	Polybromopyrones	Propriétés antifongiques et antimicrobiennes. Potentiel comme ingrédients cosméceutiques et cosmétiques.	1978 1979
<i>Liagora farinosa</i>	Acides acétyléniques	Dérivés acétyléniques	Fortement ichtyo-toxiques.	1980
<i>Schizymenia dubyi</i>	Fractions de polymère glucidique	Polysaccharides	Inhibition totale de la croissance cellulaire 100 heures après le traitement <i>in vitro</i> quelque soit la concentration de l'extrait. La division cellulaire est stoppée dans la phase G1 et des études cinétiques montrent que cet arrêt de croissance est irréversible pour une concentration de 1 g/L. Développement potentiel de composés d'intérêt pour le domaine médical dans la lutte contre le cancer.	1994
<i>Schizymenia pacifica</i>	Extrait aqueux		Inhibe la transcriptase reverse de deux rétrovirus (virus myéloblastique aviaire et virus murin de la leucémie Rauscher de mammifère) sans affecter l'activité de l'ADN polymérase a et de l'ARN polymérase II.	1987
<i>Galaxaura marginata</i>	Une dizaine de desmostérols oxygénés et d'hydroperoxystérols	Alcools triterpéniques	Activités cytotoxiques diverses. Utilisation comme structure de base pour le développement de molécules actives contre certaines formes de cancers.	1996 1997

5.2 Références

- AARONSON, S.A. (1991). Growth factors and cancer. *Science*. 254(5035): 1146-53. Review.
- ADL, S.N., SIMPSON, A.G., FARMER, M.A., ANDERSEN, R.A., ANDERSON, O.R., BARTA, J.R., BOWSER, S.S., BRUGEROLLE, G., FENSOME, R.A., FREDERICQ, S., JAMES, T.Y., KARPOV, S., KUGRENS, P., KRUG, J., LANE, C.E., LEWIS, L.A., LODGE, J., LYNN, D.H., MANN, D.G., McCOURT, R.M., MENDOZA, L., MOESTRUP, O., MOZLEY-STANDRIDGE, S.E., NERAD, T.A., SHEARER, C.A., SMIRNOV, A.V., SPIEGEL, F.W. & TAYLOR, M.F. (2005). The new higher level classification of Eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *J. Eukaryot. Microbiol.* 52(5): 399-451.
- ANGULO, Y. & LOMONTE, B. (2003). Inhibitory effect of fucoidan on the activities of crotaline snake venom myotoxic phospholipases A₂. *Biochem. Pharmacol.* 66(10): 1993-2000.
- BALAJI RAGHAVENDRAN, H.R., SATHIVEL, A. & DEVAKI, T. (2005). Antioxidant effect of *Sargassum polycystum* (Phaeophyceae) against acetaminophen induced changes in hepatic mitochondrial enzymes during toxic hepatitis. *Chemosphere* 61(2): 276-81.
- BERGÉ, J-P., DEBITON, E., DUMAY, J., DURAND, P. & BARTHOMEUF, C. (2002). *In vitro* anti-inflammatory and anti-proliferative activity of sulfolipids from the red alga *Porphyridium cruentum*. *J. Agric. Food Chem.* 50(21): 6227-32.
- BERMEJO, R., ACIEN, F.G., IBANEZ, M.J., FERNANDEZ, J.M., MOLINA, E. & ALVAREZ-PEZ, J.M. (2003). Preparative purification of β -phycoerythrin from the microalga *Porphyridium cruentum* by expanded-bed adsorption chromatography. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed Life Sci.* 790(1-2): 317-25.
- BOURGOUGNON, N., ROUSSAKIS, C., KORNPORST, J.M., LAHAYE, M. (1994). Effects *in vitro* of polysaccharide from *Schizymenia dubyi* (Rhodophyta, girgartinales) on a non-small-cell bronchopulmonary carcinoma line (NSCLC-N6). *Cancer letter* 85: 87-92. [fiche Britta-Algues 27-94].
- BOUSSIBA, S. & VONSHAK, A. (1991). Astaxanthin accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *Plant Cell Physiol.* 32 (7): 1077-82.
- BROWN, S.B., HOUGHTON, J.D. & VERNON, D.I. (1990). Biosynthesis of phycobilines. Formation of the chromophore of phytochrome, phycocyanin and phycoerythrin. *J. Photochem. Photobiol. B.* 5(1): 3-23.
- BURJA, A.M., BANAIGS, B., ABOU-MASOUR, E., GRANT BURGESS, J. & WRIGHT, P.C. (2001). Marine Cyanobacteria – a prolific source of natural products. *Tetrahedron*, 57: 9347-77.
- CARLUCCI, M.J., SCOLARO, L.A. & DAMONTE, E.B. (2002). *Herpes simplex* virus type 1 variants arising after selection with an antiviral carrageenan: lack of correlation between drug susceptibility and syn phenotype. *J. Med. Virol.* 68(1): 92-8.
- CATAYEE, G., CHALET, M., TESTE, J. & CODOMIER, L. (1980). Effects of a polysaccharide extracted from a red alga (Bonnemaisoniales) on mononucleate phagocytes in several rodents. *Bull. Assoc. Anat. (Nancy)*. 64(185): 217-23.
- DE LA NOÛE, J. & DE PAUW, N. (1988). The potential of microalgal biotechnology: a review of production and uses of microalgae. *Biotech. Adv.* 6: 725-70.

- DEL CAMPO, J.A., RODRIGUEZ, H., MORENO, J., VARGAS, M.A., RIVAS, J. & GUERRERO, M.G. (2001). Lutein production by *Muriellopsis* sp. in an outdoor tubular photobioreactor. *J. Biotech.* 85 (3): 289-95.
- DIAS, P.F., SIQUEIRA, J.M. Jr, VENDRUSCOLO, L.F., DE JESUS NEIVA, T., GAGLIARDI, A.R., MARASCHIN, M. & RIBEIRO-DO-VALLE, R.M. (2005). Antiangiogenic and antitumoral properties of a polysaccharide isolated from the seaweed *Sargassum stenophyllum*. *Cancer Chemother. Pharmacol.* 56(4): 436-46.
- DRUKER, B., TALPAZ, M, & RESTA, D. (1999). Clinical efficacy and safety of an abl specific tyrosine kinase inhibitor as targeted therapy for chronic myelogenous leukaemia. *Blood* 94, 368.
- DUARTE, M.E., NOSEDA, D.G., NOSEDA, M.D., TULIO, S., PUJOL, C.A. & DAMONTE, E.B. (2001). Inhibitory effect of sulfated galactans from the marine alga *Bostrychia montagnei* on *Herpes simplex* virus replication *in vitro*. *Phytomed.* 8(1): 53-8.
- DVIR, I., CHAYOTH, R., SOD-MORIAH, U., SHANY, S., NYSKA, A., STARK, A.H., MADAR, Z. & ARAD, S.M. (2000). Soluble polysaccharide and biomass of red microalga *Porphyridium* sp. alter intestinal morphology and reduce serum cholesterol in rats. *Br. J. Nutr.* 84(4): 469-76.
- EONSEON, J., POLLE, J.E.W., LEE, H.K., HYUN, S.M. & CHANG, M. (2003). Xanthophylls in Microalgae: From Biosynthesis to Biotechnological Mass Production and Application. *J. Microbiol. Biotechnol.* 13(2): 165-74.
- FABREGAS, J., GARCIA, D., FERNANDEZ-ALONSO, M., ROCHA, A.I., GOMEZ-PUERTAS, P., ESCRIBANO, J.M., OTERO, A. & COLL, J.M. (1999). *In vitro* inhibition of the replication of haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) and African swine fever virus (ASFV) by extracts from marine microalgae. *Antiviral Res.* 44(1): 67-73.
- FALKOWSKI, P.G., KATZ, M.E., KNOLL, A.H., QUIGG, A., RAVEN, J.A., SCHOFIELD, O. & TAYLOR, F.J. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science.* 305(5682): 354-60.
- FARIAS, W.R., VALENTE, A.P., PEREIRA, M.S. & MOURAO, P.A. (2000). Structure and anticoagulant activity of sulfated galactans. Isolation of a unique sulfated galactan from the red algae *Botryocladia occidentalis* and comparison of its anticoagulant action with that of sulfated galactans from invertebrates. *J. Biol. Chem.* 275(38): 299-307.
- FARIAS, W.R., NAZARETH, R.A. & MOURAO, P.A. (2001). Dual effects of sulfated D-galactans from the red algae *Botryocladia occidentalis* preventing thrombosis and inducing platelet aggregation. *Thromb Haemost.* 86(6):1540-6.
- GERESH, S., MAMONTOV, A. & WEINSTEIN, J. (2002). Sulfation of extracellular polysaccharides of red microalgae: preparation, characterization and properties. *J. Biochem. Biophys. Methods.* 50(2-3): 179-87.
- GONZALES DEL VAL, A., PLATAS, G., BASILIO, A., CABELLO, A., GORROCHATEGUI, J., SUAY, I., VICENTE, F., PORTILLO, E., JIMENEZ DEL RIO, M., REINA, G.G., & PELAEZ, F. (2001). Screening of antimicrobial activities in red, green and brown macroalgae from Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Int. Microbiol.* 4(1): 35-40.
- GRZEBYK, D., KATZ, M.E., KNOLL, A.H., QUIGG, A., RAVEN, J.A. SHOFIELD, O., TAYLOR, F.J.R. & FALKOWSKI, P.G. (2004). Response to comment on "The evolution of modern eukaryotic phytoplankton". *Science* (306): 2191c.

- GUERIN, M., HUNTLEY, M.E. & OLAIZOLA, M. (2003). *Haematococcus* astaxanthine: applications for human health and nutrition. *Trends Biotechnol.* 21(5): 210-6.
- GUZMAN, S., GATO, A. & CALLEJA, J.M. (2001). Anti-inflammatory, analgesic and free radical scavenging activities of the marine microalgae *Chlorella stigmatophora* and *Phaeodactylum tricornutum*. *Phytother. Res.* 15(3): 224-30.
- GUZMAN, S., GATO, A., LAMELA, M., FREIRE-GARABAL, M. & CALLEJA, J.M. (2003). Anti-inflammatory and immunomodulatory activities of polysaccharide from *Chlorella stigmatophora* and *Phaeodactylum tricornutum*. *Phytother. Res.* 17(6): 665-70.
- HALLEGRAEFF, G.M. 1995. Harmful algal blooms: A global review. In: *Manual on harmful marine microalgae*, pp. 1-22. Ed. par G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson et A.D. Cembella. IOC Manuals and Guides No. 33. UNESCO, Paris.
- HAN, L.K., LI, D.X., XIANG, L., GONG, X.L., KONDO, Y., SUZUKI, I. & OKUDA, H. (2006). Isolation of pancreatic lipase activity-inhibitory component of *Spirulina platensis* and it reduce postprandial triacylglycerolemia. *Yakugaku Zasshi.* 126(1): 43-9.
- HAROUN-BOUHEDJA, F., LINDENMEYER, F., LU, H., SORIA, C., JOZEFONVICZ, J. & BOISSON-VIDAL, C. (2002). *In vitro* effects of fucans on MDA-MB231 tumor cell adhesion and invasion. *Anticancer Res.* 22(4): 2285-92.
- HASLIN, C., LAHAYE, M., PELLIGRINI, M. & CHERMANN, J.C. (2001). *In vitro* anti-HIV activity of sulfated cell-wall polysaccharides from gametic, carposporic and tetrasporic stages of the Mediterranean red algae *Asparagopsis armata*. *Planta Med.* 67(4): 301-5.
- HERNANDEZ-CORONA, A., NIEVES, I., MECKES, M., CHAMORRO, G. & BARRON, B.L. (2002). Antiviral activity of *Spirulina maxima* against herpes simplex virus type 2. *Antiviral Res.* 56(3):279-85.
- HIRAHASHI, T., MATSUMOTO, M., HAZEKI, K., SAEKI, Y., UI, M. & SEYA, T. (2002). Activation of the human innate immune system by Spirulina: augmentation of interferon production and NK cytotoxicity by oral administration of hot water extract of *Spirulina platensis*. *Int. Immunopharmacol.* 2(4):423-34.
- HONJOH, K. I., MATSUMOTO, H., SHIMIZU, H., OYAMA, K., TANAKA, K., ODA, Y., TAKATA, R., JOH, T., SUGA, K., MIYAMOTO, T., LIO, M. & HATANO, S. (2000). Cryoprotective activities of group 3 late embryogenesis abundant proteins from *Chlorella vulgaris* C-27. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 64(8): 1656-63.
- HUANG, Z.X., MEI, X.T., XU, D.H., XU, S.B. & LU, J.Y. (2005). Protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* and *Sargassum thunbergii* on vascular of alloxan induced diabetic rats. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi.* 30(3): 211-5.
- HUANG, X., ZHOU, H. & ZHANG, H. (2006). The effect of *Sargassum fusiforme* polysaccharide extracts on vibriosis resistance and immune activity of the shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *Fish Shellfish Immunol.* 20(5): 750-7.
- HULEIHEL, M. & ARAD, S.M. (2001). Effect of *Porphyridium* sp. polysaccharide on malignant cell transformation by Moloney murine sarcoma virus. *Anticancer Res.* 21(3B): 2073-8.
- HULEIHEL, M., ISHANU, V., TAL, J. & ARAD, S.M. (2002). Activity of *Porphyridium* sp. polysaccharide against *Herpes simplex* viruses *in vitro* and *in vivo*. *J. Biophys. Methods* 50(2-3): 189-200.

- HULEIHEL, M., TALYSHINSKY, M., SOUPRUN, Y. & ERUKHIMOVITCH, V. (2003). Spectroscopic evaluation of the effect of a red microalgal polysaccharide on herpes-infected Vero cells. *Appl. Spectrosc.* 57(4): 390-5.
- IKEDA, K., KITAMURA, A., MACHIDA, H., WATANABE, M., NEGISHI, H., HIRAOKA, J. & NAKANO, T. (2003). Effect of *Undaria pinnatifida* (Wakame) on the development of cerebrovascular diseases in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 30(1-2): 44-8.
- ISHIHARA, K., OYAMADA, C., MATSUSHIMA, R., MURATA, M. & MURAOKA, T. (2005). Inhibitory effect of porphyran, prepared from dried "Nori", on contact hypersensitivity in mice. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 69(10): 1824-30.
- IWASHIMA, M., MORI, J., TING, X., MATSUNAGA, T., HAYASHI, K., SHINODA, D., SAITO, H., SANKAWA, U. & HAYASHI, T. (2005). Antioxidant and antiviral activities of plastoquinones from the brown alga *Sargassum micracanthum*, and a new chromene derivative converted from the plastoquinones. *Biol. Pharm. Bull.* 28(2): 374-7.
- JEFFREY, S.W., MAC TAVISH, H.S., DUNLAP, W.C., VESK, M. & GROENEWOUD, K. (1999). Occurrence of UVA- and UVB-absorbing compounds in 152 species (206 strains) of marine microalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 189: 35-51.
- KANG, H.S., KIM, H.R., BYUN, D.S., SON, B.W., NAM, T.J. & CHOI, J.S. (2004). Tyrosinase inhibitors isolated from the edible brown alga *Ecklonia stolonifera*. *Arch. Pharm. Res.* 27(12) : 1226-32.
- KEELING, P.J., ARCHIBALD, J.M., FAST, N.M. & PALMER, J.D. (2004). Comment on "The evolution of modern Eukaryotic phytoplankton". *Science.* 306: 2191b.
- KOLENDER, A.A., PUJOL, C.A., DAMONTE, E.B., MATULEWICZ, M.C., CERESO, A.S. (1997). The system of sulfated alpha-(1->3)-linked D-mannans from the red seaweed *Nothogenia fastigiata*: structures, antiherpetic and anticoagulant properties. *Carbohydr. Res.* 304(1) :53-60.
- KORNPROBST, J-M. (2005). Substances naturelles d'origine marine : Chimiodiversité – Pharmacodiversité – Biotechnologies. Éditions TEC & DOC, LAVOISIER. Londre, Paris, New York. 1830 pages. ISBN : 2-7430-0721-4.
- KOTAKE-NARA, E., KUSHIRO, M., ZHANG, H., SUGAWARA, T., MIYASHITA, K. & NAGAO, A. (2001). Carotenoids affect proliferation of human prostate cancer cells. *Nutr.* 131(12): 303-6.
- KRYSTAL, G.W., HONSAWEK, S., LITZ, J. & BUCHDUNGER, E. (2000). The selective tyrosine kinase inhibitor STI571 inhibits small cell lung cancer growth. *Clin Cancer Res.* 6(8): 3319-26.
- KUZNETSOVA, T.A., ZAPOROZHETS, T.S., BESEDNOVA, N.N., SHEVCHENKO, N.M., ZVYAGINTSEVA, T.N., MAMAIEV, A.N. & MOMOT, A.P. (2003). Immunostimulating and anticoagulating activity of fucoidan from brown algae *Fucus evanescens* of the Okhotsk Sea. *Antibiot. Khimioter.* 48(4): 11-3.
- LAHITOVA, N., DOUPOVCOVA, M., ZVONAR, J., CHANDOGA, J. & HOCMAN, G. (1994). Antimutagenic properties of fresh-water blue-green algae. *Folia Microbiol. (Praha).* 39(4): 301-3.
- LAVY, A., NAVEH, Y., COLEMAN, R., MOKADY, S. & WERMAN, M.J. (2003). Dietary *Dunaliella bardawil*, a beta-carotene-rich alga, protects against acetic acid-induced small bowel inflammation in rats. *Inflamm. Bowel Dis.* 9(6): 372-9.

- LEVY, Y., ZALTZBERG, H., BEN-AMOTZ, A., KANTER, Y. & AVIRAM, M. (2000). Dietary supplementation of a natural isomer mixture of beta-carotene inhibits oxidation of LDL derived from patients with diabetes mellitus. *Ann. Nutr. Metab.* 44(2): 54-60.
- LI, N., ZHANG, Q. & SONG, J. (2005). Toxicological evaluation of fucoidan extracted from *Laminaria japonica* in Wistar rats. *Food Chem. Toxicol.* 43(3): 421-6.
- LIMA, H.C. et coll. (1998). Induction and inhibition of human lymphocyte transformation by the lectin from red marine algae *Amansia multifida*. *J. Appl. Phycol.* 10:153-62. [Fiche Britta-Algues 03-98].
- LIU, Q.Y. & MENG, Q.Y. (2005). Therapeutic effect of seaweed polysaccharide from *Sargassum confusum* on sarcoma S180 in mice and its mechanism. *Ai Zheng.* 24(12): 1469-73.
- LIU X.M. & ZHANG, H.Q. (2002). Effect of polysaccharide from *Spirulina platensis* on hematopoietic cells proliferation, apoptosis and Bcl-2 expression in mice bearing tumor treated with chemotherapy. *Yao Xue Xue Bao.* 37(8):616-20.
- MATSUHIRO, B., ZUNIGA, E. & GUACUCANO, M. (1996). Sulfated polysaccharides from *Durvillaea antarctica*. *Hydrobiologia.* 321: 77-81. [algorithme n° 36 nov-dec 1997 ou fiche Britta-CEVA 05-96].
- MATSUMOTO, S., NAGAOKA, M., HARA, T., KIMURA-TAKAGI, I., MISTUYAMA, K. & UEYAMA, S. (2005). Fucoidan derived from *Cladosiphon okamuranus* Tokida ameliorates murine chronic colitis through the down-regulation of interleukin-6 production on colonic epithelial cells. *Clin. Exp. Immunol.* 136(3): 432-9.
- MAZUMDER, S., GHOSAL, P.K., PUJOL, C.A., CARLUCCI, M.J., DAMONTE, E.B. & RAY, B. (2002). Isolation, chemical investigation and antiviral activity of polysaccharides from *Gracilaria corticata* (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Int. J. Biol. Macromol.* 31(1-3): 87-95.
- NA, H.J., MOON, P.D., KO, S.G., LEE, H.J., JUNG, H.A., HONG, S.H., SEO, Y., OH, J.M., LEE, B.H., CHOI, B.W. & KIM, H.M. (2005). *Sargassum hemiphyllum* inhibits atopic allergic reaction via the regulation of inflammatory mediators. *J. Pharmacol. Sci.* 97(2): 219-26.
- NAKASHIMA, H., KIDO, Y., KOBAYASHI, N., MOTOKI, Y., NEUSHUL, M. & YAMAMOTO, N. (1987). Antiretroviral activity in a marine red algae: reverse transcriptase inhibition by an aqueous extract of *Schizymenia pacifica*. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* 113(5): 413-6.
- NARA, T., KAMEI, Y., TSUBOUCHI, A., ANNOURA, T., HIROTA, K., IIZUMI, K., DOHMOTO, Y., ONO, T. & AOKI, T. (2005). Inhibitory action of marine algae extracts on the *Trypanosoma cruzi* dihydroorotate dehydrogenase activity and on the protozoan growth in mammalian cells. *Parasitol. Int.* 54(1): 59-64.
- NODA, K., TANAKA, K., YAMADA, A., OGATA, J., TANAKA, H. & SHOYAMA, Y. (2002). Simple assay for antitumour immunoactive glycoprotein derived from *Chlorella vulgaris* strain CK22 using ELISA. *Phytother. Res.* 16(6): 581-5.
- OKUZUMI, J., NISHINO, H., MURAKOSHI, M., IWASHIMA, A., TANAKA, Y., FUJITA, Y. & TANAKA, Y. (1990). Inhibitory effects of fucoxanthin, a natural carotenoid, on N-myc expression and cell cycle progression in human malignant tumor cells. *Cancer Lett.* 55(1): 75-81.
- O'LEARY, R., REREK, M. & WOOD, E.J. (2004). Fucoidan modulates the effect of transforming growth factor (TGF)-beta1 on fibroblast proliferation and wound repopulation in *in vitro* models of dermal wound repair. *Biol. Pharm. Bull.* 27(2): 266-70.

- OSTENSVIK, O., SLULBERG, O.M., UNDERDAL, B. & HORMAZABAL, V. (1998). Antibacterial properties of extracts from selected planktonic freshwater cyanobacteria - a comparative study of bacterial bioassays. *J. Appl. Microbiol.* 84(6):1117-24.
- PAREDES-CARBAJAL, M.C., TORRES-DURAN, P.V., DIAZ-ZAGOYA, J.C., MASHER, D. & JUAREZ-OROPEZA, M.A. (2001). Effect of the ethanolic extract of *Spirulina maxima* on endothelium dependent vasomotor responses of rat aortic rings. *J. Ethnopharmacol.* 75(1):37-44.
- PARK, P.J., HEO, S.J., PARK, E.J., KIM S.K., BYUN, H.G., JEON, B.T. & JEON, Y.J. (2005). Reactive oxygen scavenging effect of enzymatic extracts from *Sargassum thunbergii*. *J. Agric. Food Chem.* 53(17): 6666-72.
- PREEPRAME, S., HAYASHI, K., LEE, J.B., SANKAWA, U. & HAYASHI, T. (2001). A novel antivirally active fucan sulphate derived from an edible brown alga, *Sargassum horneri*. *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo)*. 49(4): 484-5.
- PRICE III, J.A., SANNY, C., SHEVLIN, D. (2002). Inhibition of Mast Cells by Algae. *J. Med. Food.* 5 (4): 205-10.
- PUGH, N. & PASCO, D.S. (2001). Characterization of human monocyte activation by a water soluble preparation of *Aphanizomenon flos-aquae*. *Phytomedicine.* 8(6):445-53.
- PUGH, N., ROSS, S.A., EISOHLY, H.N., EISOHLY, M.A. & PASCO, D.S. (2001). Isolation of three high molecular weight polysaccharide preparations with potent immunostimulatory activity from *Spirulina platensis*, *aphanizomenon flos-aquae* and *Chlorella pyrenoidosa*. *Planta Med.* 67(8):737-42.
- REND, D., NODA, H., AMANOS, H., NISHINO, T. & NISHIZAWA, K. (1994). Study on antihypertensive and antihyperlipidemic effects of marine algae. *Fish. Sci.* 60(1): 83-88. [algorithme n°21 mai/juin 1995 ou fiche Britta-Algues 05-94].
- ROCHA, H.A., FRANCO, C.R., TRINIDADE, E.S., CARVALHO, L.C., VEIGA, S.S., LEITE, E.L., DIETRICH, C.P. & NADER, H.B. (2001). A fucan from the brown seaweed *Spatoglossum schroederi* inhibits Chinese hamster ovary cell adhesion to several extracellular matrix proteins. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 34(5): 621-6.
- ROMANOS, M.T., ANDRADA-SERPA, M.J., MOURAO, P.A., YONESHIGUE-VALENTIN, Y., COSTA, S.S., PEREIRA, M.S., MIRANDA, M.M., GONCALVES, J.L. & WIGG, M.D. (2002). A sulphated fucan from the *Laminaria abyssalis* inhibits the human T cell lymphotropic virus type 1-induced syncytium formation in HeLa cells. *Antivir. Chem. Chemother.* 13(4): 219-21.
- SABRY, O.M., ANDREWS, S., MCPHAIL, K.L., GOEGER, D.E., YOKOCHI, A., LEPAGE, K.T., MURRAY, T.F. & GERWICK, W.H. (2005). Neurotoxic meroditerpenoids from the tropical marine brown alga *Styopodium flabelliforme*. *J. Nat. Prod.* 68(7): 1022-30.
- SCHMIDT, R.A., WIEBE, M.G. & ERIKSEN N.T. (2005). Heterotrophic high cell-density fed-batch cultures of the phycocyanin-producing red alga *Galdieria sulphuraria*. *Biotechnol. Bioeng.* 90(1): 77-84.
- SEKINE, H., OHONUKI, N., SADAMASU, K., MONMA, K., KUDOH, Y., NAKAMURA, H., OKADA, Y. & OKUYAMA, T. (1995). The inhibitory effect of the crude extract from a seaweed of *Dyegena simplex* C. Agardh on the *in vitro* cytopathic activity of HIV-1 and its antigen production. *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo)*. 43(9): 1580-4.

- STEVAN, F.R., OLIVEIRA, M.B., BUCCHI, D.F., NOSEDA, I.M. & DUARTE, M.E. (2001). Cytotoxic effects against HeLa cells of polysaccharides from seaweeds. *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.* 33(4): 477-84.
- STOLTE, W., KRAAY, G.W., NOORDELOOS, A.A. & RIEGMAN, R. (2000). Genetic and physiological variation in pigment composition of *Emiliania huxleyi* (prymnesiophyceae) and the potential use of its pigment ratios as a quantitative physiological marker. *J. Phycol.* 36: 529-39.
- TORRES-DURAN, P.V., MIRANDA-ZAMOEVA, R., PAREDES-CARBAJAL, M.C., MASHER, D., BLE-CASTILLO, J., DIAZ-ZAGOYA, J.C. & JUAREZ-OROPEZA, M.A. (1999). Studies on the preventive effect of *Spirulina maxima* on fatty liver development induced by carbon tetrachloride, in the rat. *J. Ethnopharmacol.* 54(2):141-7.
- TSANG, C.K. & KAMEI, Y. (2004). Sargaquinoic acid supports the survival of neuronal PC12D cells in a nerve growth factor-independent manner. *Eur. J. Pharmacol.* 488(1-3): 11-8.
- TUTOUR, B.L., BENSLIMANE, F., GOULEAU, M.P., GOUYOU, J.P., SAADAN, B. & QUEMENEUR, F. (1998). Antioxidant and pro-oxidant activities of the brown algae, *Laminaria digitata*, *Himantalia elongata*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus* and *Ascophyllum nodosum*. *J. Appl. Phycol.* 10: 121-129. [Algorithme N°52 4e trimestre 2000 p4-5].
- VETVICKA, V. & YVIN, J.C. (2004). Effects of marine beta-1,3 glucan on immune reactions. *Int. Immunopharmacol.* 4(6): 721-30.
- VIANA, G.S., FREITAS, A.L., LIMA, M.M., VIEIRA, L.A., ANDRADE, M.C. & BENEVIDES, N.M. (2002). Antinociceptive activity of sulfated carbohydrates from the red algae *Bryothamnion seaforthii* (Turner) Kütz. and *B. triquetrum* (S.G. Gmel.) M. Howe. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 35(6): 713-22.
- WALKER, T.L., PURTON, S., BECKER, D.K. & COLLET, C. (2005). Microalgae as bioreactors. *Plant Cell. Rep.* 24: 629-41.
- XIONG, C., O'KEEFE, B.R., BOTOS, I., WLODAWER, A. & MCMAHON, J.B. (2006). Overexpression and purification of scytovirin, a potent, novel anti-HIV protein from the cultured cyanobacterium *Scytonema varium*. *Protein Expr. Purif.* (sous presse).
- YAMAGUSHI, K. (1997). Recent advances in microalgal bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites : a review. *J. App. Phycol.* 8(6): 487-502.
- YOSHIZAWA, Y., TSUNEHIRO, J., NOMURA, K., ITOH, M., FUKUI, F., AMETANI, A. & KAMINOGAWA, S. (1996). *In vivo* macrophage-stimulation activity of the enzyme-degraded water-soluble polysaccharide fraction from a marine alga (*Gracilaria verrucosa*). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 60(10): 1667-71.
- ZHANG, H.Q., LIN, A.P., SUN, Y. & DENG, Y.M. (2001). Chemo- and radio-protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* on hematopoietic system of mice and dogs. *Acta pharmacol.* 22(12):1121-4.
- ZHANG, Q., LI, N., LIU, X., ZHAO, Z., LI, Z. & XU, Z. (2004). The structure of a sulphated galactan from *Porphyra haitanensis* and its *in vivo* antioxidant activity. *Carbohydr. Res.* 339(1): 105-11.
- ZHANG, Q., LI, N., ZHAO, T., QI, H., XU, Z. & LI, Z. (2005). Fucoidan inhibits the development of proteinuria in active Heymann nephritis. *Phytother. Res.* 19(1): 50-3.



ZHOU, G., SUN, Y., XIN, H., ZHANG, Y., LI, Z. & XU, Z. (2004). *In vivo* antitumor and immunomodulation activities of different molecular weight lambda carrageenans from *Chondrus ocellatus*. *Pharmacol. Res.* 50(1): 47-53.

ZHU, W., CHIU, L.C., OOI, V.E., CHAN, P.K. & ANG, P.O. Jr. (2004). Antiviral property and mode of action of a sulphated polysaccharide from *Sargassum patens* against *Herpes simplex* virus type 2. *Int. J. Antimicrob. Agents* 24(3): 279-83.

6. Perspectives et recommandations pour la recherche et développement

Une approche générale de la R-D sur les microalgues

Puisqu'on s'adresse à des microorganismes cultivables en mode confinée, les différentes activités de R-D d'une industrie des microalgues sont très similaires à celles généralement effectuées dans le domaine de la production microbienne pour les bactéries, les levures et les champignons microscopiques. Cette R-D regroupe généralement des activités récurrentes obligatoires et des projets orientés selon les thématiques suivantes :

- Isolement et sélection de souches de microalgues
- Maintien et mise à jour d'une banque de souches originales
- Typage des souches
- Criblage des propriétés des molécules et des composés extraits des biomasses
- Optimisation des conditions de production de biomasses de microalgues en fonction des composés ou des extraits d'intérêt
- Mise à l'échelle de prototype de production
- Développement de produits finis sous forme d'ingrédients ou en formulation avec d'autres composés (optimisation concentrations/activités, stabilisation, emballage, réglementations)
- Travaux d'évaluation des produits finis pour différents marchés visés.

Pour les microalgues, le choix et l'orientation de ces différentes activités seront guidés principalement par les perspectives de marchés, l'avancement technologique des procédés de production, le choix des microalgues comme tel et la recherche de produits à haute valeur ajoutée.

Les perspectives du marché

Les marchés de l'alimentation humaine, des nutraceutiques, des produits de santé naturels et des cosméceutiques, offrent des perspectives d'avenir très intéressantes⁵. La croissance prévue dans les nutraceutiques pour les prochaines années se situe entre 6-10 %⁶.

Les microalgues ne représentent qu'une infime partie de ce marché. Pour conquérir de plus grandes parts de marché, la production de microalgues doit être associée à une forte valeur ajoutée, que ce soit en termes de propriétés bénéfiques prouvées et hors du commun ou encore par une économie de coûts (i.e. produits ou ingrédients moins chers qu'un substitut d'une autre source). Actuellement, ce n'est pas le cas. Par exemple, sur le marché de l'alimentation humaine, à moins d'avoir un produit à forte valeur ajoutée et

⁵ Le lecteur pourra consulter une étude axée sur les nutraceutiques (tendances de marchés, contraintes et défis, distribution) en annexe 1.

⁶ Annexe 1, Volet nutraceutiques, p. 67

« unique », un producteur doit s'attendre à verser de fortes sommes en publicité-marketing ou devra s'associer à une marque de commerce forte.

Quelques pistes orientent déjà les efforts de recherche vers l'obtention d'extraits et de composés d'algues :

- **Omega-3 et produits dérivés** : Une nouvelle étude a été lancée récemment par le Centre Hospitalier de l'Université de Montréal sur le traitement de la dépression par les omega-3⁷. Des omega-3 extraits de microalgues peuvent être intéressants pour le segment de marché végétarien et kasher. De plus, les microalgues sont une source d'omega-3 plus stable en quantité et en qualité que ceux obtenus du secteur des pêches. Un tel ingrédient doit par contre rivaliser avec les omega-3 d'origine végétale terrestre et être de très haute qualité. Le défi réside ici dans la rentabilité d'une production de masse de microalgues à forte teneur en omega-3.
- **Antioxydants, pigments et produits naturels dérivés** : La croissance pour ce seul marché pour les prochaines années se situe à environ 15 % par an⁸. À titre d'exemple, l'astaxanthine est un pigment caroténoïde possédant un puissant potentiel antioxydant. Ce pigment peut être intéressant sur le segment de marché qui préfère des produits de sources naturelles à ceux obtenus par synthèse chimique. D'autres antioxydants puissants auraient avantage à être dépistés et produits à l'aide de microalgues.

Le marché de la nutrition animale est un marché où les ingrédients sont généralement produits en grandes quantités et vendus à faible coût. Par exemple, une production importante de biomasse de microalgues peut entraîner des économies d'échelle non négligeables qui se répercutent sur les coûts de production les rendant compétitifs.

Dans ce marché, il n'est pas facile pour les produits extraits de microalgues de rivaliser avec des produits substitués moins dispendieux. Un bon exemple est la différence de prix entre l'astaxanthine naturelle produite par *H. pluvialis*, plus coûteuse, et l'astaxanthine de synthèse chimique. Tel que mentionné par OLAIZOLA (2003), pour faire une percée majeure sur ce tableau et faire croître la demande pour le produit naturel, il faudrait un effort énorme d'éducation des consommateurs. À titre d'exemple, pour exiger un saumon pigmenté avec de l'astaxanthine naturelle, le consommateur doit savoir que la plupart des saumons d'élevage reçoivent des pigments (astaxanthine ou cantaxanthine) de synthèse chimique. De plus, il doit connaître les avantages du pigment naturel. Nous pouvons saisir ici l'importance capitale des efforts de marketing à déployer. Le marché des extraits horticoles haut de gamme ressemble à celui des ingrédients pour l'alimentation animale quant aux volumes/quantités et aux prix potentiels des produits finis. **Dans le cadre d'une production confinée de microalgues, ces deux marchés ne semblent pas être a priori des cibles d'intérêt.**

⁷ Radio-Canada : <http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2006/01/11/006-omega-3-chum.shtml>;
CHUM : http://www.iforum.umontreal.ca/DesNouvellesDe/2005-2006/20060113_CHUMOmega3.html

⁸ Annexe 1, Volet nutraceutiques, p. 29

Un extrait destiné au marché des nutraceutiques devra pouvoir être produit en grande quantité en plus d'être autorisé par la direction des produits de santé naturels (DPSN). Cela peut nécessiter un investissement moyen de l'ordre de 50K\$ pour chaque ingrédient actif mis en marché.

D'autre part, le secteur pharmaceutique avec ses possibilités de fortes retombées (produits à très haute valeur ajoutée) nécessite des investissements de R-D majeurs de l'ordre de 500 M\$ à 1 G\$ sur une période d'environ 10 ans. Il faut néanmoins souligner que le niveau d'investissement et la période de développement pourraient être revus à la baisse si l'opportunité de développer un médicament dans un secteur orphelin se présente.

Les marchés des ingrédients cosméceutiques et des réactifs/produits biomédicaux sont probablement les marchés les plus intéressants à cibler en priorité et ce en fonction des paramètres suivants :

- Forte valeurs des produits finis
- Faible quantité/volume de produit nécessaire
- Période et investissement de développement intermédiaire
- Réglementation connue

En rétrospective, pour n'importe quel marché des microalgues, la recherche et développement dans ce domaine est relativement jeune. Il reste donc encore beaucoup de place pour des améliorations technologiques et des applications originales visant les composantes à haute valeur ajoutée et les espèces non exploitées commercialement dont font parties les espèces indigènes du Saint-Laurent.

La recherche de produits à haute valeur ajoutée : les molécules actives ?

La recherche de molécules et d'extraits actifs a été jusqu'à tout récemment plus intense chez les espèces de macroalgues que chez les microalgues. Cette situation est probablement le résultat de la plus grande facilité de récolte et d'identification des espèces d'algues pluricellulaires.

L'émergence de technologies efficaces pour l'isolation, l'identification (génomique, protéomique) et la production (photobioréacteurs/bioréacteurs) des microalgues permet déjà d'inverser cette tendance. La section 5 de l'étude montre un récent et net engouement pour le criblage de molécules actives isolées de plusieurs espèces de microalgues appartenant à tous les groupes. Cette orientation est d'autant plus intéressante du fait que la culture de microalgues est désormais plus facile et plus efficace que la production d'importantes biomasses de macroalgues en milieu contrôlé.

Les travaux de recherche de biomolécules actives dans les algues réalisés au cours des 15 dernières années ne sont qu'un simple aperçu du fort potentiel exploitable de ce secteur d'avant-garde étant donné le nombre très important d'espèces et de souches de microalgues. **De plus, imaginez que chacune de ces souches hautement productives est capable de modifier la production de certains métabolites d'intérêt en fonctions des conditions de culture (production confinée « biodirigée »).** Cet énorme potentiel ne tient

même pas compte de la possibilité d'effectuer des sélections génotypiques et des modifications génétiques de certaines microalgues, ce qui permettrait d'augmenter la capacité et la diversité de synthèse telles que déjà pratiquées avec d'autres microorganismes unicellulaires comme les bactéries et les levures.

Le choix des microalgues du Saint-Laurent et le mode d'intervention en R-D d'extraits actifs

On peut définir comme espèces indigènes au Saint-Laurent, toutes les espèces de microalgues ayant été récoltées dans le Saint-Laurent et y vivant. À l'inverse, une espèce exotique serait identifiée comme une espèce n'ayant pas été retrouvée dans le Saint-Laurent et qui croit normalement dans des conditions environnementales très différentes. Par contre, la capacité d'adaptation du phytoplancton et les risques d'introduction (ex. : eaux de ballaste) peuvent amener des espèces exotiques à se retrouver dans le Saint-Laurent et à y croître.

L'estuaire et le Golfe du Saint-Laurent sont des environnements marins de zones tempérées avec des eaux majoritairement froides (-1°C à 15°C) selon les périodes de l'année. Étant donné la grande superficie de l'estuaire et du Golfe, plusieurs zones biogéographiques (avec des caractéristiques physico-chimiques et de courants distincts) ont été identifiées afin de mieux caractériser ce territoire tout en étant inter-dynamiques entre elles (El-Sabh and Silverberg, 1990, Therriault, 1991, Bérard-Therriault *et al.* 1999). Par leur adaptation aux eaux du St-Laurent, les espèces phytoplanctoniques qui y vivent devraient être favorisées par une culture en eau froide.

Des recherches taxinomiques récentes (Bérard-Therriault *et al.* 1999) ont dénombré un total de 499 espèces phytoplanctoniques retrouvées dans le Saint-Laurent. Celles-ci sont divisées en quatre groupes majeurs (diatomées, dinoflagellés, flagellés et protozoaires) qui incluent plus de 22 classes. **Peu ou pas d'espèces spécifiques connues au Saint-Laurent ont été inventoriées et la majorité de celles-ci peuvent se retrouver dans des masses d'eau plus ou moins comparables à celles du Saint-Laurent.** Ainsi, les espèces retrouvées dans le Saint-Laurent peuvent aussi être présentes, entre autre, dans les mers du nord (Mer Baltique, Mer Noire et autres) ainsi que dans l'Atlantique Nord.

À ce jour, peu d'études ont tenté de démontrer la pertinence d'utiliser des espèces locales comparativement à des espèces taxinomiques identiques achetées d'une phytothèque ou provenant d'autres sources. Une étude portant sur 16 souches d'une espèce de phytoplancton pouvant être retrouvée dans le Saint-Laurent (*Emiliana huxleyi*) a démontré que le ratio moléculaire des pigments caroténoïdes était identique entre les différentes souches (Stolte *et al.*, 2000). Une autre étude effectuée sur 206 souches réparties entre 152 espèces, montre que les acides aminées de type mycosporine (absorption/protection contre les rayons ultraviolets) sont variables entre les espèces mais semblables ou identiques chez les souches d'une même espèce (Jeffrey *et al.*, 1999).

Selon Barahona et Rorrer (2003), le lieu de récolte influence sans aucun doute la production de métabolites secondaires pour une même espèce d'algue. Néanmoins, ces

différences semblent s'atténuer et disparaître lorsque les conditions de culture sont identiques. De plus, les difficultés occasionnées par la récolte et l'isolation d'une espèce laisse croire que les tests préliminaires pourraient être faits sur des espèces récoltées et isolées d'une autre région mais retrouvées aussi dans le Saint-Laurent.

Le phytoplancton du Saint-Laurent est très dynamique. Durant une année, plusieurs successions de population et d'éclosion surviennent. Ces dernières ne sont pas toujours similaires entre les années. Il devient aléatoire de cibler une période et un endroit précis pour récolter une espèce d'intérêt. De plus, il n'est pas rare d'identifier jusqu'à 50 et même 75 espèces de microalgues dans un échantillon (Blouin, 1996) ce qui complexifie le tri et la sélection d'une espèce particulière.

La mise en œuvre d'activités de recherche sur des espèces indigènes à partir d'un échantillon naturel implique obligatoirement de faire une purification de l'espèce ciblée pour la faire croître. Sans ce travail laborieux de purification, les travaux de R-D et de production de criblage seront effectués sur une communauté complexe de microalgues à croissance et à compétition variable. Cette approche est sans intérêt pour identifier des produits à valeur ajoutée et est tout simplement inacceptable pour contrôler la reproductibilité d'une production de biomasse. De plus, dans les eaux naturelles, il y a présence d'une importante flore bactérienne et virale qui peuvent influencer les résultats de criblage de molécules actives.

Afin d'isoler une espèce indigène pour les essais de criblage, il faut premièrement identifier les espèces qui semblent présenter un intérêt potentiel pour un domaine d'application particulier (revue de littérature). Puis à partir d'un échantillon d'eau fraîchement récolté, il faut :

- Identifier rapidement au microscope inverse la/les espèce(s) ciblée(s).
- Isoler la/les cellule(s) d'intérêt par micropipette ou par cytométrie en flux.
- Mettre en culture axénique dans des milieux frais et stériles les cellules récoltées.
- Après quelques heures/jours de croissance valider par microscopie la présence d'une seule espèce d'intérêt. Si non, il faut reprendre à partir du point 2.
- Faire différents traitements antibactériens afin de purifier l'eau de culture.
- Augmenter le nombre de cellules de l'espèce ainsi isolée jusqu'à son potentiel maximum de biomasse à l'aide de différents procédés.
- Produire suffisamment de biomasse cellulaire selon une technologie ciblée.
- Maintenir en banque de souches les espèces ciblées.

Cette pratique est très exigeante en temps et en ressources et demande par conséquent un investissement substantiel en recherche sans garantis de succès. L'approche de R-D pour le criblage d'extraits de souches indigènes permettant d'isoler des molécules et des composés actifs doit donc être orientée afin de permettre l'obtention rapide et efficace de résultats R-D pour un marché hautement compétitif.

L'approche préconisée consiste en une analyse par criblage systématique de culture à partir de différentes espèces/souches de microalgues achetées d'une phytothèque

reconnue tel que le "Provasoli-Guillard National Center for Culture of Marine Phytoplankton" (<http://ccmp.bigelow.org/>) aux États-Unis. Cette organisation compte plus de 2100 souches de phytoplancton marin provenant de nombreuses régions du globe. Elle possède plusieurs variétés de microalgues de régions tempérées retrouvées aussi dans l'estuaire et le Golfe Saint-Laurent.

Lors d'une première étape, les travaux de criblage devraient être faits avec des espèces/souches identiques aux microalgues indigènes des secteurs maritimes du Saint-Laurent. Les conditions de culture sont à définir en fonction des biomolécules ciblées (production « biodirigée »).

Il sera aussi possible de cribler les extraits de microalgues probablement très semblables ceux que l'on obtiendrait avec des espèces indigènes du Saint-Laurent. En effet, après plusieurs divisions cellulaires (générations) dans les conditions de culture semblables à l'environnement physico-chimique (température, salinité, micronutriments, luminosité, etc.) de certains secteurs du Golfe, les microalgues exogènes seront adaptées. La production de biomasse en vue des essais de criblage d'activités biologiques *in vitro* (anticancéreux, antimicrobiens, antioxydant, anticoagulant, immunostimulant, biotoxicité, etc.) présentant un intérêt d'application à différents marchés pourront alors débiter.

Dans une seconde étape, des essais de criblage pour les mêmes activités biologiques avec quelques souches de microalgues indigènes permettraient de vérifier si des souches exogènes et indigènes d'une même espèce donnent des résultats comparables pour les différentes biomolécules actives recherchées. Les résultats de ces travaux permettraient d'orienter la recherche d'extraits actifs d'intérêt à partir d'espèces/souches indigènes ou exogènes uniquement ou encore des deux groupes.

Afin de maximiser les chances d'identifier des molécules actives pour les marchés des ingrédients cosméceutiques et éventuellement des produits de santé naturels certains groupes de microalgues devraient être priorisés. En fonction des résultats de la recherche bibliographique présentée à la section 5 de ce travail, voici par ordre décroissant les groupes de microalgues à cibler en priorité :

- 1) Rhodophytes unicellulaires
- 2) Cyanobactéries
- 3) Dinoflagellés
- 4) Diatomés et autres microalgues de la Lignée Brune
- 5) Chlorophycées

Il faut souligner le fait que les deux premiers groupes de microalgues d'intérêt ont été très peu étudiés dans les eaux du Saint-Laurent et leur représentation n'est probablement pas dominante (Blouin, 1996). En fait, aucune espèce de Rhodophytes unicellulaires n'a été identifiée dans le Saint-Laurent maritime (Bérard-Therriault *et al.*, 1999) mais plusieurs genres et espèces sont disponibles dans les banques d'algues. En ce qui concerne les Cyanobactéries, seulement deux genres ont été identifiés dans le Golfe du Saint-Laurent

au milieu des années 90 (Bérard-Therriault *et al.*, 1999). Néanmoins, plusieurs espèces de ce groupe peuvent être obtenues dans les différentes banques d'algues à travers le monde.

À titre d'information voici quelques genres/espèces de microalgues appartenant aux groupes des Dinoflagellés (1), de la Lignée Brune (2) et des Chlorophycées (3) identifiées dans le Saint-Laurent (Bérard-Therriault *et al.*, 1999) et disponibles dans une banque commerciale (<http://ccmp.bigelow.org/>) :

- 1) *Prorocentrum compressum*, *P. lima*, *P. mexicanum*, *P. micans*, *P. minimum*, *Amphidinium carterae*, *Gymnodinium sp.*, *Gyrodinium sp.*, *Ceratium longipes*, *Alexandrium fundyense*, *A. ostensfeldii*, *A. tamarense*, *Gonyaulax spinifera*, *Pyrocystis lumula*, etc.
- 2) *Cyclotella striata*, *Detomula confervacea*, *Minidiscus trioculatus* *Porosira glacialis*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira gravida*, *T. nordenskiöldii*, *T. antarctica*, *T. hyalina*, *T. oceanica*, *T. pseudonana*, *Melosira nummuloide*, *Chromulina sp.*, *Ochromonas sp.*, *Dinobryon balticum*, *Pseudopedinella sp.*, *Dictyocha speculum*, *Hemiselmis virescens*, *Teleaulax acuta*, *Imantonia rotunda*, *Emiliania huxleyi*, *Chrysochromulina polylepsis*, etc.
- 3) *Brachiomonas sp.*, *Eutreptiella gymnastica*, *Dolichromastix temulepis*, *Nephroselmis pyriformis*, *Tetraselmis sp.*, etc.

En conclusion, le développement d'une expertise de production de microalgues en milieu confiné (photobioréacteurs/bioréacteurs) dans la région du Québec maritime permettra d'ouvrir la recherche d'extraits d'intérêt ou de molécules actives dans le vaste monde des microalgues exotiques. **Dans un contexte de développement durable, les microalgues offrent ici un des plus forts potentiels d'appui au développement des biotechnologies marines.**

Les technologies de production

D'une manière générale, les données portant sur les technologies de production de microalgues démontrent depuis une dizaine d'années un avancement technologique remarquable de la production contrôlée des microalgues (voir section 4).

Dans l'optique du développement durable et compétitif du secteur des microalgues dans le Québec maritime, ces avancements technologiques sont très importants puisque la production rigoureuse de microalgues à l'aide des techniques traditionnelles en mode ouvert même sous serres ne peut être appliquée économiquement dans nos conditions climatiques nordiques.

La technologie des bioréacteurs peut être utilisée pour un meilleur contrôle de la production de biomasses de microalgues et de certains de leurs composés d'intérêt. Les technologies actuelles s'orientent vers une opération préconisant entre autres la stérilisation des équipements, une pasteurisation ou une stérilisation du milieu de culture, une opération en bonne pratique de fabrication et l'informatisation complète du contrôle

de la production. Des technologies de différents types sont maintenant disponibles et même appliquées pour la production d'extraits et de molécules actives.

Sous toutes réserves de la disponibilité et de la validité des données retrouvées pour différentes espèces de microalgues, les données de productivités montrent des résultats de bonnes performances avec certains types de technologies de production. Les réacteurs préconisant les approches traditionnelles de production microbienne en système air-lift (à boucle de recirculation dans une colonne à bulle) et en mode discontinue (fed-batch) sont les plus productifs. **Divers groupes présentent des avancements considérables avec ces approches technologiques déjà fortement appliquées pour la production d'espèces unicellulaires autres que les microalgues. Ces technologies doivent être préconisées pour de futurs développements de produits.**

Le choix des microalgues d'intérêt doit s'orienter vers des souches résistantes au cisaillement afin d'être compatible avec les techniques de culture à haute densité et à l'utilisation de centrifugeuses comme technique standard de séparation/concentration. De plus, les orientations de production devront viser des souches sélectionnées pour leur capacité à croître en mode hétérotrophe (sans lumière). Des exemples de ce mode de culture de microalgues ont été retracés et permettent la production commerciale à grande échelle d'acide gras de type omega-3 (EPA et DHA) et la production expérimentale de pigments.

Ces différents éléments devront être considérés dans la mise en œuvre de tous les nouveaux travaux R-D de production de microalgues afin d'être compétitif le plus rapidement possible dans un marché où l'exportation représente la principale source de revenus.

En regard de ces différentes considérations de marché, du choix des souches et de l'avancement des technologies de production, l'approche générale de la R-D sur les microalgues devraient inclure des projets ou des activités typiques aux « thématiques » de productions microbiennes. Ces thématiques sont présentées dans le Tableau 19.

- *Maintien et mise à jour d'une banque de souches originales*

Cette activité conduit à la préparation de culture nécessaire à l'inoculation des productions pour la R-D et pour les produits mis en marché. L'activité utilise les résultats obtenus du thème « typage en série de souches originales isolées ». En fait, cette activité récurrente est nécessaire pour maintenir les résultats de recherche de travaux antérieurs d'isolement et de typage de souches. L'impact d'une telle activité est d'une valeur inestimable dans la valorisation des résultats de recherche et dans le contrôle de qualité des activités de R-D reliées à la production commerciale comme telle.

- *Typage en série des souches originales*

Il est évident que différents marchés dont ceux de l'alimentation animale (ex. : aquaculture) et ceux à haute valeur ajoutée pourraient nécessiter des souches différentes des souches traditionnelles fournies par les banques de microalgues. Il faut aussi convenir

que les souches ciblées soient examinées en comparaison avec des souches endémiques afin de prévenir toute introduction non désirée dans l'environnement d'application. Il faut aussi tenir compte du fait qu'il peut exister entre les souches d'une même espèce de grandes différences de performances de croissance et de production de métabolites secondaires. Ceci peut occasionner une variation importante des rendements d'extraction de composés d'intérêt et donc des coûts de production. Par exemple, **l'utilisation par inadvertance d'une souche différente ou mutante d'une même espèce de microalgue peut avoir des répercussions négatives et coûteuses dans le cadre d'une production régulière commerciale de biomasse et de produits à forte valeur ajoutée. En regard des considérations précédentes, les souches doivent être isolées, clonées et typées.**

La diversité des souches d'une espèce peut être discriminée à l'aide de techniques variées. Différentes techniques de biologie moléculaire peuvent être utilisées afin de déterminer les différences entre les souches d'une même espèce de microalgue. Ces méthodes incluent l'obtention d'empreinte génétique (ex : Randomly Amplified Polymorphic DNA utilisant le PCR « polymerase chain reaction ») aussi bien que des analyses de séquence particulière de gènes. Ces méthodes moléculaires associées à des méthodes chimiques permettent d'établir une empreinte spécifique à chacune des souches de microalgue. **Les résultats d'une telle thématique seront exploités par la suite pour l'activité de maintien et de contrôle de la qualité de la banque de microalgues. Une telle banque de microalgues sera utilisée dans les années à venir dans le cadre d'applications industrielles, incluant l'aquaculture.**

- *Optimisation des conditions de production*

Les objectifs des projets de cette thématique visent la mise en œuvre de nouvelles productions et la réduction des coûts. Dans l'optique d'une mise à l'échelle subséquente, cette thématique doit exploiter une approche de dépistage accélérée des conditions optimales de croissance « biodirigées » en petits volumes tout en tenant compte des limitations combinées des variables industrielles.

Actuellement, dans ce domaine de plus en plus compétitif, les objectifs de R-D doivent viser très rapidement la mise en marché d'un produit. **Il apparaît clairement qu'il est beaucoup plus intéressant pour une entreprise de production de microalgues d'adapter des technologies existantes plutôt que de tenter d'inventer un nouveau type d'équipements de production (ex.: Développement d'un nouveau type de photobioréacteur).** Elle doit exploiter une technologie de production existante et exiger une validation lors de la mise à l'échelle. Les orientations doivent viser une approche moins risqué de multiples unités lorsque la production autotrophe (avec lumière) est préconisée (air-lift avec approche semi-continue) ou lorsque l'entreprise vise de gros volumes de production en mode hétérotrophe (ex : fed-batch en réacteur traditionnel).

Dans un contexte d'une production confinée et contrôlée, une approche d'optimisation par conception expérimentale multifactorielle doit être préconisée. L'approche usuelle de l'optimisation de technologies de procédés est de conduire des expériences avec validation d'une variable à la fois. Pour la recherche fondamentale, cette approche est le plus souvent

justifiée. Même si cette approche est simple à planifier et à exécuter, ce n'est pas une bonne stratégie dans des situations conduisant à des productions commerciales à haute rentabilité comme celles des microalgues. Plusieurs variables interviennent lors d'une production de microalgues : choix de la souche, pH, composition du milieu de culture, niveau d'agitation, intensité de l'éclairage, type de longueur d'onde utilisé, concentration en CO₂, durée de production, densité cellulaire, âge de la culture, etc. **En R-D, certains arguments supportent l'approche, de plus en plus utilisée, de l'optimisation multifactorielle des procédés.** En effet, l'approche traditionnelle présente certains impacts négatifs lors de la réalisation de travaux de R-D et d'optimisation de procédés de production. Voici quelques unes des faiblesses de l'approche traditionnelle :

- impossibilité de déterminer la valeur optimale d'un facteur lorsque les autres facteurs varient,
- impossibilité de déterminer les interactions entre les variables et finalement,
- inefficacité économique (temps et argent).

Dans une approche où l'on fait varier un seul des paramètres à la fois, seulement une variable est modifiée alors que les autres sont gardées constantes. Dans ces conditions, l'identification des interactions (négative, additive ou synergiques) entre deux ou plusieurs variables est impossible. Pour atteindre cet objectif d'optimisation, l'expérimentation requiert des changements simultanés pour toutes les variables selon différentes combinaisons. L'impossibilité de déterminer correctement ces interactions peut conduire à des conclusions trompeuses et une mauvaise planification des essais de mise à l'échelle d'une production industrielle de microalgues.

La même approche expérimentale doit s'appliquer pour le développement, l'évaluation et l'optimisation de formulation d'ingrédients actifs provenant des microalgues.

- ***Criblage des propriétés des souches de microalgues***

Une approche basée sur le criblage d'activités biologiques diverses (antibactérienne, anti-inflammatoire, antifongique, immunostimulante, anticancer, antivirale, anti-oxydante, antidouleur, anticoagulante, etc.) est proposée pour permettre l'obtention de produits à base d'extraits ou de molécules actives ou tout simplement pour démontrer les propriétés biologiques d'une poudre brute de microalgues. Pour atteindre cet objectif, l'approche préconisée est la constitution d'une librairie d'extraits marins en provenance d'une banque de souches et de différentes productions de microalgues (espèces, souches différentes d'une même espèce, productions biodirigées différentes). **Ainsi, à partir d'une biomasse entière, de fractions d'extraits totaux ou encore de composés, il est recommandé de procéder au criblage d'activités biologiques en mode automatisée à haut débit.**

Ainsi, une retombée à court terme avec une biomasse sèche ou ces extraits pourrait nécessiter un investissement de l'ordre de 100K\$ par microalgues, sur une période de 6 mois à 1 an.

Tableau 18. Approche générale de la R-D sur les microalgues : thématique de recherche

Thèmes de R-D	Nature de l'activité	Commentaires	Estimé des coûts engendrés	Bénéfices attendus
Maintien et mise à jour d'une banque de souches originales de microalgues	R	Activité de maintien de souches originales et au contrôle de qualité de la production microbienne (propriétés, contrôle de la dérive génétique, empreinte génétique de contrôle, profil biochimique).	<ul style="list-style-type: none"> • 100 000\$ / an pour une banque d'envergure (100 à 300) • 15 000\$ / an pour quelques spécimens (10) 	A
Typage en série des souches originales de microalgues isolées	NR	Activités de typage biomoléculaire, biochimiques et biologiques de souches indigènes en comparaison avec les souches et espèces de banques connues en vue par exemple de la recherche de nouveaux usages et de nouvelles propriétés.	<ul style="list-style-type: none"> • 15 000\$ à 30 000\$ / souche (si outils de typage connus et accessibles) 	B
Sélection de souches de microalgues	R et NR	Activités sur l'augmentation des connaissances sur la génomique des microalgues mais visant des impacts certains sur la sélection dirigée de souches pour l'obtention rentable de produits à haute valeur ajoutée, en cultures confinées et biosécurisées. Approche fondamentale de la R-D en soutien aux autres activités plus orientées de maintien de souches, de typage et de production de produits à haute valeur ajoutée.	<ul style="list-style-type: none"> • 500 000\$ à 1 M\$ sur une période de 3 à 5 ans 	C
Criblage des souches- vérification des propriétés	NR	Le criblage des souches produites vise la biomasse directement, des extraits ou encore des molécules spécifiques. Constitution d'une banque d'extraits et de molécules actives.	<ul style="list-style-type: none"> • 50 000\$-75000\$ par souches et/ou conditions de culture • 50 000\$ pour le fractionnement moléculaire et la confirmation des propriétés • 50 000 à 100 000\$ pour confirmation d'une molécule spécifique et de ces effets 	A
Optimisation des conditions de production	NR	Activités à réaliser dans le but de réduire les coûts de production et/ou visant l'obtention d'un contenu particulier d'une souche de microalgue.	<ul style="list-style-type: none"> • 50 000\$ à 300 000\$ par projet sur une période de 1 an à 2 ans dépendant du produit fini visé (biomasse, extrait, molécules). 	A

Thèmes de R-D	Nature de l'activité	Commentaires	Estimé des coûts engendrés	Bénéfices attendus
Optimisation des formulations	NR	Activités à réaliser pour le développement et le conditionnement de formulation et leur optimisation en fonction du marché visé (biomasse entière, extraits ou molécules)	<ul style="list-style-type: none"> • 15 000\$- 50 000\$ pour une biomasse sèche • 25 000\$ à 75 000\$ pour un extrait ciblé • 80 000\$ à 150 000\$ pour une molécule ciblée 	A

Légende. R : récurrent ; NR : non récurrent

Bénéfices attendus : À titre indicatif seulement. Une analyse coûts/bénéfices doit être effectuée sur la base du marché, l'offre, les prix d'achat, la concurrence et les résultats de la R-D. A : fort; B : moyen; C : faible. Le bénéfice devra être confirmé lors des travaux.

6.1 Références

- BALL, S.G. (2005). Eukaryotic Microalgae Genomics. The Essence of Being a Plant. *Plant Physiology* 137: 398-398.
- BARAHONA, L.F. & RORRER, G.L. (2003). Isolation of halogenated monoterpenes from bioreactor-cultured microplantlets of the macrophytic red algae *Octhodes secundiramea* and *Portieria hornemanii*. *J. Nat. Prod.* 66: 743-51.
- BÉRARD-TERRIAUL, L., POULIN, M., & BOSSÉ, L. (1999). Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant certains protozoaires. *Publ. Spéc. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 128. 387p
- BLACBURN, S, JOHNSTON C., FRAMPTON D. (2000). CSIRO Microalgae Research Centre-Microalgae for aquaculture, biotechnology and the environment. *Hatchery Feeds: Proceedings of a workshop held in Cairns. 9-10 March 2000, Pp 9-13.*
- BLOUIN, F. (1996). Évaluation des différents estimateurs de la biomasse phytoplanctonique dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent. M.Sc. Thesis. UQAR. 129 p
- EL-SABH, M. I. & SILVERBER, N. (1990). Oceanography of a large-scale estuarine system. The St.Lawrence. *Coastal and estuarine studies.* 39. 434p
- JEFFREY, S.W., MAC TAVISH, H.S., DUNLAP, W.C., VESK, M. & GROENEWOUD, K. (1999). Occurrence of UVA- and UVB-absorbing compounds in 152 species (206 strains) of marine microalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 189: 35-51.
- STOLTE, W., KRAAY, G.W., NOORDELOOS, A.A. & RIEGMAN, R. (2000). Genetic and physiological variation in pigment composition of *Emiliana huxleyi* (prymnesiophyceae) and the potential use of its pigment ratios as a quantitative physiological marker. *J. Phycol.* 36: 529-39.
- TERRIAUL, J.-C. (1991). The Gulf of St.Lawrence : small ocean or big estuary? *Can. Spec. Publ. Fish.Aquat. Sci.* 113. 359p.



Annexe 1

Volet nutraceutique Rapport de l'UQAR

Étude d'opportunités des biotechnologies marines sur la production et
l'utilisation des microalgues marines*

Volet nutraceutique

Par :

Jean-Claude Michaud, GRM, UQAR-Campus de Rimouski
Suzanne Pelletier, UQAR- Campus de Lévis
Éric Bégin, professionnel de recherche
Rose Mary Bendezú, étudiante GRM-UQAR

Avec la collaboration de :

Denis Rheault, conseiller développement de marché
Valérie Pelletier, professionnelle de recherche
Sonia Dubé, professionnelle de recherche

Gestion des ressources maritimes
Université du Québec à Rimouski

21 novembre 2005
(révisé le 19 septembre 2006)

*Projet réalisé grâce à l'aide financière du Centre de recherche en biotechnologie marine (CRBM).

Résumé

Le présent rapport fait suite à une proposition d'examiner le marché des nutraceutiques pour identifier des créneaux porteurs qui pourraient par la suite être associés aux microalgues marines.

Objectifs de l'étude

L'objectif principal de l'étude est de situer les produits à base de microalgues dans le marché des produits de santé naturel. Il s'agit donc d'une étude d'opportunité permettant de mieux connaître le potentiel des microalgues marines. C'est une première démarche avant d'en arriver aux études spécifiques de faisabilité. Les objectifs spécifiques de l'étude sont comme suit : Identifier les créneaux de marché porteurs pour les microalgues marines; répertorier les produits à base de microalgues marines présents sur le marché canadien en les classant selon leurs fonctions (antioxydant, anti-inflammatoire, etc.); établir la liste des entreprises actives dans la fabrication et la formulation de produits à base de microalgues; présenter la structure de distribution de ces produits.

Méthodologie

La méthodologie repose sur des données secondaires et primaires. Les données secondaires proviennent des principaux travaux publiés sur les produits de santé naturels depuis 2000. Les données primaires proviennent d'entrevues menées au Québec auprès de formulateurs et de distributeurs. Les entrevues ont eu lieu à l'automne 2005. Les entreprises participantes constituent un échantillon raisonné.

Taille et croissance du marché des produits de santé naturels

Le marché mondial et nord américain est en pleine croissance. Les ventes au détail se situent à plus de 60 milliards de dollars et la croissance, selon la catégorie de produits, est entre 6 et 10 % annuellement. Les produits à base de microalgues marines représentent une faible proportion du marché, soit moins de 2 %. Il y a quelques 42 entreprises au Canada actives dans ce secteur, dont plus de la moitié est localisée au Québec. Les produits à base de microalgues, dominés par la spiruline, ne semblent pas occuper une niche de marché bien définie qui les distingue des autres produits. On retrouve, par exemple, des protéines sans que ces produits comportent une identification qui soit propre aux microalgues marines.

La production et la distribution sont aux mains de grandes entreprises selon les segments de marché. Dans le créneau des vitamines, il y a des phénomènes de

concentration qui rendent l'accès au marché plus difficile. Au niveau de la production de microalgues, quelques entreprises jouent un rôle majeur sans toutefois que l'on assiste à de fortes concentrations. Parmi les entreprises les plus connues, mentionnons Martek Bioscience et Cyanotech. Dans ce dernier cas, l'entreprise existe depuis plus de 20 ans. Elle est de petite taille avec un chiffre d'affaires de moins de 10 millions USD et a connu en 2005 des difficultés financières à cause d'une concurrence accrue sur son marché. Pour sa part Martek est de plus grande taille (environ 225 millions USD) et met en marché des produits oméga-3.

Distribution aux États-Unis et au Canada

Aux États-Unis, environ 85 % de tous les nutraceutiques sont vendus par le biais des grossistes, le 15 % restant est vendu directement par les manufacturiers aux détaillants. Les grandes surfaces représentent 35 % des ventes, les boutiques d'aliments naturels représentent 34 % des ventes alors que les MLM (marketing à paliers multiples ou multi-level-marketing) s'accaparent environ 18 %.

Au niveau du Canada, 58 % des ventes sont faites par les chaînes de pharmacies, 22 % par les grandes surfaces et le restant, 20 %, par les magasins spécialisés, entre autres. Les grandes surfaces, en particulier les chaînes d'épicerie joueront un rôle grandissant sur ce marché. Entre 75 et 80 % des approvisionnements des produits nutraceutiques au Canada sont réalisés principalement par les fournisseurs locaux, le restant, 20 à 25 %, provient des importations dont 50 % proviennent des États-Unis et 12 % de la Chine. Les fournisseurs locaux peuvent importer les ingrédients actifs et formuler le produit final au Canada. C'est le cas notamment des microalgues marines.

Barrières à l'entrée

Il existe des barrières à l'entrée qui freinent l'ensemble de l'industrie ou son accès par de petits joueurs. Elles sont de trois ordres. La réglementation est de plus en plus sévère, notamment concernant les allégations de santé. La seconde barrière se situe sur le plan de la perception par les consommateurs qui sont très méfiants : pour au moins 50 % d'entre eux, les allégations ne sont pas véridiques. A cela s'ajoute la difficulté de différencier les produits. La troisième barrière concerne la capacité des entreprises à faire le marketing de leurs produits et d'investir dans la R & D.

Facteurs favorables du développement du marché

Plusieurs facteurs favorisent la croissance du marché des produits de santé naturels, notamment les produits à base de microalgues. Les préoccupations des consommateurs vis-à-vis la santé, les coûts fortement en croissance des services de santé ainsi que le vieillissement de la population sont autant de facteurs favorables au développement de produits novateurs.

Conclusion

Pour les producteurs de microalgues marines, le marché des nutraceutiques présentent des opportunités. Mais les produits à base de microalgues ne se différencient pas des autres produits. Pour un producteur qui veut démarrer la production de microalgues dont le marché serait les produits de santé naturels, deux stratégies peuvent être envisagées : façonner ses propres produits et les faire mettre dans le réseau de distribution en supportant un effort de marketing important ; se placer sur le marché des ingrédients. Sur ce marché, les producteurs enquêtés lors de la réalisation de l'étude indiquent qu'il est possible de remplacer des ingrédients venant d'ailleurs à la condition qu'ils soient moins chers ou encore qu'ils apportent une valeur ajoutée. De plus, la réputation du fournisseur est un élément majeur de pénétration du réseau de distribution.

Table des matières

RÉSUMÉ	I
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VII
1 INTRODUCTION	1
1.1 CONTEXTE	1
1.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	1
1.3 MÉTHODOLOGIE	2
1.3.1 <i>Cadre général de référence</i>	2
1.3.2 <i>Cadre opérationnel</i>	4
1.3.3 <i>Déroulement de l'étude</i>	6
2 DÉFINITIONS DES PRODUITS ET MICROALGUES	8
2.1 DÉFINITION DES PRODUITS ET DES MARCHÉS.....	8
2.2 PLATES-FORMES DES PRODUITS.....	16
2.3 PRODUITS ET SUBSTANCES ACTIVES	17
2.4 MICROALGUES MARINES ET ALLÉGATIONS DE SANTÉ	19
3 TAILLE DU MARCHÉ ET ÉVOLUTION	20
3.1 MARCHÉ GLOBAL	20
3.2 MARCHÉ PAR APPLICATION ET GROUPES DE CONSOMMATEURS.....	29
3.3 MARCHÉ DES ÉTATS-UNIS.....	31
3.4 MARCHÉS CANADIEN ET QUÉBÉCOIS	32
4 STIMULANTS, CONTRAINTES ET DÉFIS	35
4.1 STIMULANTS.....	35
4.1.1 <i>Population et PIB</i>	35
4.1.2 <i>Préoccupations vis-à-vis la santé</i>	36
4.1.3 <i>Coûts croissants des services de santé</i>	37
4.1.4 <i>Accroissement de l'offre de produits</i>	37
4.1.5 <i>Directives et politiques publiques</i>	38
4.2 CONTRAINTES DE MARCHÉ.....	38
4.2.1 <i>Preuves scientifiques des effets bénéfiques et confusion</i>	38
4.2.2 <i>Limites sur l'innovation des produits</i>	39
4.2.3 <i>Contrôle de qualité et sécurité de la consommation</i>	40
4.2.4 <i>Difficultés de différencier les produits</i>	41
4.2.5 <i>Rôle des médias</i>	41
4.3 DÉFIS DE L'INDUSTRIE	41
4.4 BARRIÈRES RÉGLEMENTAIRES	42
4.4.1 <i>Homologation des produits</i>	43

4.4.2	<i>Étiquetage des produits et allégation de santé</i>	46
4.4.3	<i>Autres barrières réglementaires aux États-Unis</i>	47
5	RÉSEAU DE DISTRIBUTION	49
5.1	CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'INDUSTRIE.....	49
5.2	ENTREPRISES ET PRODUITS DE MICROALGUES	53
5.3	DISTRIBUTION.....	55
5.4	ÉVOLUTION DES PRIX DES PRODUITS DE SANTÉ NATURELS.....	59
6	OPPORTUNITÉS DE MARCHÉ DES MICROALGUES MARINES	60
6.1	MICROALGUES ET PRODUITS.....	60
6.2	OPPORTUNITÉS DE PRODUITS À BASE DE MICROALGUES.....	60
6.2.1	<i>Producteurs/distributeurs</i>	63
6.2.2	<i>Distributeurs et commerces de détail</i>	65
	CONCLUSION	67
	BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES DE DONNÉES	71
	ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE VENTES AU DÉTAIL	75
	ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE DISTRIBUTEUR / PRODUCTEUR	80
	ANNEXE 3 : LISTE DES ENTREPRISES DE L'ENQUÊTE	84
	ANNEXE 4 : MICROALGUES COMMERCIALES	87
	ANNEXE 5 : MICROALGUES ET ALLÉGATIONS	95
	ANNEXE 6 : ALLÉGATIONS DE SANTÉ ADOPTÉES	99
	ANNEXE 7 : FABRICANTS CANADIENS DE NUTRACEUTIQUES	106
	ANNEXE 8 : DISTRIBUTEURS DE NUTRACEUTIQUES AU CANADA	124
	ANNEXE 9 : LISTE D'ENTREPRISES AMÉRICAINES	131
	ANNEXE 10 : CARGILL	137

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Nutraceutiques et effets cosmétiques.....	15
Tableau 2.2 : Allégations de santé	17
Tableau 2.3 : Ingrédients documentés sur le marché.....	17
Tableau 2.4 : Ingrédients actifs et bénéfiques potentiels	18
Tableau 3.1 : Demande d'ingrédients nutraceutiques	21
Tableau 3.2 : Importance relative des ingrédients nutraceutiques et des vitamines.....	21
Tableau 3.3 : Importance relative de la demande mondiale d'ingrédients (\$ USD).....	21
Tableau 3.4 : Demande mondiale des ingrédients extraits de plantes et non herbaux (\$ USD).....	22
Tableau 3.5 : Demande mondiale d'ingrédients nutraceutiques, nutriments et minéraux (\$ USD)	22
Tableau 3.6 : Demande mondiale de nutriments et minéraux (\$ USD)	22
Tableau 3.7 : Demande des ingrédients nutraceutiques par région 1993-2013	23
Tableau 3.8 : Produits de nutrition dans l'ensemble du marché	23
Tableau 3.9 : Marché mondial par groupe de produits	24
Tableau 3.10 : Marché global des nutraceutiques, 2003-2008 (en milliards USD).....	25
Tableau 3.11 : Demande des nutraceutiques par régions (2002).....	27
Tableau 3.12 : Ventes en 2002 – vingt premiers nutraceutiques.....	28
Tableau 3.13 : Croissance des nutraceutiques par type d'application 2002-2007	30
Tableau 3.14 : Projections des ventes mondiales des nutraceutiques par groupe de consommateurs (2002-2007)	30
Tableau 3.15 : Marché des États-Unis des produits nutraceutiques, 2000-2008.....	31
Tableau 3.16 : Ventes de nutraceutiques par type de produit aux USA 2003	32
Tableau 3.17 : Répartition des ventes de nutraceutiques au Canada, 2002	33
Tableau 3.18 : Marché canadien des ingrédients nutraceutiques, 1993-2013 (Millions USD).....	34
Tableau 4.1 : Ventes, croissance de la population et croissance du PIB aux États-Unis, 1999-2002	36
Tableau 5.1 : Principales compagnies, marché mondial (2003)	54
Tableau 5.2 : Indice des prix des ingrédients nutraceutiques par catégorie	59

Liste des figures

Figure 1.1 : Création du produit	3
Figure 1.2 : Identification des créneaux porteurs	4
Figure 2.1 : Marchés des produits à propriétés physiologiques.....	12
Figure 2.2 : Rôle des différentes catégories de produits	13
Figure 3.1 : Croissance des ventes – 2008	25
Figure 3.2 : Répartition régionale des ventes des produits nutritionnels (2003)	26
Figure 3.3 : Vente des nutraceutiques au Canada (1997-2002).....	33
Figure 5.1 : Chaîne de valeur de l'industrie des aliments fonctionnels et des nutraceutiques.....	51
Figure 5.2 : Chaîne de valeur de développement d'un ingrédient nouveau.....	52
Figure 5.3 : Intégration de l'ingrédient dans un produit de consommation	52
Figure 5.4 : Ventes aux États-Unis par canal de commercialisation.....	56
Figure 6.1 : Stratégies d'activation du marché.....	64

1 Introduction

Le présent rapport fait suite à une proposition d'examiner le marché des nutraceutiques pour identifier des créneaux porteurs qui pourraient par la suite être associés aux microalgues marines.

1.1 Contexte

Le Centre de recherche sur les biotechnologies marines (CRBM) vise à supporter les entreprises dans le développement technique des produits et des procédés utilisant les biomasses marines. Le projet portant sur les microalgues vise globalement à fournir de l'information aux entrepreneurs intéressés à produire des microalgues ou encore à fabriquer des produits à base de microalgues.

1.2 Objectifs de l'étude

- **Identification des marchés porteurs des produits nutraceutiques**

Identifier les créneaux de marché porteurs pour les microalgues marines;

- **Répertoire de produits existants**

Répertorier les produits à base de microalgues marines présents sur le marché canadien et sur les autres marchés disponibles, en les classant selon leurs fonctions (antioxydant, anti-inflammatoire, etc.); répertorier également les producteurs canadiens;

- **Structure de distribution des produits**

Présenter la structure de distribution de ces produits.

1.3 Méthodologie

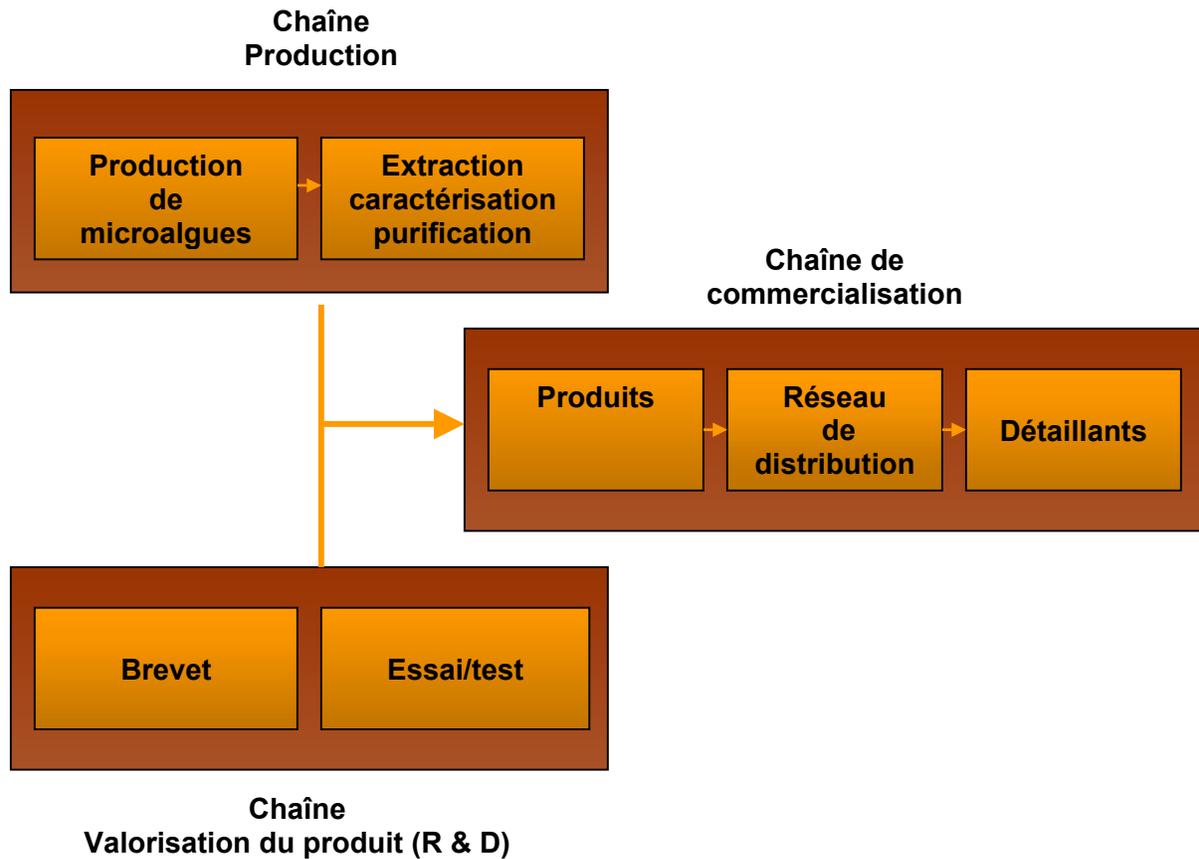
La méthodologie est présentée en deux étapes. Nous proposons d'abord un cadre de référence ou cadre conceptuel basé sur la création du produit. Par la suite, nous donnons la démarche opérationnelle pour atteindre les objectifs de l'étude.

1.3.1 Cadre général de référence

La mise en marché d'un produit est un processus complexe. La figure 1.1 montre que le produit est le résultat d'une transformation de la matière première (chaîne de production) et d'un ajout de valeur. La chaîne de production est constituée essentiellement des processus physiques de création du produit, de la production de la biomasse à l'obtention de la biomolécule. La seconde chaîne va consister à donner de la valeur au produit, en particulier la démonstration de ses propriétés thérapeutiques et préventives (caractéristiques intrinsèques). Le brevet, par son caractère d'exclusivité, les essais permettant au produit de répondre aux exigences de Santé Canada, et les études sur l'efficacité du produit ajoutent de la valeur au produit physique. Dans le cadre du présent rapport, on se concentre sur la chaîne de commercialisation des nutraceutiques

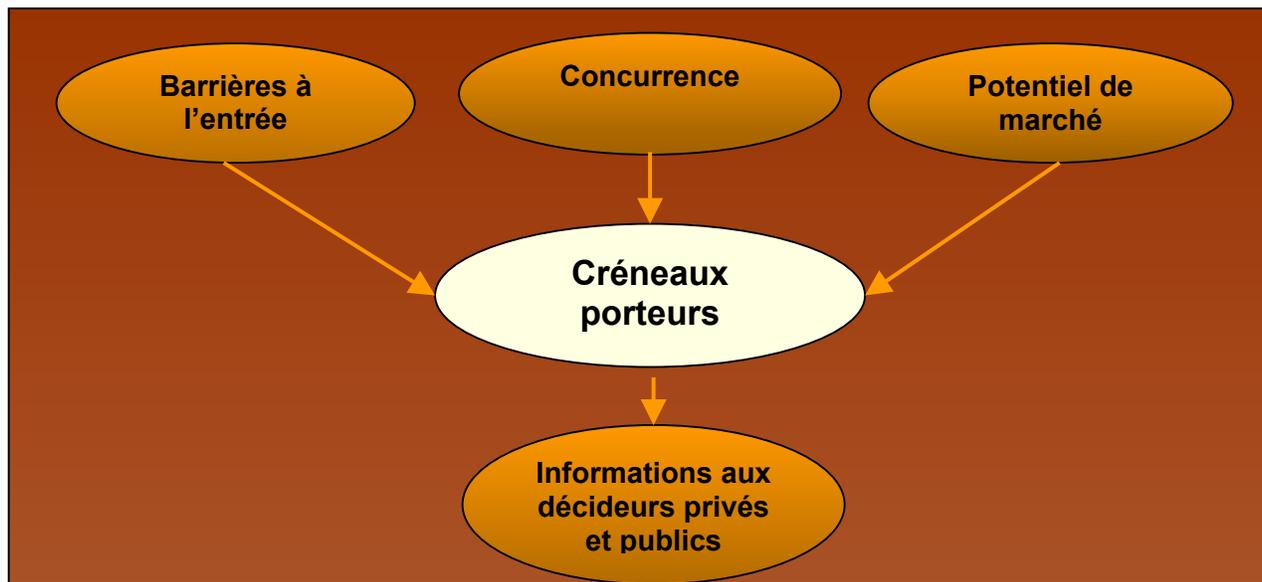
L'identification des créneaux porteurs se fera sur la base du potentiel de marché, de la concurrence et des barrières à l'entrée. La combinaison de ces trois groupes de variables permettra de déterminer les segments les plus intéressants. La figure 1.2 situe la démarche adoptée pour l'étude.

Figure 1.1 : Création du produit



Les barrières à l'entrée de nature technique, financière, commerciale et réglementaire seront explorées. Nous nous concentrerons principalement sur les dimensions commerciale et réglementaire. Le potentiel de marché sera évalué par la croissance connue et les perspectives de développement à court et moyen termes. On fait référence aux marchés existants pour lesquels il sera possible d'établir si le marché est en croissance, stagnant ou en déclin. Les marchés en développement sont ceux qui présentent un potentiel à court terme et les marchés latents ceux dont le développement prendra encore des années. La concurrence sera analysée en identifiant les entreprises déjà actives dans le marché et leurs produits.

Figure 1.2 : Identification des créneaux porteurs



1.3.2 Cadre opérationnel

La démarche opérationnelle proposée pour la réalisation du mandat est la suivante:

- Recherche de données secondaires

La recherche de données secondaires a été effectuée à partir essentiellement:

- De l'information disponible sur les sites Internet des entreprises et organismes œuvrant dans les secteurs des nutraceutiques;
- Dans les publications de la CEVA;
- Du répertoire d'entreprises canadiennes de Strategis (Industrie Canada) et du MDÉIE:
 - Secteur des produits industriels dérivés de la biotechnologie;

- Secteur de la biotechnologie;
 - Secteur des produits pharmaceutiques et biopharmaceutiques.
- De l'information rendue disponible par certains ministères et institutions;
 - Des études de firmes privées. La liste des études est incluse dans la bibliographie.

□ Entretiens téléphoniques et entrevues

L'enquête de terrain s'est déroulée en octobre 2005. Le support d'enquête retenu était le questionnaire administré par téléphone, à une exception près (entrevue face-à-face). Deux questionnaires ont été élaborés, l'un pour les distributeurs/producteurs (Annexe 1) et l'autre pour les commerces de détail y incluant de grandes chaînes de pharmacies (Annexe 2).

Un échantillon par raisonnement de cinquante-six entreprises a été sélectionné principalement à partir de listes disponibles du CRIQ, lesquelles ont fait l'objet d'une épuration pour ne retenir que les entreprises dédiées (liées à la chaîne de commercialisation des nutraceutiques). De ces cinquante-six, dix-huit ont accepté de répondre à l'enquête (Annexe 3). Le portrait des répondants est le suivant :

- Dix distributeurs ou commerces de détail. Parmi ces commerces ou distributeurs, il y a des chaînes de pharmacies disposant de plus de 600 points de vente au Québec;
- Huit producteurs et distributeurs.

Ces répondants excluent les entreprises contactées pour vérifier le type de produits, notamment celles utilisant d'une façon ou d'une autre des microalgues ou des extraits. Les résultats de l'enquête présentée à la section 6 ne font pas état non plus des visites

dans les points de vente de la région de Lévis, de Québec et de Rimouski pour repérer les produits à base de microalgues disponibles à la vente et évaluer leur importance sur les tablettes.

Il s'agit d'une enquête exploratoire, et tenant compte du taux de réponses de 32 % pour un échantillon de convenance, toute généralisation à un grand ensemble doit être faite avec précaution.

1.3.3 Déroulement de l'étude

L'étude s'est déroulée en six étapes. Chacune de ces étapes est détaillée dans les paragraphes qui suivent.

Étape 1: Examiner l'évolution du marché des nutraceutiques enfin de situer les produits à base de microalgues

Pour pouvoir situer les produits à base de microalgues, il est nécessaire de connaître le marché des nutraceutiques de consommation humaine. Cette analyse a été faite à partir de données secondaires. Dans cette étape, on examinera les principaux déterminants du marché et les principales entreprises.

Étape 2: Répertorier les produits et des entreprises nutraceutiques à base de microalgues marines sur le marché canadien

Dans un premier temps, des entretiens ont été réalisés avec des spécialistes des microalgues et des nutraceutiques. L'objectif de ces entretiens est d'identifier les principales microalgues marines entrant dans la composition de produits nutraceutiques.

À partir de la recherche de données secondaires et de contacts téléphoniques, un inventaire des produits nutraceutiques à base de microalgues présents sur le marché canadien a été effectué.

Parallèlement, les entreprises commercialisant des produits nutraceutiques à base de microalgues marines ont été recensées.

Étape 3: Élaborer les questionnaires d'enquête

Des questionnaires ont été élaborés afin de récolter l'information nécessaire à la réalisation de l'étude. Les questionnaires s'adressent :

- aux producteurs de microalgues marines (s'il y en a) et aux fabricants d'ingrédients;
- aux entreprises commercialisant des produits de santé naturels à base de microalgues marines;
- aux distributeurs de produits de santé naturels à base de microalgues marines.

Étape 4: Constituer des échantillons, entretiens téléphoniques et entrevues personnelles

Les échantillons d'entreprises ont été constitués. Les entreprises et organismes oeuvrant dans le secteur des nutraceutiques ont été interrogés.

Étape 5: Analyser la structure de distribution

À partir des informations recueillies, la structure de distribution des produits nutraceutiques à base de microalgues marines sera représentée.

Étape 6: Compiler l'information et identifier les opportunités

L'information recueillie a été compilée afin d'obtenir un portrait des produits nutraceutiques à base de microalgues marines et de leurs fonctions. Dans le cadre de cette étape, les réglementations de Santé Canada et des États-Unis ont été retenues.

2 Définitions des produits et microalgues

2.1 Définition des produits et des marchés

La définition des nutraceutiques varie selon les auteurs et les règles juridiques. On peut retenir comme définition celle utilisée au Canada et en Grande-Bretagne : «Les *nutraceutiques* sont des produits fabriqués à partir d'aliments, vendus sous la forme de pilules ou de poudres ou sous autres formes médicinales qui ne sont généralement pas associés à des aliments. Ils doivent avoir un effet physiologique bénéfique ou assurer une protection contre les maladies chroniques». Le terme *nutraceutique* s'applique également aux *suppléments diététiques* ou *suppléments nutritionnels*. Dans la nouvelle réglementation canadienne, l'expression «produits de santé naturels» a été préférée. Aux USA, c'est l'appellation «suppléments diététiques¹» qui est employée.

La fondation états-unienne pour l'avancement de la médecine a adopté une définition plus large : «Bien alimentaire, ou parties d'un tel bien, qui procure des bénéfices médicaux ou de santé, incluant la prévention et le traitement des maladies».

Cette seconde définition couvre les aliments fonctionnels² : « Un aliment fonctionnel est semblable à un aliment conventionnel, il est consommé en tant qu'élément d'un régime habituel et il est prouvé de générer des bénéfices physiologiques et/ou de réduire le risque des maladies chroniques au-delà des fonctions de nutrition normale». Les aliments fonctionnels (qui peuvent ou non inclure les produits nutraceutiques dans leur préparation) sont similaires aux aliments conventionnels et disposent des mêmes réseaux de commercialisation. Ils sont en compétition sur le même marché. Les aliments fonctionnels comprennent une vaste gamme de produits (NBJ 2005):

¹ Les suppléments diététiques (dietary supplements) comprennent des vitamines, minéraux, plantes, extraits de plantes et d'animaux, acides aminés, protéines, etc. Il s'agit donc essentiellement des produits de santé naturels couverts par le règlement canadien (Muth et al. 1999).

² Jusqu'au début des années 2000, les aliments fonctionnels et nutraceutiques étaient le plus souvent fondus dans une même catégorie. L'étude du CETAI-HEC est typique de cette aggrégation.

- Aliments fortifiés (ingrédients ajoutés par les fabricants);
- Aliments enrichis (de vitamines et minéraux);
- Aliments à performance fonctionnelle;
- Aliments substantiellement fortifiés (mise en marché misant sur l'effet de santé);
- Aliments naturellement fonctionnels;
- Aliments naturels/organiques;
- Aliments moins dommageables;
- Marché standard (tout ce qui n'est pas dans les autres catégories).

La dénomination canadienne de *produit de santé naturel* est similaire à la définition américaine des *suppléments diététiques* (concept adopté en 1994 par la FDA). Cette appellation comprend principalement : les vitamines, les minéraux, les herbes médicinales et autres médicaments traditionnels, les acides aminés, les substances diététiques utilisées comme suppléments, les concentrés, les métabolites, les constituants, les extraits et toutes leurs combinaisons.

Les nutraceutiques sont à l'interface de l'alimentation et des produits pharmaceutiques. De plus, les produits nutraceutiques évoluent dans un contexte plus large où le consommateur a accès à d'autres produits qui ont aussi la prétention de les aider à se maintenir en santé ou encore à guérir leurs maux. Comme l'indique la figure 2.1, les nutraceutiques évoluent de façon concomitante avec les aliments fonctionnels et les produits pharmaceutiques.

L'industrie des produits pharmaceutiques est bien connue pour les coûts très élevés de R & D et l'usage de brevets pour protéger ses produits. Les entreprises peuvent réaliser des marges élevées permettant de recouvrir les coûts majeurs de développement des produits.

Par contre, l'industrie alimentaire est reconnue pour ses marges faibles. Les nutraceutiques sont quelque part entre ces deux extrêmes. La recherche scientifique permet la découverte d'ingrédients et la mise au point de technologies d'extraction et de purification qui peuvent donner un avantage à court terme.

Comme l'indique la figure 2.1, il existe maintenant, sur le marché, des nutraceutiques pour les animaux de compagnie. Même si aucune étude n'en fait état, il est fort probable que ce marché évolue dans le même sens que celui des nutraceutiques de consommation humaine. Si un propriétaire d'animaux est un adepte des nutraceutiques, il est fort possible qu'il manifeste le même type de préoccupation pour son animal. Toutefois, cette catégorie de produits n'est pas incluse dans la présente étude³.

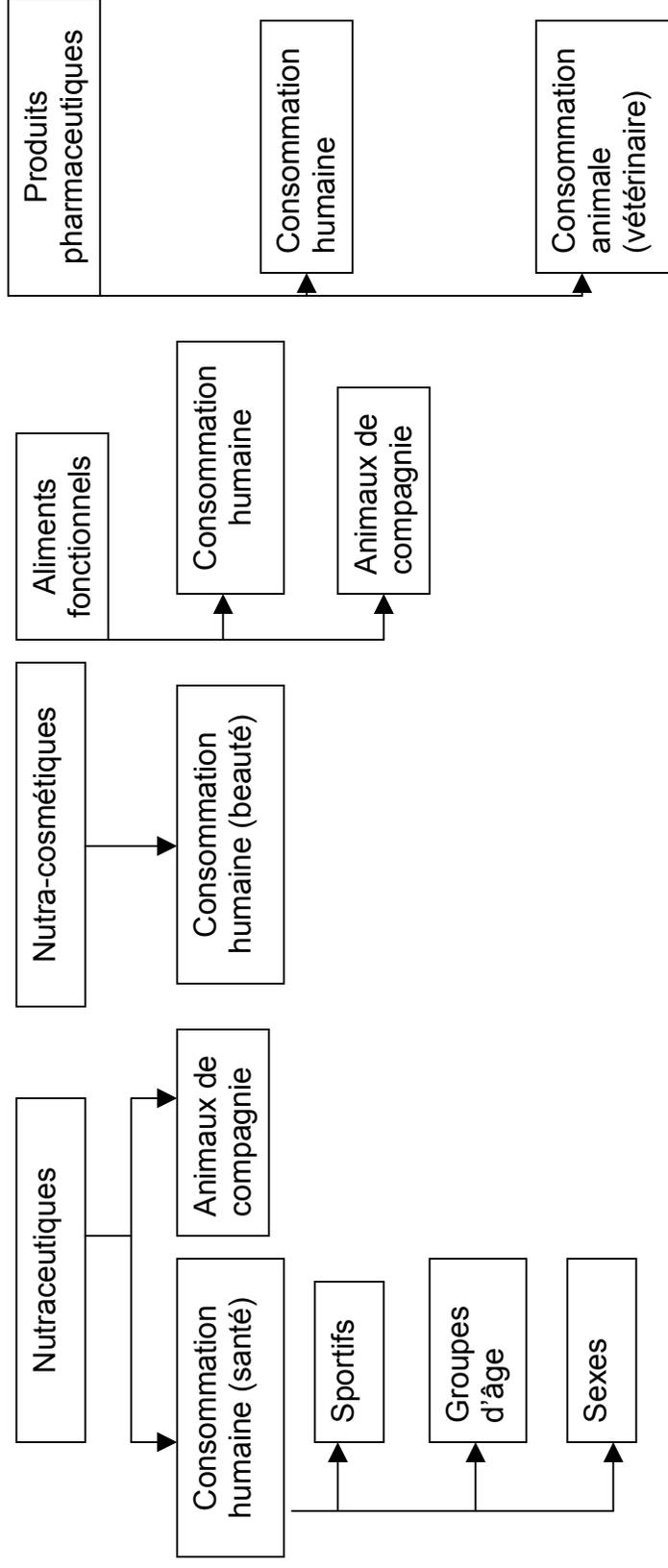
Il existe également des phénomènes d'interaction entre le marché des nutraceutiques et celui des aliments fonctionnels. Historiquement, les produits nutraceutiques étaient intégrés aux aliments fonctionnels. Actuellement, la tendance est à traiter les nutraceutiques et les aliments fonctionnels de façon séparée. Au fur et à mesure que les préoccupations générales de santé se développent, les producteurs de l'industrie agro-alimentaire tentent d'intégrer des ingrédients actifs pour améliorer les effets physiologiques des produits. Les aliments fonctionnels représentent une alternative de commercialisation pour les produits nutraceutiques. À bien des égards le marché industriel des ingrédients est fortement lié à ces deux groupes de produits.

Comme on le verra plus loin, le coût croissant des produits pharmaceutiques, plus généralement le fort accroissement des coûts des services de santé est l'un des stimulants du marché des nutraceutiques ou des produits de santé naturels (et des aliments fonctionnels). Le consommateur, surtout dans les pays ou régions où il n'y a pas de services publics structurés, cherchera à réduire les coûts de ses soins personnels. Les produits nutraceutiques (et les aliments fonctionnels) offrent une alternative moins coûteuse. Ainsi, on peut faire l'hypothèse que certaines applications des nutraceutiques devraient évoluer de façon concomitante avec les produits pharmaceutiques. Comme on le verra, on estime qu'environ 7 à 10 % des prescriptions peuvent être converties pour des produits de santé naturels. Au niveau des producteurs,

³ On peut retrouver des ingrédients utilisés à des fins d'alimentation animale qui se retrouvent par la suite dans l'alimentation humaine. C'est le cas du pigment astaxanthine qui était utilisé dans l'alimentation de salmonidés. Selon Frost & Sullivan, en Europe, une faible quantité était destinée à l'alimentation humaine au début de 2004 alors que l'alimentation de poissons employait 150 tonnes. Ils estiment que le marché des caroténoïdes est un segment en forte croissance et que l'astaxanthine est prometteur (sources : Frost & Sullivan 2003; www.nutraingredients.com/news-by-products, page consultée 10 novembre 2005)

cela implique que les compagnies pharmaceutiques sont à l'affût de ce qui se passe sur le marché des nutraceutiques et inversement.

Figure 2.1 : Marchés des produits à propriétés physiologiques



Les nutraceutiques ciblent les marchés, qui dans certains cas, rivalisent avec des médicaments appelés OTC (Over-the-counter drugs). Ils ont différents canaux de commercialisation, spécialisés ou non comme les pharmacies, les supermarchés, les centres d'aliments spécialisés, Internet, les épicerie, etc.

Même s'il y a interaction entre ces deux marchés, la figure 2.2 indique que les caractéristiques des réseaux de commercialisation pourraient être différentes, ou à tout le moins, les influences sur le consommateur ne seront pas nécessairement les mêmes.

Dans plusieurs pays, les produits nutraceutiques sont assujettis à une réglementation différente de celle des aliments fonctionnels. Aux États-Unis, il y a une définition claire pour les suppléments diététiques ou nutraceutiques mais il n'en existe pas pour les aliments fonctionnels. En conséquence, ces derniers ont le même traitement réglementaire que les aliments conventionnels. Nous reviendrons sur ces questions à la section 4.

Figure 2.2 : Rôle des différentes catégories de produits

Catégories	Aliments ► aliments fonctionnels ► suppléments/nutra ► médicaments
But de la thérapie	Réduire les risques —————► Traitement
Implication des professionnels	Faible —————►Élevé
Participation individuelle	Élevé —————►Faible
Coût du traitement	Faible —————►Élevé

source : Adapté de IFT 2005.

Le marché des nutraceutiques à application cosmétique couvre une large gamme de produits ou de substances actives (Tableau 2.1). Un grand nombre de ces ingrédients

se retrouvent dans les nutraceutiques. Il s'agit davantage du caractère distinctif du produit pour viser un segment de marché. Même si cette catégorie de produits n'est pas incluse dans la présente étude, ces produits pourraient être couverts au niveau des données secondaires.

Au-delà de ces définitions techniques, les nutraceutiques se définissent également comme des produits de santé naturels. C'est davantage sous cette appellation que les consommateurs connaissent les produits. Ainsi, pour les consommateurs canadiens (Santé Canada 2005), les produits de santé naturels sont principalement associés aux vitamines et aux minéraux (13 %), aux remèdes et aux thés à base d'herbes (12 %), aux aliments exempts d'additif (8 %), aux aliments organiques et biologiques (8 %), aux plantes et aux produits herbaux (8 %), aux produits naturels/organiques (8 %) et aux produits exempts de toxine (7 %).

Comme l'indiquent ces données d'enquête, il existe une certaine confusion sur le marché de consommation, du moins pour plusieurs d'entre eux. Les produits de santé naturels peuvent être associés à la vague des produits biologiques ou des produits naturels. Cela peut rendre plus difficile la tâche de la commercialisation des nutraceutiques, la différenciation n'étant pas évidente.

Tableau 2.1 : Nutraceutiques et effets cosmétiques

Soucis de beauté	Aliments
Prévention de l'acné	Acide alpha lipoïdique; Bêta carotène ; Biotine ; CoQ10 ; Graines de lin ; Acide folique ; Vitamine A ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine E ; Magnésium ; Sélénium ; Zinc.
Stress environnemental	Biotine ; Complexe de vitamine B (B6, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine E.
Santé capillaire	Acides aminés ; Biotine ; CoQ10 ; Calcium ; Caroténoïdes (lutéine, lycopène, zeaxanthine, etc.) ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine D ; Vitamine E ; Magnésium ; Oméga-3/6 ; Sélénium ; Zinc.
Prévention de la chute des cheveux	Biotine ; CoQ10 ; Primevères; Ginkgo Biloba ; Thé vert; Inositol ; Complexe de vitamine B (B6, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine E ; Baie de chou palmiste nain (Saw Palmetto) ; Isoflavones de soja ; Zinc.
Santé des ongles	Acides aminés ; Biotine ; CoQ10 ; Calcium ; Caroténoïdes (lutéine, lycopène, zeaxanthine) ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine D ; Vitamine E ; Magnésium ; Oméga-3/6 ; Sélénium ; Zinc.
Syndrome prémenstruel et menstruation	Complexe de vitamine B (B6, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Calcium ; Magnésium.
Fermeté de la peau	Acide alpha lipoïdique ; Antioxydants ; Biotine ; Caroténoïdes (lutéine, lycopène, zeaxanthine) ; CoQ10 ; Collagène ; Cuivre ; Primevères ; Oméga-3/6 ; Vitamine A ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine E ; Zinc.
Stress et système immunitaire	Biotine ; Camomille ; Ginseng ; Kava ; Mélatonine ; Vitamine A ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine E ; Magnésium ; Zinc.
Anti-rides	CoQ10 ; Cuivre ; Glucosamine ; Magnésium ; Oméga-3/6 ; Sélénium ; Vitamine A ; Complexe de vitamine B (B6, B12, thiamine, niacine, riboflavine, etc.) ; Vitamine C ; Vitamine E ; Zinc.
Note : liste non exhaustive Source : Datamonitor 2004	

2.2 Plates-formes des produits

Les consommateurs de nutraceutiques recherchent :

- Un effet bénéfique sur leur état de santé. Cela peut comprendre la prévention des maladies, un meilleur état de santé général, le traitement de certaines maladies et accroître la longévité en bonne santé. Selon le sondage réalisé par Santé Canada, les utilisateurs considèrent que ces produits sont meilleurs que les médicaments conventionnels (associés à des produits chimiques) (18 % d'entre eux), qu'ils peuvent aider à conserver ou promouvoir la santé (14 %), pour prévenir ou traiter des maladies (13 %) ou encore sur simple recommandation d'un membre de la famille (13 %) ou d'un médecin (5 %). Pour environ les deux tiers des utilisateurs, des motifs de santé sont à l'origine de l'achat.
- Une forme spécifique de produits : capsules, gélules, comprimés, liquides et poudre. La forme de produits réfère à la facilité d'usage du produit. Les consommateurs préfèrent l'emploi de produits très simples.

Les effets sur la santé (ou applications) peuvent être classés en un grand nombre de catégories comme l'indique le tableau 2.2. Il est toutefois difficile de retracer les ventes de produits pour toutes ces catégories. Les applications qui semblent les mieux documentées sur le marché sont présentées dans la colonne de droite du tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Allégations de santé

Allégations	Allégations documentées dans les données secondaires
Ossature et articulations; Intestin; Cœur (cardio-vasculaire); Système immunitaire; Système nerveux (cerveau); Santé mentale; Diabète; Obésité; Anti-vieillessement; Vue; Système urinaire; Système digestif (foie, acide gastrique); Système reproducteur (ménopause); Allergie; Anti-cancérigène.	Vue ; Système digestif (estomac, intestin et foie); Cardiovasculaire; Système immunitaire ; Acuité mentale ; Système nerveux/ Sommeil ; Perte de poids ; Développement musculaire ; Ossature et articulations ; Antioxydants.

2.3 Produits et substances actives

Les produits classés dans la catégorie des nutraceutiques ou des produits de santé naturels dont il est possible de trouver des données secondaires cohérentes sont au tableau 2.3. Le tableau 2.4 présente le lien entre les allégations et des produits de nutrition.

Tableau 2.3 : Ingrédients documentés sur le marché

Extraits de plantes	Vitamines et autres	Extraits non végétaux
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gingko biloba ▪ Millepertuis (St John's Wort) ▪ Ginseng ▪ Ail ▪ Échinacée ▪ Baie de chou palmiste nain (Saw Palmeto) ▪ Autres extraits 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitamines (A,C,D,E,H, K, B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12) ▪ Protéines; ▪ Additifs alimentaires fonctionnels; ▪ Fibres et autres produits nutritifs; ▪ Minéraux ; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Glucosamine ▪ Coenzyme Q-10 ▪ Mélatonine ▪ Autres extraits

Tableau 2.4 : Ingrédients actifs et bénéfiques potentiels

Composantes fonctionnelles	Sources potentielles	Bénéfices potentiels
Caroténoïdes		
Alpha-carotène	carottes	Neutralise les radicaux libres qui peuvent causer des dommages aux cellules Réduit le risque de dégénération musculaire
Bêta-carotène	fruits, légumes	
Lutéine	légumes verts	
Lycopène	produits de tomates	Réduit les risques de cancer de la prostate.
Fibres diététiques		
Fibres insolubles	blé	Réduit le risque de cancer du sein et du colon Réduit le risque de maladies cardio-vasculaires
Bêta-glucane	céréales	
Fibres solubles	psyllium	
Acides gras		
Oméga 3 et acides DHA et EPA	thon et huiles de poissons	Réduit le risque de maladies cardio-vasculaires Améliore les fonctions cérébrales et visuelles
Acide linoléique conjuguée (ALC)	fromage et viandes	Améliore la masse musculaire Diminue le risque de certains cancers
Flavonoïdes		
Anthocyanidines	fruits	Neutralise les radicaux libres Réduit le risque de cancer
Catéchines	thé	
Flavines	citron	
Flavines	fruits et légumes	
Stérols végétales		
oeufs de stanol	maïs,soya, blé	Diminue le niveau de cholestérol sanguin en inhibant son absorption
Prébiotiques / Probiotiques		
Fructo-oligosaccharides (FOS)	artichauts, poudre d'oignon, échalotes	Améliore la qualité de la flore intestinale Améliore la santé gastro-intestinale
Lactobacilius	yaourts et produits laitiers	
Protéines de soya : Phytoestrogène		
Isoflavines, Daidzein, Genistein	fèves de soya et produits à base de soya	Réduit les symptômes de la ménopause
Lignans	légumes	Protège contre les maladies cardio-vasculaires Diminue le risque de certains cancers
Tannins		
Isoflavines, Daidzein, Genistein	canneberges, cacao	Améliore les fonctions urinaires Protège contre les maladies cardio-vasculaires

2.4 Microalgues marines et allégations de santé

Le tableau de l'annexe 4 recense vingt-sept microalgues dont sept semblent plutôt se situer encore au niveau de l'expérience en laboratoire. Des vingt-sept, vingt sont cultivées à des degrés variables pour différentes applications dont l'alimentation en aquaculture. On trouvera à l'annexe 5, les allégations de santé liées aux produits à base de microalgues. On notera que ces allégations sont semblables à celles mises de l'avant pour d'autres nutraceutiques.

Sur la base des produits disponibles sur le marché, les espèces de microalgues les plus utilisées pour les applications chez l'être humaine sont : les spirulines, les chlorelles, *odontella*, *dunaliella* et *haematococcus* (asthaxantine). Les microalgues les plus cultivées sont regroupées comme suit⁴ :

- Algues bleu-vert ou cyanobactéries (8) : *Spiruline*(4), *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Synechococcus elongatus* et *Porphyridium cruentum*;
- Flagellés (3) : *Dunaliella*;
- Haptophytes (2) : *Isochrysis* et *Pavlova*;
- Algues vertes (7) : *Chlorelle* (6) et *Hematococcus* (1)
- Diatomées (4) : *Odontella*, *Phaeodactylum*, *Navicula delognei f. elliptica* et *Skelotonema*;
- Champignons marins (3) : *Schizochytrium sp.*, *Cryptocodium cohnii*. et *Ulkenia sp.*

Les algues bleu-vert et les algues vertes semblent les plus utilisées dans l'alimentation humaine. Il existe d'autres algues exploitées commercialement mais à des fins cosmétiques ou encore pour l'alimentation animale.

⁴ Liste établie à partir de différentes sources dont les publications de la CEVA, les sites webs de l'Institut de phytonutrition et d'activalg.fr.

3 Taille du marché et évolution

Le marché des nutraceutiques repose sur la reconnaissance par les consommateurs d'un lien entre l'alimentation et la santé, et sur la génération de l'après-guerre dont l'état de santé générale est bon (Scott Wolfe Management 2002). Ces consommateurs sont disposés à payer pour des produits qui améliorent ou maintiennent leur qualité de vie.

L'estimation de la taille du marché varie selon les études. Ces variations sont liées à la gamme de produits incluse dans les définitions. De plus, certaines études s'intéressent aux ingrédients alors que d'autres présentent les produits de consommation finale. Pour les ventes de produits, les estimations représentent la valeur à la consommation finale.

3.1 Marché global

On discutera d'abord de la demande mondiale d'ingrédients. Par la suite, on abordera la demande selon les groupes de produits destinés aux consommateurs. La comparaison de la demande industrielle et de la demande finale permettra de mieux saisir l'évolution du marché.

La demande projetée pour les ingrédients nutraceutiques pour la période 2003 à 2013, selon Freedonia Group, sur les marchés ouest-européen et nord-américain, connaîtrait une croissance légèrement plus faible que sur la période 1993 à 2003, et une croissance plus élevée dans les régions Asie-Pacifique (Japon, Chine), et d'autres régions comme l'Europe de l'Est, l'Amérique latine, le Moyen-Orient, entre autres (Tableau 3.1).

Les ingrédients autres que les plantes connaîtraient une croissance plus forte que dans le cas des extraits de plantes. Les sels minéraux et les vitamines croîtraient plus lentement sur la période 2003 à 2013 que le reste du marché. Par exemple, les

vitamines représentent 31,9 % du marché industriel en 1993 mais seulement 22,5 % en 2013. Les tableaux 3.2 à 3.6 supportent ces constats.

Tableau 3.1 : Demande d'ingrédients nutraceutiques

	1993		1998		2003		2008		2013	
	Millions USD	%								
Demande mondiale	3 741	100	5 226	100	7 103	100	9 565	100	12 900	100
Nutriments	1 310	35,0	1 917	36,7	2 700	38,0	3 695	38,6	4 980	38,6
Minéraux	746	19,9	865	16,6	982	13,8	1 100	11,5	1 220	9,5
Vitamines	1 195	31,9	1 531	29,3	1 930	27,2	2 385	24,9	2 900	22,5
Extraits végétaux	316	8,4	566	10,8	861	12,1	1 260	13,2	1 833	14,2
Extraits non végétaux	174	4,7	347	6,6	630	8,9	1 125	11,8	1 967	15,2

Source : Freedonia Group 2004

Tableau 3.2 : Importance relative des ingrédients nutraceutiques et des vitamines

	1993	1998	2003	2008	2013
Demande globale	3741	5226	7103	9565	12900
Demande des vitamines	1195	1531	1930	2385	2900
% vitamines	31,9	29,3	27,2	24,9	22,5

Source : Fredonia Group 2004

Tableau 3.3 : Importance relative de la demande mondiale d'ingrédients (\$ USD)

	1993	1998	2003	2008	2013
Demande des ingrédients nutraceutiques	3741	5226	7103	9565	12900
Demande des extraits de plantes et non végétaux	490	913	1491	2385	3800
% Extraits de plantes et non végétaux	13,1	17,5	21	24,9	29,5

Source : Fredonia Group 2004

Tableau 3.4 : Demande mondiale des ingrédients extraits de plantes et non herbaux (\$ USD)

	1993	1998	2003	2008	2013
Extraits	316	566	861	1260	1833
Ginkgo Biloba	46	94	153	229	333
Ginseng	37	62	92	133	187
Ail	42	61	79	99	123
Moût de St. John's	33	59	78	97	117
Echinacea	29	49	69	92	119
Saw Palmetto	17	31	48	73	108
Autres extraits végétaux	112	210	341	537	846
Extraits non végétaux	174	347	630	1125	1967

Source : Fredonia Group 2004

Tableau 3.5 : Demande mondiale d'ingrédients nutraceutiques, nutriments et minéraux (\$ USD)

	1993	1998	2003	2008	2013
Demande des nutraceutiques	3 741	5 226	7 103	9 565	12 900
Demande des nutriments et minéraux	2 056	2 782	3 682	4 795	6 200
%Demande des nutriments et minéraux	55	53,2	51,8	50,1	48,1

Source : Fredonia Group 2004

Tableau 3.6 : Demande mondiale de nutriments et minéraux (\$ USD)

	1993	1998	2003	2008	2013
Demande totale des nutriments	1 310	1 917	2 700	3 695	4 980
Protéines	557	798	1 109	1 524	2 063
Additives pour les aliments fonctionnels	372	613	926	1 306	1 801
Fibre et autres	379	506	665	865	1 116
Demande totale des minéraux	746	865	982	1 100	1 220
Électrolytes et minéraux trace	445	515	585	653	722
Minéraux essentiels	301	350	397	447	498

Source: Freedonia Group, 2004.

Comme l'indique le tableau 3.7, les régions nord-américaines et de l'Europe de l'Ouest occuperaient une place moins importante dans les prochaines années au profit de l'Asie.

Tableau 3.7 : Demande des ingrédients nutraceutiques par région 1993-2013

	1993		1998		2003		2008		2013	
	Millions USD	%								
Demande mondiale	3 741	100	5 226	100	7 103	100	9 565	100	12 900	100
Amérique du Nord	1 450	38,8	1 967	37,6	2 594	36,5	3 335	34,9	4 235	32,8
Europe d'Ouest	912	24,4	1 267	24,2	1 692	23,8	2 200	23,0	2 830	21,9
Asie /Pacifique	895	23,9	1 383	26,5	1 993	28,1	2 855	29,8	4 145	32,1
Autres Régions	484	12,9	609	11,7	824	11,6	1 175	12,3	1 690	13,1

Source : Freedonia Group 2004.

Au niveau du marché de consommation (Tableau 3.8), le Nutrition Business Journal (NBJ) a évalué les ventes mondiales des produits de nutrition à près de 180 milliards de dollars américains en 2003 avec un taux de croissance pour l'ensemble du marché mondial de 8,5 %. La répartition du marché de ces produits est présentée au tableau 3.8.

Le marché des produits de santé naturels représente le marché le plus important avec des ventes combinées de 75,6 milliards de dollars américains en 2003. Les produits comme les suppléments diététiques, les vitamines et les minéraux représentent plus de 80 % de ce marché, soit 60,2 milliards de dollars américains tandis que les produits de soins personnels occupent le reste, soit 20 % (15,4 milliards de dollars américains).

Tableau 3.8 : Produits de nutrition dans l'ensemble du marché

Catégorie	2002	2003	
	%	Milliards USD	%
Aliments fonctionnels	35	66,6	37
Produits de santé naturels (80% correspond aux suppléments diététiques, vitamines et minéraux et 20% correspond aux produits de soins personnels)	40	75,6	42
Aliments naturels et biologiques (dits organiques)	25	37,8	21

Source : Nutrition Business Journal (NBJ) 2003 et 2004.

Les ventes mondiales se situeront aux environs de 96 milliards de USD en 2007 selon Business Communication Company (BCC) (Tableau 3.9). Même si l'estimation de BCC pour l'année 2003 est inférieure à celle de NBJ (51 milliards au lieu de 60), elle indique tout de même un marché très important avec un taux de croissance moyen de 10 %.

Selon Datamonitor (2004) le marché des produits nutraceutiques atteindrait une valeur de 89,8 milliards de dollars américains pour l'année 2008, avec un accroissement de 47,6 % par rapport à l'année 2003 (Tableau 3.10). Le taux de croissance estimée pour la période 2003-2008 est de 8.1 % annuel. Ces données correspondent aux estimations de BCC et de NBJ. Le taux de croissance reste aussi du même ordre de grandeur.

Tableau 3.9 : Marché mondial par groupe de produits

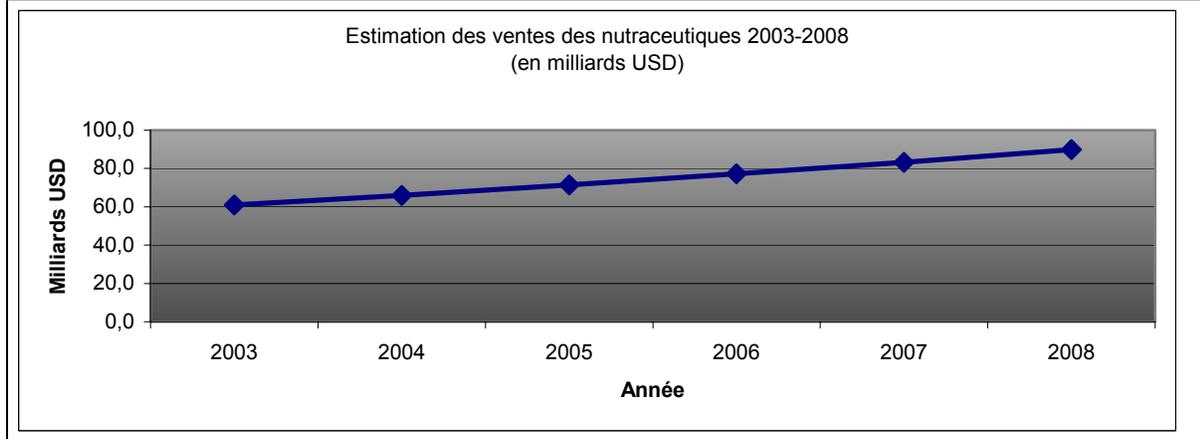
	2002		2007		2002-2007
	Milliards USD	Part relative (%)	Milliards USD	Part relative (%)	Taux de croissance (%)
Produits végétaux (plantes)	18,5	40	28,5	37	9
Vitamines et minéraux	17,8	38	27,4	36	9
Hormones	0,6	1	9	1	8,4
Enzymes	0,3	1	5	1	10,8
Acides aminés	0,5	1	8,0	1	9,9
Protéines	1,0	2	1,5	2	8,4
Autres biochimiques	3,5	7	6,8	9	14,2
Autres produits	4,5	10	9,7	13	16,6
Total	46,7	100	95,9	100	10,3

Source : BCC 2003

Pour la même année, la NBJ associe 26 % du marché aux produits à base de plantes et 32 % du marché aux vitamines et minéraux. Ce pourcentage peut s'expliquer par le fait qu'ils considèrent une autre catégorie nommée suppléments sportifs et nutritifs, représentant 21 % du marché. Pour l'année 2003, les vitamines et minéraux représentent 33 % des ventes (avec un taux de croissance de 6,5 % par rapport à l'année 2002), les herbes médicinales et les suppléments sportifs et nutritifs comptent pour 25 % (avec un taux de croissance de 2,3 %) et 22 % (taux de croissance de 9,3 %) respectivement.

Tableau 3.10 : Marché global des nutraceutiques, 2003-2008 (en milliards USD)

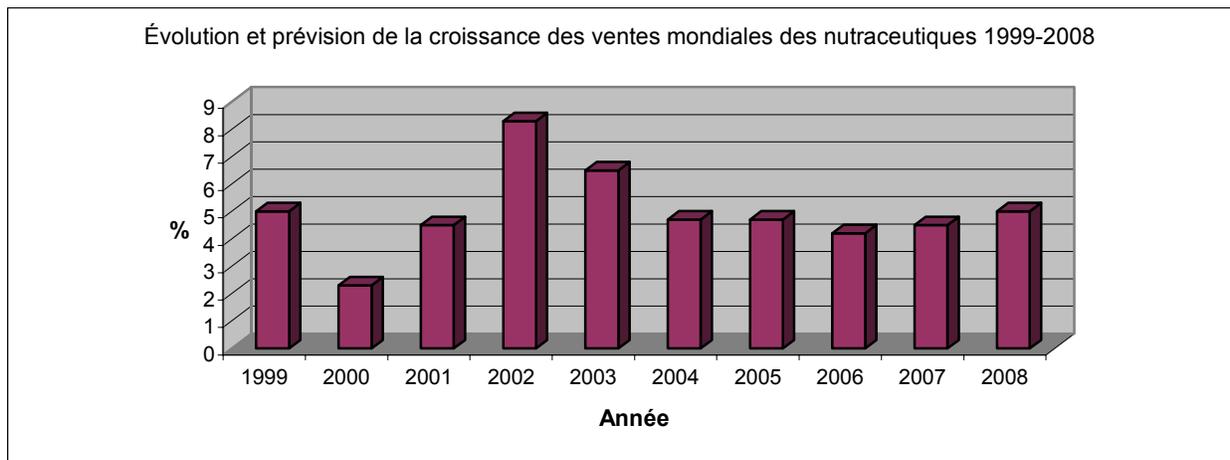
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ventes	60,9	66,0	71,4	77,2	83,3	89,8



Source : Datamonitor 2004

Selon le Nutritional Business Journal, le marché des produits nutraceutiques a connu une croissance annuelle entre 8 % et 10 % entre les années 80 et 90 (Figure 3.1). Pour les trois dernières années, la croissance annuelle moyenne a été estimée à 6,4 %, la croissance annuelle moyenne jusqu'à l'année 2008 est estimée entre 4 % et 5 %. La croissance plus faible peut s'expliquer principalement par les incertitudes réglementaires, par la tendance à la consommation des aliments fonctionnels et par la médiatisation d'effets secondaires des nutraceutiques.

Figure 3.1 : Croissance des ventes – 2008

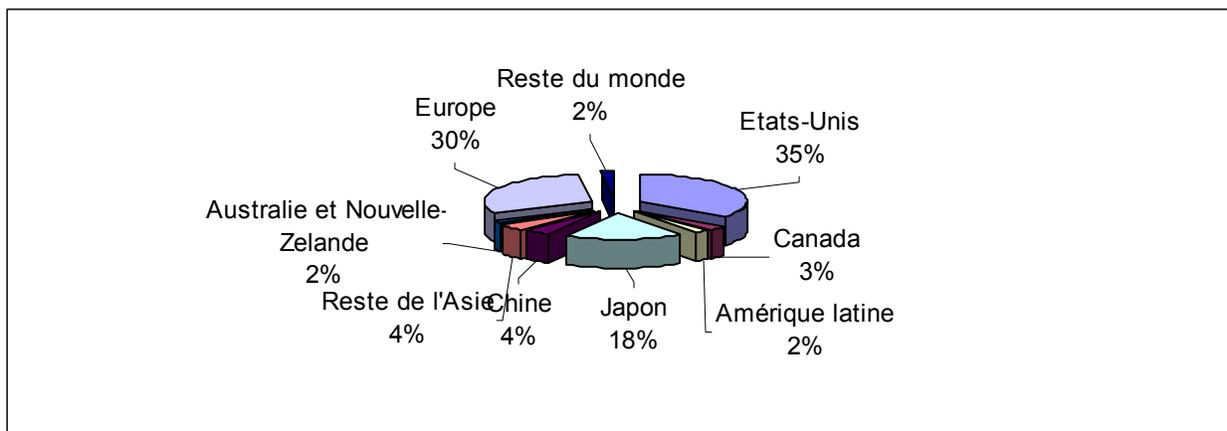


Source: NBJ 2004

Les États-Unis et le Japon (Yamaguchi, 2004) représentent les principaux marchés des produits de nutrition (Figure 3.2). Pour l'année 2003, ils représentent 35,5 % et 18 % de la demande mondiale soit 63,7 et 32,4 milliards USD respectivement.

L'évolution de la croissance des ventes pour l'ensemble du marché mondial des produits de nutrition a été de 8,5 % pour l'année 2003 (Tableau 3.11). La progression du marché se poursuit, particulièrement en Europe de l'Est comme la Russie (16,3 %) et en Chine (14,8 %).

Figure 3.2 : Répartition régionale des ventes des produits nutritionnels (2003)

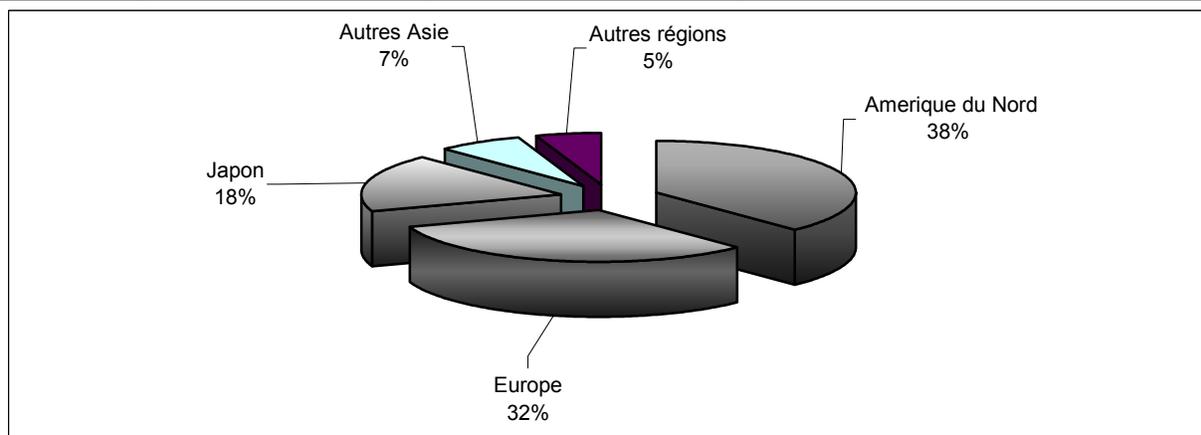


Source : NBJ 2004.

Le tableau 3.12 donne les ventes pour les vingt premiers produits selon le chiffre d'affaire sur le marché de détail. On remarque que les plus gros vendeurs sont de source synthétique. Cependant, douze des vingt produits sont d'origine naturelle. Parmi ceux-ci, on retrouve la glucosamine et la chitine.

Tableau 3.11 : Demande des nutraceutiques par régions (2002)

Région	Milliards USD	(%)
Amérique du Nord	17,7	37,9
Europe	14,9	31,9
Japon	8,4	18,0
Autres Asie	3,3	7,1
Autres régions	2,4	5,1



Source : BCC 2003

Tableau 3.12 : Ventes en 2002 – vingt premiers nutraceutiques

Nom du produit	Ventes (millions USD)	Sources	Types de produits	Applications
Vitamine C	3 500	Synthétique	Vitamine	Renforce le système immunitaire et abaisse le cholestérol
Vitamine E	3 500	Synthétique	Vitamine	Favorise la santé cardiovasculaire et le fonctionnement reproducteur
Vitamine A	2 000	Synthétique	Vitamine	Vision nocturne
Vitamine B6	1 500	Synthétique	Vitamine	Favorise la santé du système nerveux, aide au corps à fabriquer et convertir les acides aminés
Vitamine D	1 500	Synthétique	Vitamine	Développement des os et dents
Chitine	1 300	Naturel	Mélange	Perte de poids
Vitamine B1	1 200	Synthétique	Vitamine	Nécessaire pour transformer les hydrates de carbone en énergie et favorise aussi la santé du système nerveux
Echinacea	1 200	Naturel	Herbacé	Système immunitaire
Ail	1 100	Naturel	Herbacé	Système immunitaire
Acide folique	1 000	Synthétique	Vitamine	Synthèse de protéines, formation des globules rouges et formation de tissus
Glucosamine	900	Naturel	Biochimique	Ralentit l'évolution de l'arthrose, aide au fonctionnement des articulations
Ginkgo biloba	800	Naturel	Herbacé	Favorise la clarté et la vigilance mentale
Ginseng de l'Asie	600	Naturel	Herbacé	Réduit le stress, augmente l'énergie et la mémoire
Extrait de graine de raisin	600	Naturel	Herbacé	Antioxydant
Chondroïtine	500	Naturel	Biochimique	Favorise la santé des articulations
Moût de St. John's	550	Naturel	Herbacé	Antidépresseur
Myrtille (nom anglais : Bilberry)	550	Naturel	Herbacé	Protège et améliore la vue
Aloès	540	Naturel	Herbacé	Supplément nutritionnel et tonique digestif
Mahuang (éphédra)	440	Naturel	Herbacé	Stimulant et brûle la graisse
Mélatonine	400	Synthétique	Hormones	Favorise le sommeil

Source: BCC 2003

3.2 Marché par application et groupes de consommateurs

Les projections de croissance de la demande des nutraceutiques selon les applications sont montrées au tableau 3.13. Selon BCC, les produits à applications multiples⁵ pourraient accroître leur part de marché de 2 % d'ici 2007. Cela s'explique par la préférence du consommateur pour les produits comme les multivitamines, les multiminéraux, l'ail, etc. Ainsi la part de marché des produits d'applications générales ou multifonctionnels s'accroîtra de 70 à 72 %.

Les produits qui favorisent la santé des articulations et le développement de l'ossature (exemple de produits : glucosamine, calcium, vitamine D, chondroïtine) sont les plus demandés. Ainsi pour l'année 2002, les ventes sont estimées à 4,0 milliards de dollars américains (8 % du total du marché des nutraceutiques), et leur part de marché restera stable. Également la croissance projetée des produits qui réduisent le stress, favorisent le sommeil et la perte de poids verront leur part de marché rester stable.

Les produits favorisant la vision, la santé mentale et le système immunitaire connaîtront la plus forte croissance. Les produits avec applications spécifiques comme c'est le cas des produits antioxydants connaîtront une croissance appréciable. ACNIELSEN (2002) a estimé que le marché des antioxydants croissait à un taux de plus de 15 % par année. Également, Frost & Sullivan (2003) estimait que le marché européen des caroténoïdes connaissait une forte croissance⁶.

⁵ Selon l'enquête de Statistiques Canada réalisée en 2003, 27 % des entreprises dans les secteurs des aliments fonctionnels et des nutraceutiques indiquent que leurs plus hauts revenus proviennent de cette catégorie générale de produits (General well-being).

⁶ Frost & Sullivan mentionne que la Chine et l'Inde exportent en Europe des caroténoïdes synthétiques à faible prix. Cependant, les caroténoïdes naturels sont plus susceptibles de générer des revenus intéressants à cause de la demande de produits naturels, de prix substantiellement plus élevés et de la croissance du marché des suppléments diététiques.

Tableau 3.13 : Croissance des nutraceutiques par type d'application 2002-2007

Type d'applications	2002		2007		Taux de croissance moyen
	Milliards USD	%	Milliards USD	%	%
Produits multi-fonctionnels (applications multiples)*	32,75	70,1	54,75	71,9	10,8
Autres produits	13,95	29,9	21,35	28,1	8,9
Vue	0,55	1,2	0,87	1,1	9,6
Digestion	0,2	0,4	0,21	0,3	1
Cardiovasculaire	0,42	0,9	0,6	0,8	7,4
Système immunitaire	0,46	1	0,71	0,9	9,1
Acuité mentale	0,56	1,2	0,88	1,2	9,5
Système nerveux/sommeil	2,04	4,4	3,13	4,1	8,9
Perte de poids	2,77	5,9	4,26	5,6	9
Musculature	0,85	1,8	1,31	1,7	9
Ossature et articulations	3,9	8,4	6	7,9	9
Antioxydants	2,2	4,7	3,38	4,4	9
TOTAL	46,7	100	76,1	100	10,3

*Exemple : Multivitamines, multiminéraux et quelques produits comme l'ail qui prévient les maladies cardiovasculaires, certains types de cancer et renforcent le système immunitaire, etc.

Source : BCC 2003

Selon BCC, le segment de marché féminin⁷ aura une croissance de 23,4 % par année. La part de marché des hommes restera stable. Le marché des personnes de plus de 50 ans sera similaire à celle des hommes (Tableau 3.14).

Tableau 3.14 : Projections des ventes mondiales des nutraceutiques par groupe de consommateurs (2002-2007)

Groupe cible	2002	2002	2007	2007	2002-2007
	milliards USD	(%)	milliards USD	(%)	Taux moyen %
Population générale	36	77,1	56,8	74,6	9,5
Hommes	1,8	3,8	2,8	3,7	9,2
Femmes	2,1	4,5	6	7,9	23,4
Plus de 50 ans	4,3	9,2	6,7	8,8	9,3
Sportif/enthousiastes du sport	2,5	5,4	3,8	5	8,7
Total	46,7	100	76,1	100	10,3

Source : BCC 2003

⁷ Les femmes sont plus préoccupées par leur santé. Elles achèteraient plus de produits nutraceutiques que les hommes. Datamonitor (2005) confirme que les femmes achètent plus que les hommes.

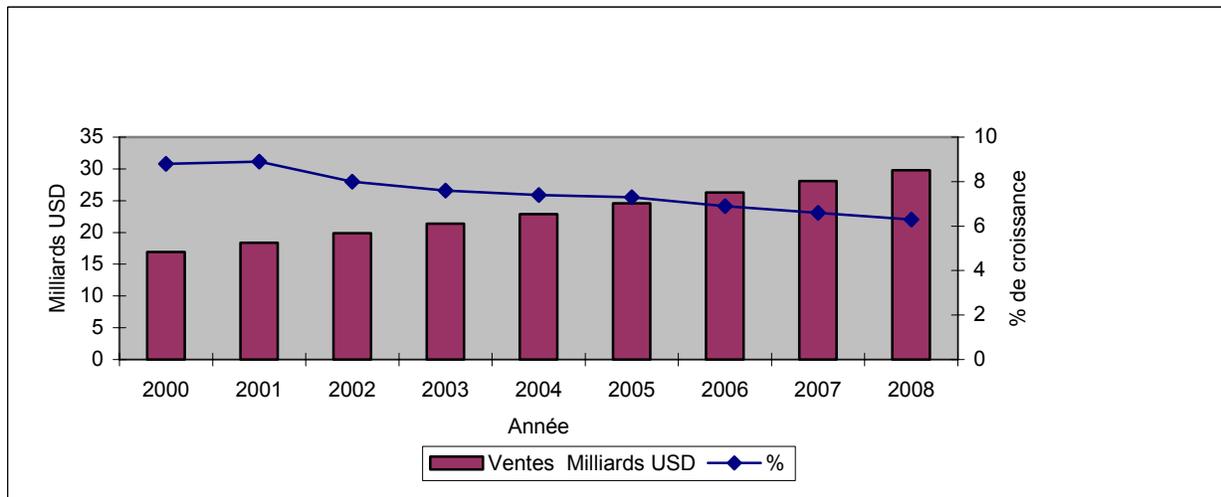
3.3 Marché des États-Unis

Selon Datamonitor (2004), la valeur du marché des États-Unis des nutraceutiques pour l'année 2003 a été estimée à 21,4 milliards USD et devrait atteindre 29,8 milliards en 2008. Le taux de croissance est plus faible qu'antérieurement et malgré cette tendance, le marché des États-Unis représente près du tiers de la totalité des ventes mondiales de produits nutraceutiques.

Pour la NBJ, la valeur du marché pour l'année 2003 a été estimée à 24,4 milliards de dollars américains. Cette valeur des ventes inclut aussi les produits de soins personnels (avec 21 % du total).

Tableau 3.15 : Marché des États-Unis des produits nutraceutiques, 2000-2008

Année	Ventes (Milliards USD)	% de croissance
2000	16,9	8,8
2001	18,4	8,9
2002	19,9	8,0
2003	21,4	7,6
2004	22,9	7,4
2005	24,6	7,3
2006	26,3	6,9
2007	28,1	6,6
2008	29,8	6,3



Source : Datamonitor 2004

Le tableau 3.16 donne la répartition des ventes américaines des nutraceutiques pour l'année 2003. Les produits les plus demandés aux États-Unis, hors vitamines, sont les produits de soins personnels et les herbes médicinales. Toutefois, les prévisions de croissance indiquent que les suppléments nutritifs et les produits de soins personnels connaîtront les plus fortes croissances. Les minéraux se situeraient au troisième rang en termes de potentiel de croissance. Les herbes médicinales connaîtraient une croissance plutôt faible. Dans ce dernier cas, les études semblent converger vers un marché à faible croissance ou même stagnant. Comme les microalgues sont parfois classées dans ce groupe de produits, cela n'est pas de bonne augure.

Tableau 3.16 : Ventes de nutraceutiques par type de produit aux USA 2003

	Milliards USD	% marché	Taux de croissance 2002-2006 (%)
Vitamines	6,3	26	2 à 4
Herbes médicinales	4,1	17	0 à 1
Suppléments sportifs	2,0	8	2 à 4
Minéraux	1,7	7	4 à 6
Suppléments nutritifs	2,7	11	6 à 10
Autres spécialités	2,4	10	5 à 7
Produits de soins personnels	5,1	21	8 à 10
Total 2003	24	100	

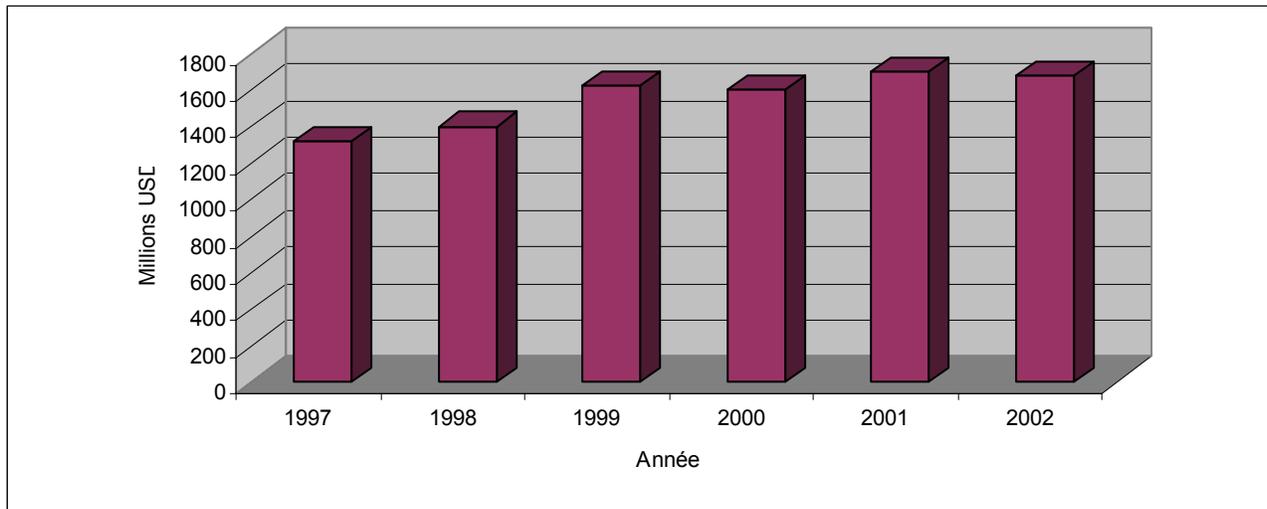
Source : NBJ 2003 et 2004

3.4 Marchés canadien et québécois

Le marché canadien constitue moins de 3 % du marché mondial avec des ventes évaluées à 1,7 milliard de dollars américains en 2002. La croissance moyenne des ventes au cours de la période 1997-2002 a été de 4,7 % (NewHope 2002) (Figure 3.3).

La répartition du marché entre les types de produits est montrée au tableau 3.17. Les vitamines et minéraux occupent 33 % du marché en 2002 suivi par les herbes médicinales qui représentent 25 % du marché, soit 418 millions de dollars américains.

Figure 3.3 : Vente des nutraceutiques au Canada (1997-2002)

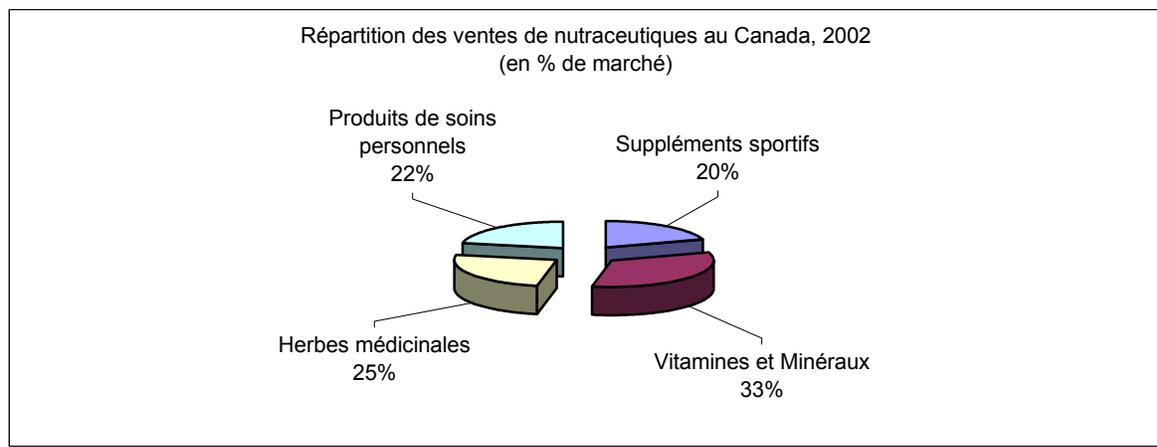


Source : NewHope Natural Media Online 2002

Au niveau des ingrédients nutraceutiques, la demande canadienne a été évaluée à 122 millions de dollars américains pour l'année 2003 et la prévision est de 206 millions USD pour l'année 2013 (Tableau 3.17).

Tableau 3.17 : Répartition des ventes de nutraceutiques au Canada, 2002

	Millions USD	% marché
Suppléments sportifs	334	20
Vitamines et minéraux	551	33
Herbes médicinales	418	25
Produits de soins personnels	367	22
Total 2002	1670	100



Source: Newhope Natural Media Online 2002

Tableau 3.18 : Marché canadien des ingrédients nutraceutiques, 1993-2013 (Millions USD)

	1993	1998	2003	2008	2013
Expéditions de produits nutritionnels	1 154	1 542	2 005	2 570	3 150
USD nutraceutiques /000USD Expéditions	57,2	59,7	60,8	61,9	65,4
Demande totale des nutraceutiques	66	92	122	159	206
Expéditions des nutraceutiques	43	61	82	109	145
Demande non satisfaite	23	31	40	50	61
Demande totale des nutraceutiques	66	92	122	159	206
Nutriments et minéraux	37,1	49,9	64,8	84	107
Vitamines	20,4	26	32	38	45
Extraits herbaux et non herbaux	8,5	16,1	25,2	37	54
Expéditions des nutraceutiques	43	61	82	109	145
Nutriments et minéraux	39,6	53	69	89	113
Vitamines	2	2,8	3	3	5
Extraits herbaux et non herbaux	1,4	5,2	10	17	27

Source: Freedonia Group 2004

Selon les catégories d'effets sur la santé, certains produits se distinguent parmi d'autres. Dans le domaine des produits destinés aux problèmes d'articulations, la glucosamine occupe une place de choix. Les ventes ont progressé de 20 % par année entre 2003 et 2004. Il en est de même des antioxydants dont la progression est de l'ordre de 26 % (International Business Strategies 2004).

L'Ontario et les provinces de l'Ouest représentent, respectivement, 45 % et 33 % du marché des produits nutraceutiques au Canada, suivis du marché québécois. La valeur des ventes de nutraceutiques au Québec représente 17 % du marché canadien soit environ 300 millions USD pour l'année 2003. Les résidents du Québec dépensent moins pour les produits nutraceutiques que ceux de l'Ouest canadien. Ce niveau de dépenses s'explique par un revenu personnel plus faible.

Le marché de détail canadien s'approvisionne surtout chez des formulateurs et des fabricants canadiens qui importent la majeure partie de leurs matières premières. Les importations sont relativement stables à environ 20 à 25 % du marché (MDEIE 2005). De 2001 à 2003, la valeur des importations se situe à environ 230 millions USD.

4 Stimulants, contraintes et défis

Plusieurs facteurs peuvent agir comme stimulants du marché favorisant ainsi un accroissement des ventes. Nous passerons en revue les principaux stimulants identifiés dans la littérature concernant les produits nutraceutiques. Parmi les facteurs retenus, certains ne sont pas spécifiques à ce marché. C'est le cas notamment de l'effet de l'accroissement de la richesse sur les achats.

4.1 Stimulants

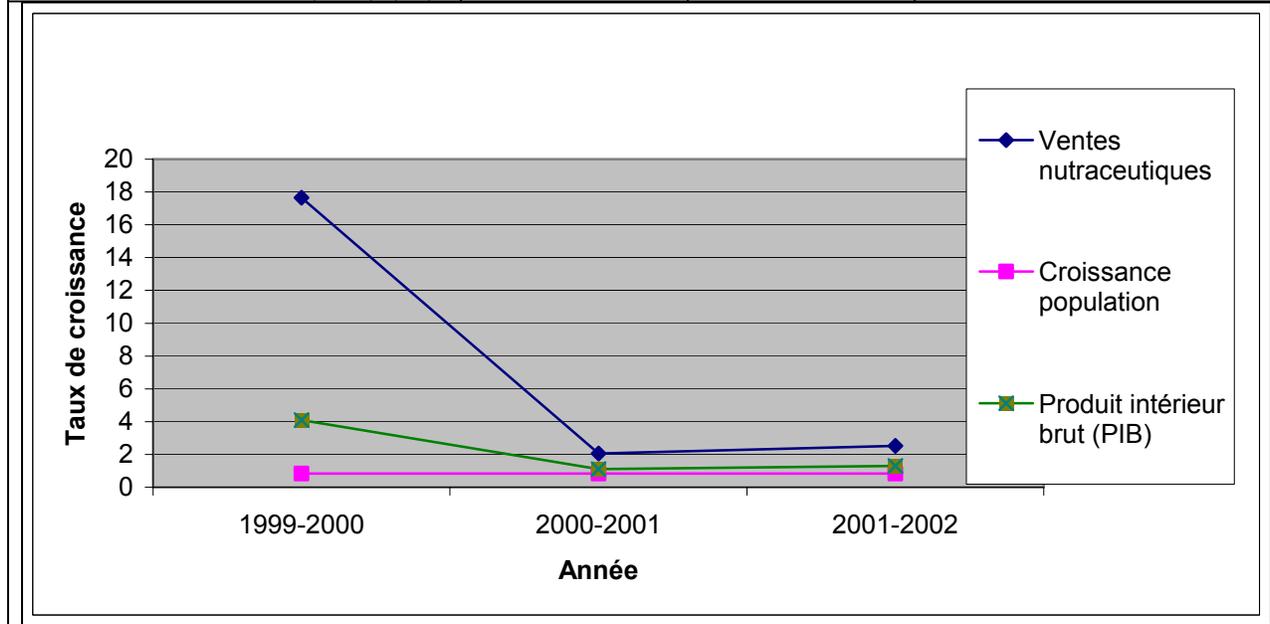
4.1.1 Population et PIB

BCC lie les ventes américaines de nutraceutiques au taux de croissance annuel de la population et du produit intérieur brut. La population augmentant, même si les achats par habitant restent constants, le volume total de ventes s'améliorera. Le produit intérieur brut per capita représente la capacité d'achat. Si le taux de croissance du PIB est élevé, cela implique que les consommateurs peuvent dépenser davantage. Si ce taux augmente, le taux de croissance du marché devrait s'accroître. On aurait le résultat inverse si le taux de croissance du PIB diminue. Le tableau 4.1 indique une très forte sensibilité au PIB.

L'étude réalisée par le MDEIE (MDEIE 2005) indique que le faible niveau de revenu des québécois les place derrière les consommateurs des provinces de l'Ouest et de l'Ontario. Cela implique qu'un producteur misant uniquement sur le marché québécois pourrait connaître des difficultés de croissance. Les données fournies par BCC montrent cette relation comme on l'a vu précédemment. Ce constat pourrait être nuancé puisque les mécanismes de remboursement par les assurances influencent le comportement des consommateurs. Le régime public québécois ne rembourse que sur prescription.

Tableau 4.1 : Ventes, croissance de la population et croissance du PIB aux États-Unis, 1999-2002

	1999-2000	2000-2001	2001-2002
Ventes nutraceutiques (%)	17,65	2,05	2,53
Croissance de la population (%)	0,84	0,84	0,84
Produit intérieur brut (PIB) (%)	4,1	1,1	1,3



Source : BCC 2003

4.1.2 Préoccupations vis-à-vis la santé

Ce facteur se décompose en plusieurs tendances :

- Attitude positive de la population au regard de la prise en charge de sa santé. Ce facteur amène des changements dans le comportement des consommateurs face à la médecine.
- Propension plus grande à rechercher des produits naturels. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les achats de produits alimentaires plus sains favorisent les achats de produits nutraceutiques.

- Le facteur démographique joue également un rôle. La population occidentale est vieillissante et la génération post-seconde guerre mondiale est plus scolarisée, plus en santé et plus riche que les générations précédentes. Comme on l'a vu, des marchés spécifiques se sont développés pour ce groupe d'âge. Cette génération cherche à maintenir son niveau de bien-être. Elle pratique de plus en plus ce que l'on appelle l'automédication.

4.1.3 Coûts croissants des services de santé

Tous les pays industrialisés font face à des coûts de services de santé en forte croissance. Le vieillissement de la population ne peut qu'accroître ce phénomène. Selon les pays, les consommateurs doivent assumer directement une part plus ou moins importante du coût. Aux États-Unis, par exemple, le secteur privé joue un rôle important en matière de santé et les consommateurs doivent assumer une grande part du coût conjointement avec les entreprises. Cette situation ne devrait pas changer significativement au cours des prochaines années.

En guise de substitution partielle, les consommateurs recherchent des produits dont les effets sont bénéfiques sur la santé, soit pour prévenir la maladie, soit pour corriger des problèmes existants. Il est difficile toutefois de quantifier l'impact de ce facteur sur le développement du marché des nutraceutiques. On peut dire toutefois que l'augmentation des coûts de santé profite directement au secteur des nutraceutiques dans les applications spécialisées. Par exemple, une croissance de 7 % du marché des produits pharmaceutiques visant les maladies cardiovasculaires, pourrait entraîner une hausse similaire des nutraceutiques dans cette catégorie.

4.1.4 Accroissement de l'offre de produits

Plus la gamme de produits s'élargit, plus le consommateur a de choix. Il devient plus facile d'attirer de nouveaux clients ou de vendre de nouveaux produits aux consommateurs actuels.

Lorsqu'un produit vedette apparaît sur le marché, l'impact peut être important sur la croissance du marché. Ce sont ce que l'on appelle les «blockbusters», produits qui ont un effet d'entraînement. Dans le passé, l'introduction du ginseng et du ginkgo avait causé une plus forte croissance de l'ensemble des ventes.

Selon BCC, il n'y aurait pas à l'horizon de tels produits. Cependant en se basant sur l'historique du marché, BCC estime que la probabilité qu'un tel produit naisse est de 50 % seulement. Si c'était le cas, les ventes pourraient atteindre 83 milliards en 2007 au lieu de 76 milliards, soit une hausse supplémentaire de 7 %.

Sur la base de données historiques, la probabilité que des rapports de recherche négatifs relativement à certains produits soient publiés est de 25 %. Si de telles publications sont diffusées par la presse, les ventes seraient de 5 milliards USD inférieures à ce qu'elles seraient en régime normal, soit une baisse de 7 % (BCC 2003).

4.1.5 Directives et politiques publiques

L'élaboration de directives claires de la part des autorités publiques permet aux producteurs de mieux identifier leurs produits, principalement sur le plan des allégations de santé. Une réglementation claire permet également aux consommateurs de se sentir plus sécurisés face aux produits et à leur utilisation. Les consommateurs se méfient des affirmations des fabricants. La réglementation doit chercher un équilibre entre les besoins des consommateurs et la viabilité économique des entreprises (Veeman 2001).

4.2 Contraintes de marché

4.2.1 Preuves scientifiques des effets bénéfiques et confusion

Généralement les produits destinés à guérir des maladies sont classés dans la catégorie des produits pharmaceutiques. Il n'est donc pas simple pour les produits

nutraceutiques de mettre de l'avant des allégations en cette matière. Il faut un minimum de preuves scientifiques sur les allégations pour rendre le produit crédible.

Si un produit connu des consommateurs est démontré comme ayant peu d'effets réels, cela peut avoir un impact sur l'ensemble du secteur. Le cas de l'éphédrine illustre bien l'impact de la mauvaise réputation d'un produit sur l'ensemble du marché. Le retrait du produit au Canada en 2002 et aux USA en 2004 a freiné la croissance du secteur. La dispute autour de ce produit aux États-Unis n'est pas terminée à la suite d'une annonce récente de la réintroduction possible de suppléments à base d'éphédrine. Plusieurs acteurs de l'industrie ne souhaitent pas voir revenir le produit sur le marché arguant que cela donnera une mauvaise impression à l'industrie des suppléments⁸.

Aux États-Unis, la moitié des consommateurs sont méfiants vis-à-vis les allégations mises de l'avant par les fabricants (Datamonitor 2005). Il y a là un déficit majeur pour l'ensemble de l'industrie.

4.2.2 Limites sur l'innovation des produits

Les limites sur l'innovation sont de deux ordres :

- **Capacité financière à faire de la recherche et développement.** Comme on le verra à la section 5, les dépenses en R & D accaparent une partie appréciable de la valeur des achats faits par le consommateur. Il n'est pas toujours facile pour les entreprises de trouver les capitaux nécessaires. La R & D porte autant sur la recherche d'ingrédients actifs que sur les procédés d'extraction et de purification ainsi que de production industrielle (grande échelle). Ces activités comportent un risque élevé et leur financement est souvent problématique.
- **La capacité des producteurs à se démarquer sur le marché.** Ce que représentent tous les produits offerts sur le marché n'est pas clair pour tous les consommateurs (Santé Canada 2005).

⁸ <http://www.nutraingredients-usa.com/>, page consultée le 17 novembre 2005.

4.2.3 Contrôle de qualité et sécurité de la consommation

La grande majorité des Canadiens (91 %) présument que tous les fabricants de produits de santé naturels doivent s'assurer que les produits qu'ils vendent aux consommateurs sont sans danger. Mais ils s'attendent aussi à ce que le gouvernement du Canada réglemente les allégations faites par les fabricants (84 %) et les produits eux-mêmes (Santé Canada 2005).

Sur le plan de la sécurité des produits, les consommateurs canadiens sont partagés sur l'innocuité des produits (Santé Canada 2005). Certains produits peuvent avoir des effets secondaires indésirables et les consommateurs ne rapportent pas toujours ces problèmes d'utilisation des produits.

La qualité des produits est d'ailleurs un critère prérequis d'entrée sur le marché plutôt qu'un critère clé de mise en marché. Dans ce contexte, la réputation du fournisseur est une variable dominante : un fournisseur connu a un avantage sur un fournisseur peu connu⁹. Le cas de la marque Adrien Gagnon, achetée par une entreprise de Hong Kong montre bien l'importance de la marque puisque le groupe acheteur a conservé la marque AG¹⁰. La publicité des produits met l'accent sur le nom et ensuite sur les propriétés des produits.

Selon l'industrie, les microalgues constituent une production sécuritaire (Postaire 1996) non polluante dont le contrôle industriel est nettement plus facile qu'en milieu naturel.

⁹ On reviendra sur cette question à la section portant sur les opportunités. Cette dimension est couverte dans l'enquête auprès des distributeurs.

¹⁰ C'est le groupe Cheung Kong Group, conglomérat dont le chiffre d'affaires avoisine les 90 milliards, qui a fait l'acquisition de AG pour une somme de 54 millions de dollars.

4.2.4 Difficultés de différencier les produits

L'une des grandes difficultés des entreprises est de différencier leurs produits de ceux des concurrents. La recherche menée par une entreprise sur les allégations, par exemple, peut être utilisée par un concurrent dès que les résultats sont connus et l'information disponible dans le domaine public. Ou inversement, les compétiteurs peuvent divulguer une information négative sur des allégations relatives à un produit d'une marque connue.

Comme on le verra, à la section 6, même pour les formulateurs et les distributeurs de produits, l'origine de l'ingrédient n'est pas nécessairement un moyen de différenciation. Par exemple, on fait peu de différence entre microalgues et macroalgues.

4.2.5 Rôle des médias

Les médias jouent un rôle important dans la transmission d'information sur les produits. Lorsque la recherche sur les effets réels de ces produits indique qu'il s'agit d'un placebo, la presse peut jouer un rôle majeur en publiant l'information. L'inverse est moins vrai : les médias sont moins enclins à faire la manchette avec des produits dont les allégations sont prouvées.

4.3 Défis de l'industrie

Même si le marché semble prometteur dans son ensemble, les contraintes identifiées dans la section précédente constituent en même temps des défis pour l'industrie :

- Démonstration de sécurité et d'efficacité des produits. Selon Newton (2004), une analyse coût/efficacité est nécessaire.
- Répercussions sur les marchés résultant des exagérations et déception des consommateurs vis-à-vis les allégations. L'industrie devra apprendre à communiquer effectivement avec ses clients.

- Différentiation des produits. Les allégations de santé peuvent servir à cette fin. Toutefois, plus d'un produit peut prétendre aux mêmes effets sur la santé. Dans ce cas, la mise en évidence de bénéfices pour la santé ne serait pas suffisante comme critère de différenciation.

L'industrie se caractérise par une compétition croissante. En même temps, les marges sont décroissantes. Cela pose un défi important pour des produits à base d'ingrédients provenant des microalgues. Comme on le verra plus loin, ces produits ne semblent pas se démarquer sensiblement des autres produits de santé naturels.

4.4 Barrières réglementaires

La réglementation joue un rôle important soit en créant une niche de marché spécifique pour les produits de santé, soit en étant un frein au développement de nouveaux produits. Cette section examine la réglementation sur deux marchés géographiques : les États-Unis et le Canada.

Il faut toutefois noter que la discussion ne porte que sur la réglementation spécifique aux nutraceutiques ou produits naturels ou encore aux suppléments diététiques. Les autres réglementations comme celles sur le bioterrorisme, sur les produits bioalimentaires ou encore sur la normalisation HACCP des unités de production ne sont pas abordées. De même, les certifications comme les appellations biologiques ne sont pas présentées, même si ces certifications peuvent jouer un rôle important dans la mise en marché des produits. Seules les règles applicables spécifiquement à la catégorie de produits considérés sont présentées. Les autres lois ou règlements d'application plus générale ne sont pas incluses, même si au passage on peut faire référence à ces textes.

Deux questions principales sont abordées : l'homologation des produits et les allégations de santé ou propriétés des produits.

En matière de douane et de réglementation, les produits à base de microalgues sont classés dans la catégorie des produits de santé naturels. Les consommateurs ou les gouvernements étrangers demandent souvent aux sociétés exportatrices de produits de santé naturels provenant du Canada de fournir une certification pour les produits qui sont assujettis au Règlement sur les produits de santé naturels. Tous les courtiers canadiens autorisés à faire affaire aux États-Unis sont aptes à remplir les documents requis mais le fait de se conformer à la réglementation canadienne ne constitue pas un laissez-passer pour le marché états-unien et européen.

En effet, les produits canadiens à base de microalgues n'auront d'autre choix que de se conformer aux lois du marché de destination. Cependant, il est clair que la mise en oeuvre d'une réglementation par Santé Canada, fournissant des balises spécifiques pour les produits de santé naturels, s'avère un facteur contribuant à structurer cette industrie.

4.4.1 Homologation des produits

Le Règlement canadien sur les produits de santé naturels s'applique à la vente des produits de santé naturels et à la fabrication, à l'emballage, à l'étiquetage, à l'importation, à la distribution et à l'entreposage des produits de santé naturels destinés à être vendus au Canada.

Selon le règlement, un «Produit de santé naturel (PSN)» est une substance mentionnée à l'Annexe 1 du Règlement sur les produits de santé naturels, combinaison de substances dont tous les ingrédients médicinaux sont des substances mentionnées à l'Annexe 1 du Règlement, remède homéopathique ou remède traditionnel, qui est fabriqué, vendu ou présenté comme pouvant servir :

«au diagnostic, au traitement, à l'atténuation ou à la prévention d'une maladie, d'un désordre, d'un état physique anormal, ou de leurs symptômes chez l'être humain; à la restauration ou à la correction des fonctions organiques chez l'être

humain; ou à la modification des fonctions organiques chez l'être humain, telle que la modification des fonctions de manière à maintenir ou à promouvoir la santé».

Les produits sont identifiés par un numéro de produit naturel (NPN) ou un numéro de remède homéopathique (DIN-HM). C'est un code de huit chiffres assigné à chaque produit de santé naturel dont la commercialisation est approuvée en vertu du Règlement sur les produits de santé naturels. Les remèdes homéopathiques (DIN-HM) suivent une règle identique.

Les microalgues sont classées et visées par la définition de «Produit de santé naturel» : Plante ou matière végétale, algue, bactérie, champignon ou matière animale autre qu'une matière provenant de l'humain, extrait ou isolat d'une substance, dont la structure moléculaire première est identique à celle existant avant l'extraction ou l'isolation.

Il est à noter que les produits qui sont fabriqués exclusivement à des fins d'exportation ne sont pas visés par la Loi sur les aliments et drogues ni par le Règlement sur les produits de santé naturels. Il y a délivrance d'un certificat attestant que l'emballage et son contenu n'enfreignent aucune règle de droit connue du pays auquel il est expédié ou destiné. Cela implique toutefois, si un fabricant canadien veut exporter aux ÉTATS-UNIS, qu'il devra s'assurer que son produit (et son installation de production) est conforme aux exigences de la FDA.

La Direction des produits de santé naturels délivrera trois types de certificats de commerce international :

- Un certificat de commerce international pour les produits de santé naturels sera délivré pour les produits de santé naturels qui possèdent une licence de mise en marché valide sous forme d'un numéro de produit naturel (NPN) ou d'un numéro

de remède homéopathique (DIN-HM) et qui sont fabriqués, emballés et étiquetés dans des emplacements détenant une licence d'exploitation.

- Un certificat de commerce international pour les produits de santé naturels destinés exclusivement à l'exportation sera délivré pour les produits qui sont fabriqués à des fins exclusives d'exportation en vertu de l'article 101 du Règlement sur les produits de santé naturels et de l'article 37 de la Loi sur les aliments et drogues. Le terme « exportation » ou « exportation seulement » doit figurer sur l'étiquette du produit. Il n'est pas exigé que ces produits possèdent une licence de mise en marché valide ni qu'ils soient fabriqués dans des emplacements détenant une licence d'exploitation.
- Un certificat de conformité envers les bonnes pratiques de fabrication (BPF) sera délivré aux emplacements qui ont fait l'objet d'une évaluation, par la Direction des produits de santé naturels, et de la satisfaction des exigences en matière de BPF précisées à la Partie 3 du Règlement sur les produits de santé naturels. Les emplacements doivent détenir une licence d'exploitation valide et le certificat indiquera clairement la date de délivrance, les activités autorisées et la date de renouvellement requise de la licence d'exploitation. Ce certificat n'est pas propre aux produits. Tous les emplacements ou l'un des emplacements figurant dans la licence d'exploitation qui sont situés au Canada peuvent être portés sur la liste du certificat.

La réglementation prévalant aux États-Unis pour les produits de santé naturels repose sur les dispositions de la DSHEA (Dietary Supplement Health Education Act) de 1994. Le fabricant doit aviser la FDA de l'arrivée prochaine d'un produit sur le marché. Il est de la responsabilité des fabricants de s'assurer que leurs produits soient clairement étiquetés.

La division de la FDA responsable des produits diététiques revoit l'information de sécurité d'un nouvel ingrédient entrant dans la composition d'un supplément dans les soixante-quinze jours suivant l'avis du fabricant.

Cette loi, à laquelle les entreprises québécoises et canadiennes doivent évidemment se conformer, fait bénéficier les manufacturiers et détaillants d'une plus grande liberté, en échange toutefois de responsabilités additionnelles¹¹.

Si un avis doit être transmis à la FDA concernant les produits, les installations de production doivent aussi être normalisées. Les fabricants nationaux et étrangers sont tenus d'enregistrer leurs installations auprès de la FDA.

4.4.2 Étiquetage des produits et allégation de santé

La loi des États-Unis requiert que les fabricants étiquettent leurs produits relativement aux allégations qui soient vraies et qui n'induisent pas en erreur. Pour satisfaire cette exigence, le fabricant doit disposer d'études qui montrent que l'allégation est vérifiée (Annexe 6). La Commission fédérale du commerce réglemente la publicité des suppléments diététiques. Il faut aussi noter que les suppléments sont régis par le Federal Food Drug and Cosmetic Act.

Dans certains cas, les produits peuvent comporter des exigences spécifiques. Par exemple, un produit vendu avec des propriétés anti-oxydantes doit avoir un contenu minimal en anti-oxydant et la dose journalière (RDI) indiquée.

Il est primordial de connaître ces exigences, car l'étiquetage risque fort de constituer la principale barrière à l'entrée chez nos voisins du Sud. Si les produits de santé naturels canadiens répondent aux normes en matière de qualité et d'étiquetage, les obstacles à

¹¹ On peut trouver un sommaire des articles clés de la loi dans le site Internet de la plus importante association sectorielle américaine, la National Nutritional Foods Association (NNFA), à l'adresse suivante: www.nnfa.org/services/government/comments/dshea.htm20 .

l'entrée sur le marché seront surtout liés à la concurrence et à la notoriété. Il importe donc qu'une entreprise canadienne se démarque de ses rivales.

Au Canada une étiquette nutritionnelle est nécessaire, s'il y a une allégation nutritionnelle, une allégation de santé ou toute autre présentation qui suggère que le produit a des propriétés nutritionnelles ou relatives à la santé particulière selon Santé Canada.

Le Comité permanent de la santé n'impose pas les allégations, mais propose qu'on puisse en faire. En principe, les consommateurs veulent connaître les vertus des produits. Il est donc normal qu'on puisse présenter, sur une étiquette, à quoi sert un produit et sa raison d'être. L'une des difficultés qui se pose est de reconnaître une allégation de santé du produit. Comme la réglementation est nouvelle, il y a des problèmes d'interprétation. Il semble que si un produit n'a pas de propriété spécifique reconnue par des preuves scientifiques, alors le produit ne mérite pas d'être sur les tablettes.

On notera qu'il existe un comité, formé du Canada, des États-Unis et du Mexique, dont le mandat est d'examiner les questions relatives à l'étiquetage, à l'emballage et aux normes.

4.4.3 Autres barrières réglementaires aux États-Unis

Depuis les événements du 11 septembre 2001, le gouvernement des États-Unis a pris des mesures pour renforcer la sécurité de leur territoire. De façon pratique, cela veut dire que les exportateurs étrangers doivent agir comme partenaires dans la lutte contre le terrorisme en accroissant la sécurité dans chaque segment de la chaîne d'approvisionnement : production, transport et distribution et importation. À cet effet, les douanes américaines demandent aux exportateurs de s'enregistrer au programme C-TPAT (*Customs-Trade Partnership Against Terrorism*). Bien que cette démarche se fasse sur une base volontaire, il est fortement recommandé d'y adhérer. Ainsi, les entreprises doivent faire une demande de *Agreement to Voluntarily Participate*. Ensuite,

les entreprises doivent remplir un questionnaire de sécurité, *Importer Security Profile*, et le soumettre aux douanes américaines.

Le gouvernement américain a adopté le *Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act*, connu aussi sous le nom de *Bioterrorism Act*, pour la protection de ses frontières. Cette loi pourrait s'appliquer aux produits de santé naturels. En effet, cette loi est appliquée depuis le 12 décembre 2003 par la FDA. Cela implique que toutes installations étrangères et nationales qui fabriquent, transforment, manufacturent, emballent, distribuent, reçoivent ou détiennent des produits de consommation humaine ou animale aux États-Unis doivent s'inscrire auprès de la FDA dans un site Web spécial. De plus, il sera exigé d'aviser à l'avance les autorités américaines de l'envoi de produits.

5 Réseau de distribution

5.1 Caractéristiques générales de l'industrie

Les principales caractéristiques de l'industrie peuvent se résumer ainsi :

- Activités de recherche importantes pour évaluer l'impact du produit sur la santé humaine;
- Développement des technologies important et critique pour trouver des nouvelles méthodes de production, de traitement et d'isolement des biomolécules. Le facteur temps joue un rôle considérable dans ce développement;
- Utilisation intensive de ressources humaines spécialisées et de ressources financières;
- Valeur ajoutée élevée par rapport à la valeur de la matière première (source), un facteur de cinq à dix (Figures 5.1 à 5.3);
- Viabilité de cette chaîne de valeur de l'industrie dépendant de la capacité d'obtenir des revenus suffisants pour couvrir tous les coûts liés à la production et générer aussi des profits pour les investisseurs;
- Marché dominé par un nombre réduit d'entreprises, surtout le secteur des vitamines et minéraux;
- Barrières naturelles à l'entrée: principalement les investissements en recherche et technologie et les économies d'échelle;

- Forte concentration dans l'industrie et difficulté pour un petit producteur d'entrer sur le marché et par la suite d'augmenter sa taille;
- Chaîne de valeur des aliments fonctionnels et nutraceutiques en concurrence avec les aliments traditionnels;
- Chaîne de valeur des produits nutraceutiques en concurrence avec le marché des produits pharmaceutiques surtout pour la distribution et la vente au détail;
- Structure de cette industrie affectant la viabilité des petits producteurs et transformateurs. Pour faciliter le développement de cette industrie, des entreprises indépendantes peuvent effectuer des tâches spécifiques de la chaîne de valeur sous contrats de production. Une autre alternative est l'intégration verticale de toutes les fonctions de la chaîne de valeur par une seule entreprise;
- Barrières à l'entrée pouvant être créées par les firmes qui occupent la majeure partie du marché. Cela peut se faire par la prolifération des marques. Dans le passé, des pays comme l'Australie ont tenté de poursuivre sans succès les quatre entreprises qui détenaient 75 % du marché des vitamines. Le Canada, les Etats-Unis et l'Union européenne ont imposé des amendes¹² totalisant plus d'un milliard USD entre 1999 et 2003.

Ces caractéristiques générales mondiales s'appliquent relativement bien au contexte canadien et québécois. Dans ce dernier cas, l'étude du MDEIE (2005) montre que les entreprises du Québec sont de petite taille. Les faibles chiffres d'affaires ne permettent pas aux entreprises de s'offrir des services de commercialisation adéquats et d'effectuer la R & D appropriée.

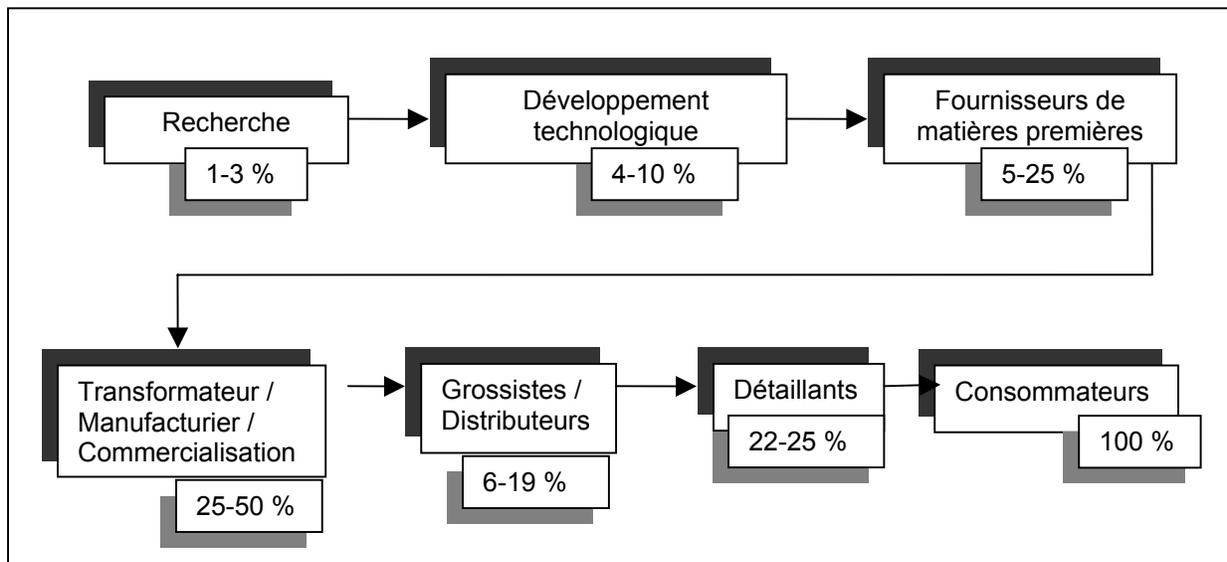
¹² Les principales compagnies poursuivies : BASF, Rhône-Poulenc, Eisai, Takeda, Merck, Roche, Sumika.

Selon l'étude de Hobbs (2001), une entreprise qui veut se maintenir sur le marché américain doit avoir un chiffre d'affaires d'au moins 20 millions de dollars. La complexité de la propriété intellectuelle, le besoin d'un approvisionnement fiable et sécuritaire conduisent à des productions en milieu contrôlé et à des arrangements entre fournisseurs et acheteurs.

Les principales composantes de la chaîne de valeur de cette industrie sont (Scott Wolfe Management 2002) (Figures 5.1 à 5.3):

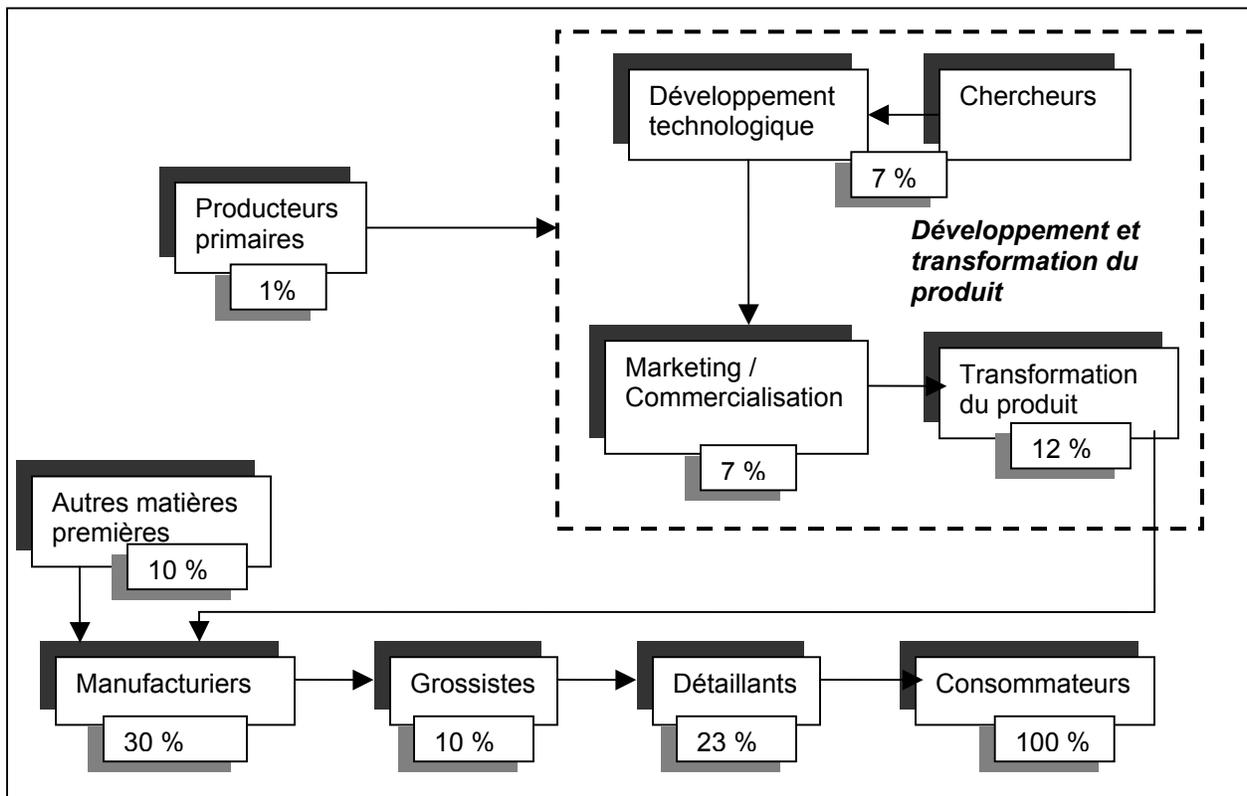
- La recherche;
- Le développement des technologies;
- La commercialisation.

Figure 5.1 : Chaîne de valeur de l'industrie des aliments fonctionnels et des nutraceutiques



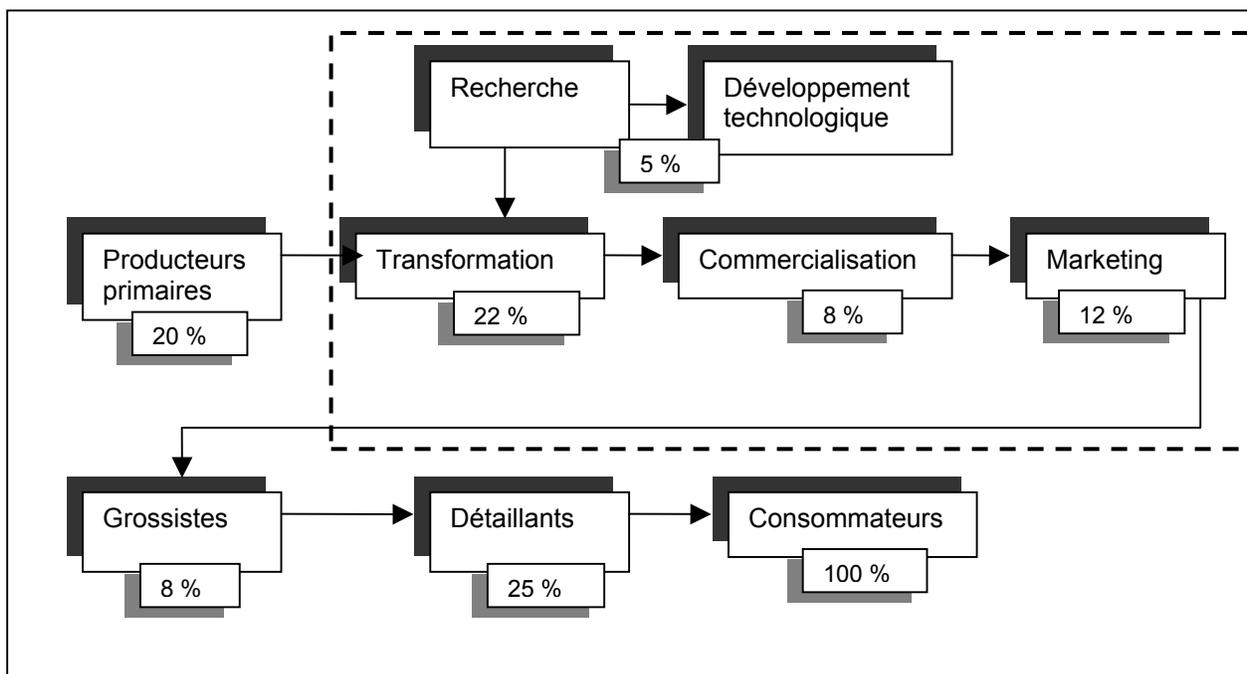
Source : Scott Wolfe Management 2002

Figure 5.2 : Chaîne de valeur de développement d'un ingrédient nouveau



Source : Scott Wolfe Management 2002

Figure 5.3 : Intégration de l'ingrédient dans un produit de consommation



Source : Adapté de Scott Wolfe Management 2002.

5.2 Entreprises et produits de microalgues

Même si cette section se concentre sur les microalgues au Canada, on abordera l'ensemble des nutraceutiques aux États-Unis et au Canada.

Aux États-Unis, 70 % du marché (en 2002) est occupé par six grandes entreprises : Roche inc., BASF Corp, Archer-Daniels-Midland, Du Pont, Ajinomoto et Lonza inc. On notera toutefois que la position de chacun peut évoluer rapidement. En 2003, Roche a vendu sa division des vitamines à DSM, faisant de cette dernière un joueur important.

Fredonia (2003) a établi une liste des entreprises représentant environ 60 % du marché mondial des nutraceutiques (Tableau 5.1). On y retrouve de grands groupes pharmaceutiques et de produits de soins personnels.

Au niveau des microalgues, la production mondiale se situerait à quelques milliers de tonnes. Selon Love et Langenkamp (2003), le chiffre d'affaire de l'industrie mondiale des microalgues associées à la bêta-carotène se situait à environ 40 millions USD en 2002. La valeur de la production primaire serait de l'ordre de 1,25 milliard de dollars¹³ (Spolaore et al. 2006 ; Pultz and Gross 2004) Les données de la FAO ne permettent pas facilement d'établir le tonnage mondial de microalgues produites¹⁴. Selon un article paru dans Libération de janvier 2005 (Brillaud 2005), la production mondiale de spiruline n'excéderait pas 3 000 tonnes. La région Asie/Pacifique joue un rôle important dans la production primaire avec les États-Unis. Certaines entreprises états-uniennes comme Blue California font produire les microalgues en Chine. Après un premier traitement, la biomasse est transférée aux États-Unis pour la fabrication d'ingrédients et la formulation de produits.

¹³ Le tonnage serait d'environ 5 000 tonnes, poids séchés. Il s'agit de la production pour toutes les applications confondues. Les auteurs n'expliquent pas comment ils estiment la valeur marchande de la production primaire.

¹⁴ Les données du U.S. Department of Agriculture (2004) indiquaient une production de 1 200 tonnes à Hawaii en 2000. Depuis 2001, seule la valeur de la production est divulguée, qui se situerait à environ 12 millions USD en 2004 pour deux espèces : Spirulina et Haematococcus, principalement. Cyanotech serait un joueur dominant.

Tableau 5.1 : Principales compagnies, marché mondial (2003)

Compagnies (Division)	Revenu total (millions USD)	Ventes* de nutraceutiques (millions USD)	Gamme principale de produits	% des nutraceutiques par rapport au revenu total
Abbott Laboratories (Ross Products)	19 681 \$	2 100 \$	AP	15,4%
Ajinomoto	9 200 \$	300 \$	AP, N	2,2%
Archer-Daniels-Midland (ADM Natural Health and Nutrition)**	30 708 \$	700 \$	N, V	5,1%
BASF**	37 653 \$	425 \$	H, M, N, V	3,1%
Boehringer Ingelheim	8 331 \$	500 \$	HS, M, NS	3,7%
Bristol-Myers Squibb	20 894 \$	1 300 \$	AP	9,5%
Cargill**	59 894 \$	550 \$	N, V	4,0%
Celanese (Nutrinova)***	4 599 \$	85 \$	N	0,6%
Cognis	3 330 \$	200 \$	N, V	1,5%
Croda International	466 \$	175 \$	H, N	1,3%
Degussa (Degussa BioActives)	12 897 \$	290 \$	H, N	2,1%
DSM (DSM Nutritional Products)**	6 828 \$	350 \$	H, N, M, V	2,6%
DuPont (Solae LLC)**	26 996 \$	800 \$	N	5,9%
Eisai	4 426 \$	260 \$	AP, NS, V	1,9%
Hospira	2 624 \$	300 \$	AP	2,2%
ICC Industries (Fructarom)	1 300 \$	144 \$	H	1,1%
Johnson & Johnson	41 862 \$	1 200 \$	FF, HS, NS	8,8%
Kyowa Hakko Kogyo	2 945 \$	300 \$	N	2,2%
Lallemand (Institut Rosell)	100 \$	50 \$	N	0,4%
Lonza Group	1 664 \$	120 \$	M, N, V	0,9%
Nestle	65 315 \$	800 \$	FF	5,9%
Novartis	24 864 \$	1 800 \$	AP, NS	13,2%
Wyeth	15 851 \$	900 \$	AP, NS	6,6%
Zuellig Group (BI Nutraceuticals)	30 \$	20 \$	H	0,1%
		13 669 \$		100,0%
Source : Fredonia 2004				
AP : Nutritionnels adultes et enfants	FF : Aliments et boissons fortifiés		H : Extraits herbaux et extraits reliés	
HS : Suppléments herbaux	M : Minéraux vrac		N : Protéines	
NS : Suppléments nutritionnels	V : Vitamins vrac			

* Les ventes de nutraceutiques incluent principalement les ingrédients et certains produits de consommation.

** Les cinq compagnies suivantes représentent environ 40 % du marché des ingrédients nutraceutiques : BASF, Cargill, DSM, ADM, DuPont (Solae).

***Nutrinova a été mis en vente à la fin du mois de juillet 2005. Il ne semble pas y avoir eu de transaction.

La liste des produits de microalgues disponibles au Canada concerne principalement la spiruline (Annexes 7 et 8). Il y a des entreprises qui sont des formulateurs. Par exemple les compagnies Celex Laboratories et Les Laboratoires Lalco transforment et

commercialisent des comprimés de spiruline de 500 mg sous deux formats, 250 et 500 comprimés en achetant les ingrédients de l'extérieur. Le produit de Lalco est étiqueté standardisé à 60 % de protéines.

Aux annexes 4 et 10, on trouvera des noms d'entreprises étrangères impliquées dans la production de nutraceutiques à base de microalgues. Parmi les plus gros producteurs, les entreprises des États-Unis occupent une place de choix. Cyanotech et Earthrise sont les principales productrices de *spiruline* en Amérique du Nord. Les entreprises Cyanotech, Mera Pharma, Valensa International et Microgaia Corp. produisent l'*Haematococcus pluvialis* comme source d'Astaxanthine. Dans le cas de Martek Biosciences et Nutrinova, les entreprises semblent s'être orientées vers les oméga-3.

L'annexe 9, donne des listes d'entreprises des États-Unis pour trois espèces d'algues, spiruline, chlorelle et Haematococcus. On retrouve :

- Spiruline : 45 entreprises ;
- Chlorelle : 31 entreprises
- Haematococcus (astaxanthine) : 46 entreprises

Même si cette liste est incomplète, il y a déjà plus d'une centaine de compagnies actives sur le marché.

5.3 Distribution

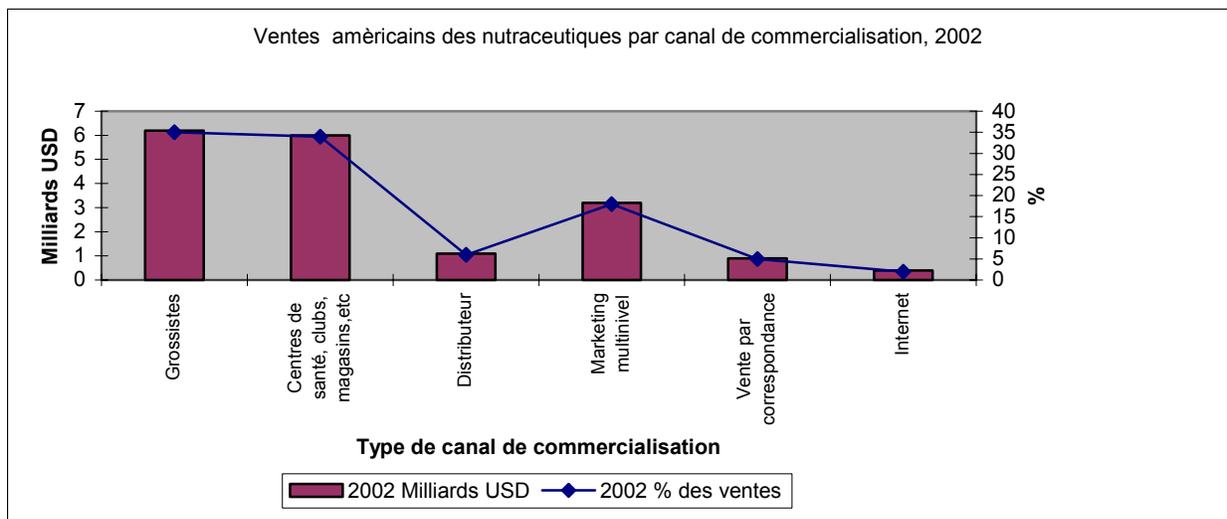
Aux États-Unis, environ 85 % de tous les nutraceutiques sont vendus par le biais des grossistes (BCC 2003), le 15 % restant est vendu directement par les manufacturiers aux détaillants. Les grandes surfaces représentent 35 % des ventes, les boutiques d'aliments naturels représentent 34 % des ventes alors que les MLM (marketing à paliers multiples ou multi-level-marketing) s'accaparent environ 18 %.

Ces réseaux peuvent toutefois varier selon les catégories de produits. Selon le Nutrition Business Journal, les produits herbaux représentaient, en 2001, des ventes de 4,1 milliards USD, réparties comme suit :

- Grandes surfaces: 18 %
- Poste: 11 %
- Internet : 1 %
- Praticiens : 8 %
- Boutiques d'aliments naturels : 33 %
- MLM (multi-level-marketing): 29 %

Au niveau des ventes des nutraceutiques par type de canal de commercialisation aux États-Unis, la vente par Internet reste encore marginale, moins de 5 % des ventes des produits nutraceutiques se font par cette voie (Figure 5.4).

Figure 5.4 : Ventes aux États-Unis par canal de commercialisation



Source: BCC 2003

Au niveau du Canada, 58 % des ventes sont faites par les chaînes de pharmacies, 22 % par les grandes surfaces et le restant, 20 %, par les magasins spécialisés, entre autres. Selon Hobbs (2001), les grandes surfaces, en particulier les chaînes d'épicerie joueront un rôle grandissant sur ce marché. Récemment Sobey's a annoncé envisager introduire ces produits sur les rayons. Lors d'un colloque récent tenu à Québec, les

grands détaillants alimentaires ont indiqué clairement leur volonté de prendre position dans ce marché (Turcotte 2005).

Entre 75 et 80 % des approvisionnements des produits nutraceutiques au Canada sont réalisés principalement par les fournisseurs locaux, le restant, 20 à 25 %, provient des importations dont 50 % proviennent des États-Unis et 12 % de la Chine. Les fournisseurs locaux peuvent importer les ingrédients actifs d'ailleurs et formuler le produit final au Canada.

Il est estimé aussi que quinze entreprises importatrices représentent 80 % de toutes les importations canadiennes de produits nutraceutiques dont : Chinook Group Ltd., Herbal Select, Roche, Holista, Jamieson, Natural Factors Nutritional Products Ltd., Nu-Life Nutrition Ltd, Pharmetics, Santé Naturelle, entre autres (MDEIE 2005).

La liste établie au cours des mois de septembre et octobre 2005, on retrouverait environ 136 entreprises dans le domaine des produits de santé naturels au Québec (Annexe 7). Une enquête réalisée par le MDEIE (2005) en 2002 indiquait qu'il y avait 125 entreprises dans le secteur des nutraceutiques. De ce nombre, plus du tiers était localisée à Montréal. Du total des entreprises québécoises, 27 % des entreprises se concentraient dans la production des produits phytothérapeutiques (herbes médicinales), seulement 8% des entreprises travaillent avec des algues et 21 % des entreprises commercialisent des huiles essentielles. Le nombre d'entreprises aurait donc augmenté entre 2002 et 2005. En apparence la gamme de produits aurait été élargie.

Les ingrédients actifs suivants sont fabriqués au Québec (MDEIE 2005) : les huiles essentielles de conifères (fabriquées par une dizaine d'entreprises), les acides gras de type omega-3 (deux entreprises), la Chitosane (trois entreprises), les extraits de bois de velours (deux entreprises), les extraits de cartilage de requin (une entreprise), les probiotiques (trois entreprises) et la pancréatine (une entreprise). Au niveau des projets de recherche et développement, «Québec BioDiversité» travaille avec les extraits des

algues, PureCell travaille avec les extraits de chlorophylle d'épinard, Natkem avec des extraits de plantes médicinales, Mauves avec des extraits herbaux, etc. Québec Biodiversité semble la plus importante sur le plan de la R & D sur les ingrédients actifs (MDEIE 2005).

Dans l'ensemble du Canada, environ 730 produits sont homologués selon la nouvelle réglementation. Selon Santé Canada, plus de 50 000 produits sont vendus au Canada et plus de 8 000 sont en attente d'une certification¹⁵. Au 3 novembre 2005, aucun produit à base de microalgues ou d'extraits de microalgues n'a été homologué.

On trouvera à l'annexe 7 la liste des formulateurs de produits de microalgues au Canada. On compte quarante-deux¹⁶ formulateurs ou fabricants dans le secteur. Certaines d'entre eux sont des filiales de firmes américaines. La spiruline est utilisée par 86 % des fabricants, la chlorelle par 33 %, dunaniella par 5 % et l'astaxanthine par 11 %.

L'annexe 8 présente une liste de distributeurs de nutraceutiques au Canada. La liste a été établie à l'aide de différents répertoires d'entreprises disponibles sur les sites internet des ministères dans les provinces. Sur la base de la liste établie, il y aurait davantage de distributeurs au Québec qu'ailleurs au Canada. Il est par contre difficile de préciser lesquels sont spécialisés dans les produits à base de microalgues.

Certains grossistes occupent une place de choix sur le marché, C'est le cas notamment de Purity Life, un distributeur canadien. L'entreprise approvisionne un nombre considérable de commerces de détail notamment : 1 800 boutiques indépendantes, Shoppers Drug Mart/Pharmaprix (850 points de vente), General Nutrition Center (GNC) (140), PharmaPlus/KPSI (275), Jean Coutu (250), Uniprix (200), Loblaws (340), Safeway (183), Wal-Mart (150) et Zellers (150)¹⁷.

¹⁵ Madame Boechy, Santé Canada, communication personnelle, 6 octobre 2005.

¹⁶ Une entreprise inscrite au tableau de l'annexe 7 produirait des microalgues sans que l'on puisse confirmer si c'est le cas.

¹⁷ www.puritylife.com/wheretobuy.php. Page consultée le 18 novembre 2005.

5.4 Évolution des prix des produits de santé naturels

Les prix constituent une variable importante de concurrence entre les entreprises même dans un secteur en croissance. Il existe peu d'information pour faire une évaluation quantitative sur moyenne période. Seule la firme Fredonia a publié des données qui sont présentées au tableau 5.2.

Les prix auraient augmenté de 8,9 % entre 2000 et 2003. Ils augmenteraient de 52 % entre 2000 et 2013. La catégorie des extraits herbaux et non herbaux connaissent la plus forte augmentation des prix. Le secteur des vitamines connaît une augmentation plus faible.

L'évolution par grande catégories de produits cache cependant une réalité complexe. Les produits de plantes médicinales connaîtraient une évolution plus lente dans la catégorie des extraits.

Tableau 5.2 : Indice des prix des ingrédients nutraceutiques par catégorie

Base 2000=100	1993	1998	2003	2008	2013
Ensemble des produits	78,1	93,0	108,9	128,2	152,7
Nutriments et Minéraux	78,7	92,6	108,1	124,9	144,2
Vitamines	83,6	95,0	106,6	119,8	134,9
Extraits herbaux et non-herbaux	65,2	91,1	113,8	146,3	190,0

Source : Freedonia Group 2004

Selon BCC (2003), le risque que les entreprises se lancent dans une guerre de prix est faible. Ce risque est estimé à 10 %. En d'autres termes, l'évolution des chiffres d'affaires ne devrait pas être affectée par une concurrence exacerbée mais davantage pour l'évolution de la consommation. Il faut toutefois tempérer cette appréciation puisque les grandes entreprises pourraient tenter de manipuler le marché comme cela s'est produit dans le passé. En outre, l'arrivée massive des grandes surfaces et des chaînes d'épicerie pourrait freiner la croissance des prix.

6 Opportunités de marché des microalgues marines

6.1 Microalgues et produits

Cinq microalgues se retrouvent sur le marché canadien dont quatre dans la production canadienne pour la consommation humaine : spiruline, chlorelle, haematococcus (astaxanthine), odontella et dunaliella. Certaines algues possèdent des propriétés particulières. C'est le cas notamment de *Porphyridium cruentum* qui est une source de SOD (enzyme super oxyde dismutase). Même si le développement de cette algue est encore à l'étape de recherche, on peut trouver le produit sur le marché européen mais aucun fabricant canadien semble s'y intéresser. La spiruline domine largement.

L'annexe 7 présente la liste des entreprises canadiennes qui formulent des produits contenant des microalgues. Trente des quarante-deux entreprises de la liste, soit près de 75 %, formulent au moins un produit contenant des microalgues mais sans que cet ingrédient soit le principal principe actif du produit. Il s'agit de mélanges. Dans d'autres cas, il s'agit de l'algue pure sans mélange, produits de spiruline principalement. Le fabricant peut parfois mélanger deux algues.

Sur l'ensemble des nutraceutiques, les entreprises québécoises représentent environ 44 % de l'industrie canadienne. Vingt-trois des quarante-deux entreprises impliquées dans le secteur des microalgues seraient installées au Québec, soit 55 %. Ce sont des proportions élevées compte tenu que le marché québécois n'est pas le plus important.

6.2 Opportunités de produits à base de microalgues

Les opportunités de marché des microalgues tiennent compte des facteurs présentés dans les sections 3, 4 et 5. La section 3 donne des indications sur les segments de

marché et les applications. La section 4 identifie les contraintes et les stimulants alors que la section 5 apporte des précisions sur les réseaux de distribution.

Deux groupes de produits semblent connaître une croissance significative des ventes : les antioxydants et la glucosamine. Dans le cas de la glucosamine, elle représente 11 % des produits homologués par Santé Canada depuis le début du processus. Pour ces trois produits, il s'agit de produits dont les allégations de santé touchent principalement les articulations, le cartilage, la prévention de l'ostéoarthrite, la prévention de maladies coronariennes ou encore il s'agit de produits d'applications générales. On retrouve des antioxydants dans les microalgues marines¹⁸.

Jusqu'à récemment, la glucosamine était d'origine animale. En 2003¹⁹, CarGill (Annexe 10) a mis sur le marché un produit fabriqué à partir d'un champignon (*Aspergillus niger*). Ce mode de production de l'ingrédient actif semble peu complexe. Les barrières tarifaires imposées aux crevettes provenant de la Chine ont accéléré le développement de ce produit. CarGill affirme qu'il peut ainsi stabiliser sa production de glucosamine, uniformiser la qualité et donner accès à la glucosamine aux consommateurs désireux d'avoir un produit kasher ou non désireux d'un produit de source animale ou encore inquiets de consommer un produit dont l'origine provient de matières qui pourraient occasionner des allergies. La question est de savoir si ce produit change la base de la concurrence sur le marché. Des fabricants de produits à base d'astaxanthine misent aussi sur les rapports concernant la contamination du saumon pour vendre leur produit sous une «étiquette non contaminée», kasher et consommable par les végétariens.

¹⁸ Les produits à base d'astaxanthine connaîtraient une forte croissance. On notera qu'il s'agit d'un antioxydant. Cette catégorie de produits regroupe une vaste gamme d'ingrédients : vitamine C, E, bêta carotène, sélénium, polyphénols (flavonoïdes), acides phénoliques, tanins, terpène, limonoïdes, composés soufrés, isothiocyanates, SOD. L'industrie européenne des phytonutriments globalement n'est pas concentrée, à l'exception du marché des caroténoïdes où BASF et Roche détiennent une forte position sur le marché dû à leurs ventes de phytonutriments naturels.

¹⁹ Le Nutritionnal Business Journal a choisi ce produit comme produit de l'année. En 2004, le produit était approuvé par les autorités du Royaume-Uni.

Par ailleurs, aucun produit dont le principe actif provient des microalgues n'a été homologué par Santé Canada²⁰. Certains producteurs dont les produits étaient accessibles par vente électronique semblent avoir cessé la vente.

Les produits à base de microalgues marines sur le marché canadien ou fabriqués au Canada ne semblent pas avoir un positionnement spécifique leur permettant de se démarquer de la concurrence. Les produits n'ont parfois aucun étiquetage spécifique. Ils se retrouvent dans les classes suivantes :

- Multi-minéraux/multivitamines
- Protéines (suppléments)
- Antioxydant
- Ostéoarthrite/cartilage (prévention, atténuation ou réduction des symptômes).

Par exemple, les produits des Laboratoires Lalco indiquent simplement qu'il s'agit de spiruline hawaïenne standardisée à 60 % de protéines. À l'exclusion de la posologie, aucune recommandation particulière ou allégation de santé n'est indiquée. Il en est ainsi sur leur site web. Les produits sont destinés aux personnes intéressées à consommer des protéines (les sportifs probablement).

Deux microalgues semblent dominer : le genre spirulina et le genre chlorella. Les deux ingrédients peuvent se retrouver dans un même produit, parfois mélangés avec d'autres ingrédients comme l'ail. Sur quarante-deux producteurs canadiens, quatre mettent sur le marché un produit à base d'astaxanthine de la microalgue *Haematococcus* (Atrium, BioNutrition, Recherche GoVitalityGo et Robert & Fils²¹) (Annexe 7).

La nouvelle réglementation canadienne rend la vie plus difficile pour la mise en marché. Comme on l'a indiqué précédemment, si un produit veut être homologué, le producteur devra disposer de preuves scientifiques à l'appui des allégations. La mise en application

²⁰ Information en date du 3 novembre 2005. On notera que la liste des produits homologués est mise à jour à tous les deux mois. www.hc-sc.gc.ca.

²¹ Atrium achète l'astaxanthine de Cyanotech et Robert & Fils, de Valensa.

des nouvelles règles prendra du temps et le processus ne sera pas complété avant 2010.

On a vu également que le nom associé au produit est important. Un nom connu peut introduire un nouveau produit sur le marché plus facilement puisque les consommateurs connaissent cette marque spécifique. Pour un fabricant de petite taille, il est plus facile de fabriquer à contrat ou encore de s'associer à un nom connu que de tenter de maîtriser toute la chaîne de valeur. Dans leur étude de 2005, Datamonitor incite les petits producteurs à rechercher la caution de noms connus.

L'enquête menée en octobre 2005 auprès de formulateurs installés au Québec et de distributeurs/détaillants (pharmacies et boutiques d'aliments naturels) permet de baliser les opportunités réelles de marché pour de nouveaux produits à base de microalgues.

6.2.1 Producteurs/distributeurs

Le potentiel de marché des microalgues comme ingrédients ou comme produits de formulation apparaît lié à la démonstration d'une valeur ajoutée (notamment sur le plan des allégations de santé) et/ou d'un avantage sur le plan des coûts. Les fabricants d'ingrédients à base de microalgues sont bien conscients des difficultés de concurrencer la nature puisqu'il faut cultiver l'algue, ce qui augmente le coût de la matière au départ. Par exemple, Martek annonçait récemment avoir fait du développement technologique qui permettrait de réduire de 30 % le coût des produits à base d'oméga-3 dérivé de micro-algues²².

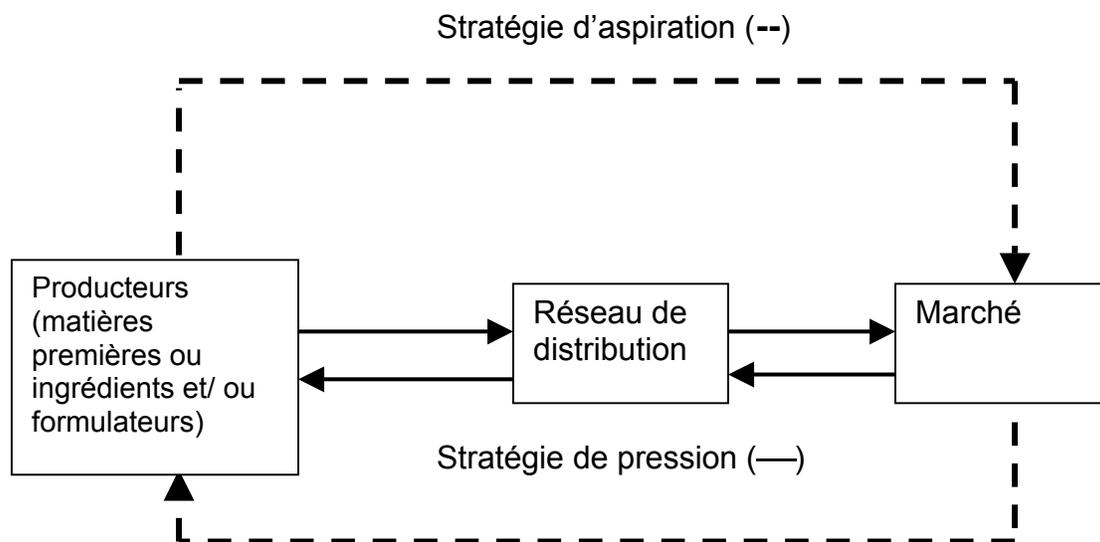
Si le producteur fabrique l'ingrédient, il se retrouve strictement sur le marché des ingrédients, non pas sur le marché des produits de consommation finale. Sa stratégie de commercialisation repose sur une logique de marketing industriel en contexte de demande dérivée.

²² <http://www.nutraingredients-usa.com/news/ng.asp?n=63990&m=1NIUN17&c=nctfgrwjnebiix>, page consultée le 17 novembre 2005.

Le producteur désirant pénétrer le marché de consommation avec un nouveau produit devra créer un engouement, une mode, par un effort de marketing considérable. À cet effet, il devra adopter, soit une stratégie « d'aspiration » en stimulant directement le marché, créant ainsi la notoriété de son produit, soit adopter une stratégie de « pression » en s'associant avec un réseau connu qui supportera son produit ou soit un dosage des deux (figure 6.1).

La commercialisation par voie de stratégie d'aspiration nécessite un programme d'activation commerciale imposant sur le plan des ressources financières.

Figure 6.1 : Stratégies d'activation du marché



Les critères de choix de fournisseurs pour la majorité des producteurs et des distributeurs sont, dans l'ordre :

- Réputation du fournisseur;
- Qualité du produit;
- Prix ;
- Délais de livraison.

L'enquête confirme ainsi ce que les données secondaires nous avaient indiqué, à savoir qu'une marque connue attire davantage que tout autre facteur.

6.2.2 Distributeurs et commerces de détail

La percée dans les réseaux de distribution (accords de distribution) est tributaire de l'effort que doit consentir le fournisseur en ce qui a trait au marketing et à sa force de vente. Cette information confirme ce que d'autres études mentionnées précédemment ont établi, à savoir que le fournisseur doit consacrer des efforts majeurs à la mise en marché.

Dans le cas des boutiques spécialisées, elles considèrent détenir l'avant-scène des produits de santé naturels. D'où leur perception de la répartition des ventes de produits naturels, soit 60 % dans les boutiques spécialisées, 20 % dans les pharmacies et 20 % dans les grandes surfaces. Elles ont comme principaux critères d'achat : l'approche humaine de la force de vente et la philosophie de l'entreprise, ceci jumelé au fait que les produits ne doivent pas se retrouver sur les tablettes des pharmacies et des grandes surfaces. Ces boutiques recherchent l'exclusivité. D'où leur perception qu'elles occupent le premier rang dans la vente des produits de santé naturels.

La forte majorité des détaillants prévoit une croissance des ventes des suppléments. Un des détaillants participant à l'enquête, Aliments de Santé Laurier, a ouvert d'ailleurs un deuxième magasin d'une surface de 15 000 pieds carrés dans la zone Méga Centre Duplessis à Québec. La surface de plancher de produits de santé naturels au cours des cinq dernières années a augmenté et les détaillants (grandes surfaces et pharmacies) prévoient une stabilité pour les cinq prochaines années.

La forte majorité des répondants croit possible une croissance de la demande de produits à base de microalgues marines. Elle y voit un potentiel si les efforts de marketing consentis sont suffisants. Enfin, les répondants sont en grande majorité disposés à l'achat de microalgues marines (ou de produits à base de microalgues

marines), si cela leur permet de substituer un ingrédient de leur formulation à meilleur coût ou bien s'il y a un marché pour ces produits.

Les résultats de cette enquête concernant le marché des produits de santé naturels s'accordent avec ceux d'autres études sectorielles consultées. La concurrence s'intensifie pour la conquête des espaces tablettes et la polarisation des chefs de file semble incontournable.

Conclusion

Deux questions principales se posaient au départ :

- Y a-t-il un marché pour des produits nutraceutiques d'alimentation humaine fabriqués à base de microalgues ?
- Quelles sont les conditions d'accès à ce marché?

À la première question, on peut répondre positivement. Le marché des nutraceutiques est important mais la seule fabrication d'un produit ne suffit pas. Le marché mondial des nutraceutiques, évalué à la vente aux consommateurs, se situerait entre 60 et 90 milliards USD. Le marché des ingrédients est important avec des ventes de plus de 8 milliards USD. Les marchés des États-Unis, de l'Europe de l'Ouest et du Japon sont les plus demandeurs. Le marché canadien est de petite dimension avec des ventes d'un peu plus d'un milliard. La production locale alimente environ 80 % du marché canadien. Le marché de l'Asie, la Chine en particulier, devrait connaître une expansion significative dans les prochaines années.

Même si les estimations varient, la croissance des ventes est élevée sur l'ensemble du marché mondial, se situant entre 6 et 10 %. Le portrait varie toutefois selon la catégorie de produits. Les produits herbaux, par exemple, connaîtraient une faible croissance, suivi des produits vitaminés/minéraux qui s'accaparent une part importante des ventes. Sur le marché québécois, la croissance anticipée serait modeste, liée essentiellement à un pouvoir d'achat plus faible que sur le reste du marché nord-américain.

Les produits à base de microalgues représentent une faible proportion du marché des produits de santé naturels, soit moins de 2%. Les produits à base de spiruline et de chlorelle dominent largement le marché. Une seule entreprise au Canada s'affiche

comme productrice de microalgues mais sans que l'on puisse obtenir une confirmation de la situation. La matière première utilisée par les formulateurs provient de l'étranger. Il y aurait environ quarante-deux fabricants canadiens dont plus de la moitié situés au Québec. Dans l'ensemble des produits de microalgues formulés au Canada, les ingrédients de microalgues ne constituent pas la substance active principale des produits dans environ 40 % des cas.

Parmi les nutraceutiques, les antioxydants connaissent une croissance importante. Comme on peut obtenir ce type de produits des microalgues, il y a donc des possibilités sur ce segment. Cependant, le positionnement des microalgues ne se démarque pas de celui des autres produits sur le marché, que ce soient les produits vitaminés/minéraux, les protéines, les antioxydants ou les suppléments. Ils se retrouvent dans les mêmes catégories que les autres produits de santé naturels. La démonstration de la valeur ajoutée des microalgues par rapport aux autres ingrédients de formulation, notamment sur le plan des allégations de santé, n'est pas faite.

D'ailleurs, certains acheteurs des grandes surfaces confondent macroalgues et microalgues, ignorent même les effets bénéfiques sur la santé des microalgues. Le principal critère d'achat de ces acteurs du réseau de distribution demeure la réputation du fournisseur. Si un important fournisseur adoptait les microalgues dans la formulation des produits, la pénétration du marché serait relativement facilitée. Dans les boutiques spécialisées, le niveau de connaissance et d'appréciation des ingrédients actifs apparaît nettement plus évident. Cependant, ces boutiques occupent une plus faible part du marché de détail.

Même si un principe actif révolutionnaire est trouvé et l'entrepreneur dispose de peu de moyens de marketing, le risque reste élevé de mettre un nouveau produit sur le marché. Pour réduire ce risque, le producteur peut s'associer à un réseau connu ou bien s'insérer graduellement dans le réseau des boutiques spécialisées avec les difficultés liées au morcellement géographique. Cependant, la conquête des marchés étrangers serait plus problématique dans l'optique d'une stratégie de pénétration graduelle.

Comme le marché canadien est limité, l'entrepreneur devra faire preuve de patience et déployer une force de vente assez élaborée.

À la seconde question, les barrières d'accès aux marchés sont multiples. Le «branding» s'impose, la compétition est forte, les marges diminuent (avec l'arrivée des chaînes alimentaires dans ce marché et une place accrue des grandes surfaces, cette tendance se maintiendra), de nouvelles réglementations se mettent en place, les formules de commercialisation se raffinent et la polarisation des chefs de file s'impose comme une évidence.

Les études confirment que la distribution et la vente au détail sont dominées par les grandes surfaces²³ et les pharmacies, même si les boutiques spécialisées jouent un rôle non négligeable selon les catégories de produits. Ces dernières servent de rampe de lancement pour plusieurs produits de faible volume.

Une caractéristique fondamentale du marché des nutraceutiques demeure les allégations de santé attachées aux produits. Cette caractéristique est en même temps la pierre d'achoppement de l'évolution du marché. Selon Datamonitor (2005), 45 % des consommateurs états-uniens ne croient pas les allégations mises de l'avant par les fabricants. On observerait un pourcentage similaire en France.

Le second élément d'importance aux yeux des consommateurs se situe au niveau de l'innocuité des produits, en particulier, les effets secondaires associés aux produits et à leur consommation sur longue période. Les interactions entre les produits sont également une source d'inquiétude. Pour un nouveau producteur, il y a là une barrière technique à l'entrée qui est non négligeable parce que les points de vente exigent des preuves minimales que le produit a des effets bénéfiques ou ils font confiance à un fournisseur dont la réputation est bien établie. D'où la nécessité d'une stratégie de marque, voire même d'une famille de marques. Dans les boutiques spécialisées à faible volume, l'acheteur (souvent propriétaire) est davantage prêt à prendre des risques.

²³ Des produits Adrien Gagnon se retrouvent maintenant chez Wal-Mart.

L'investissement en ressources marketing pour prétendre entrer sur le marché est important. Des études semblent montrer que pour se maintenir sur le marché américain, une entreprise devra disposer d'un chiffre d'affaires d'environ 20 millions USD. Même s'il n'y a pas de données comparables au Canada, l'enquête, quoique réalisée dans le contexte québécois, semble indiquer que les efforts à consentir sont majeurs.

Ainsi, pour une nouvelle entreprise avec de nouveaux produits qui désire pénétrer ce marché, elle se retrouve en situation spéculative : investissement important dans les produits, réglementation plus sévère sur les allégations, risque de marché non négligeable par effet de domination. Un producteur pourrait s'orienter vers des marchés moins contraignants pour éviter les barrières réglementaires (démonstration des allégations de santé). Ce pourrait être le cas des nutraceutiques destinés aux animaux de compagnie. Toutefois, les enjeux concurrentiels sont probablement les mêmes.

Bibliographie et sources de données

Bibliographie

ACNielsen 2002. Industry Insights, Product Grouping Growth Rates – Drug.

Brillaud, R. 2005. XXI^e Siècle alimentation . Libération 01/2005. Journaux en ligne. Pagé consultée le 3 Octobre 2005. Adresse URL :<http://www.vital-source.com/mag/fr/page-100541.htm>

Business Communication Company (BCC) 2003. Evolving Nutraceuticals Business. Study GA-085R.

Cetai-HEC 2004. *United States; New York region: functional foods and nutraceuticals sector*. Montréal.

Datamonitor 2004. Nutraceuticals : Global Industry Guide Reference Code : OHEC4525.

Datamonitor 2005. Insights into Tomorrow's Nutraceutical Consumers. October. Pub ID : DFMN1173944.

Fredonia. 2004. *World nutraceuticals Forecasts to 2008 & 2013 for 6 regions & 37 countries*. Study N° 1818. July.

Frost & Sullivan 2003. European Carotenoids Market. Report R1-2676.

Hobbs, J.E. 2001. *Developing supply chains for nutraceuticals and functional foods: opportunities and challenges*. Université LAVAL Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. SR.01.05 (Part.4) 18p.

Institute of Food Technologists 2005. Expert Report for Functional Foods : Opportunities and Challenges. March 24, 2005. Chicago, IL.

International Business Strategies 2004. Natural Health Products in Canada. Ministère du Développement Économique, de l'innovation et des Exportations (MDEIE) 2005. Profil industriel : l'Industrie des produits de santé naturels. Direction de la santé et des biotechnologies. Gouvernement du Québec. Bibliothèque nationale du Québec. ISBN : 2-55—44402-7.

Love G and D. Langenkamp 2003. Ausrasian Aquaculture : Industry profiles for selected species. Abare eReport 03.8, Prepared for the Fisheries Resources Research Found, Cambera May

- Muth, M. K., Domanico J.L., Anderson D.W., Siegel P.H., Bloch L.J. 1999. *Dietary supplements sales information*. Research Triangle Institute. Center for Economics Research, NC. Project number 6673.004. October 1999.
- Muth, M.K., Anderson D.W., Domanico J.L., Smith J.B., Wendling B. 1999. *Economic characterization of the dietary supplement industry*. Research Triangle Institute. Center for Economics Research, NC. Project number 6673-03. March 1999.
- NewHope Natural Media Online 2002. Functional Foods & Nutraceuticals, April 2002.
- Newton I. 2004. Can health care Costs be Reduced by Functionnal Foods Dietary Supplements. SMI Symposium, London, UK, January 2004.
- Nutritionnal Business Journal 2003. *NBJ's Supplements Business Report 2003* .
- Nutritionnal Business Journal 2004. Chart 7: Nutrition Industry Value Chain : Supplements 1995-2003.
- Nutritionnal Business Journal 2005. *NBJ's Functional foods definitions*. New Hope. Com. Natural media online.
- Postaire, E. 1996. Les microalgues peuvent-elles soigner ?. Groupe Expresse-Expansion. Journaux en ligne. Page consultée le 3 Octobre 2005. Adresse URL :<http://www.Lexpansion.com>.
- Pultz O and W. Gross 2004. Valuable Products from Biotenchnology of Microalgae. *Appl. Microbiol Biotechnol*. Vol 65 pp. 635-648.
- Research and Markets. 2005. *Nutraceuticals Market Assessment 2005*. Report 302068. May.
- Santé Canada 2005. *Enquête de référence menée sur les produits de santé naturels auprès de consommateurs*. Étude réalisée par IPSOS en mars 2005.
- Scott Wolfe Management 2002. *Potential Benefits of Functionnal Foods and Nutraceuticals to the Agri-Food Industry in Canada*. Final Report. On Behalf of Agriculture and Agri-food Canada (AAFC).
- Spolaore P, C.Joannis-Cassan, E. Duran ans A. Isambert 2006. Commercial Applications of Microalgae : Review. *Journal of Biosceinces and Bioengineering*, vol 101, No. 2 pp 87-96.
- Statistiques Canada. 2003. *Functional Foods and Nutraceuticals survey Canada*. The Daily, Monday, October 6, 2003.
- Turcotte, C. 2005. *Place au marketing nutritionnel*. Le Devoir 5 octobre 2005, cahier B, p.1.

U.S. Department of Agriculture 2004. National Agricultural Statistics Service, Hawaii Field Office, *Fact finders for agriculture*, Hawaii Department of Agriculture. www.nass.usda.gov/hi/speccrop/aqua.htm.

Veeman, M. 2001. Consumer preferences for novel foods: Some issues and concerns. Université LAVAL Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. SR.01.05 (Part1) 15p.

Yamaguchi, P. 2004. *End of year Japanese nutraceutical industry thoughts and looking beyond. Japan's nutraceuticals today*. NPICenter Article. December 17 2004.

Sites Internet d'entreprises et d'organismes

- Agriculture et agroalimentaire Canada (www.agr.gc.ca)
- Alliance des manufacturiers et des exportateurs du Québec
- Amazon (www.amazon.com)
- American Marketing Association
- Annuaire d'entreprises
- Association des centres locaux de développement (www.acldq.gc.ca)
- Bureau des aliments (www.agr.gc.ca/misb/fb-ba/)
- Canadian Business (www.canadianbusiness.ca)
- Carrefour alimentaire du Québec (www.carrefouralimentaire.com)
- Centre d'Étude et de Valorisation des Algues (CEVA) (www.ceva.fr)
- Centre de Recherche en Économie agro-alimentaire (CREA)
- Centre de Recherche et de Développement sur les Aliments (CRDA)
- Centre de Recherche industrielle Québec (www.criq.gc.ca)
- Centre de services aux entreprises du Canada (www.rcsec.org)
- Centre Québécois de Valorisation des Biotechnologies (CQVB)
- Chambre de commerce de Québec (www.ccquebec.ca)
- Chambre de commerce du Canada (www.chamber.ca)
- Chambre de commerce du Québec (www.ccq.ca)
- Communication Québec (www.comm-qc.gouv.qc.ca)
- Contact Canada ([//contactcanada.com](http://contactcanada.com))
- Développement économique, Innovation et Exportation Québec (MDEIE)
- Emploi-Québec (<http://emploiquebec.net>)

- Financial Post (www.finpost.com)
- Food and Drug Administration (www.fda.gov)
- Gourmet nutrition (www.gourmetfb.com)
- Gouvernement du Canada (www.canada.gc.ca)
- Gouvernement du Québec (www.gouv.qc.ca)
- Groupement des chefs d'entreprises du Québec
- Info-entrepreneurs (www.infoentrepreneurs.org)
- Institut de la statistique du Québec (www.stat.gouv.qc.ca)
- Institut des biosciences marines
- Institut des Nutraceutiques et des Aliments Fonctionnels (INAF)
- Institut Français de Recherche pour l'Exploration de la Mer (IFREMER)
- Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (IICA)
- Institute for Food Technologists (IFT)
- Jeune Chambre de commerce de Montréal (www.jccm.org)
- Jeune Chambre de commerce de Québec (www.jccqm.qc.ca)
- Journal Les Affaires (www.lesaffaires.com)
- Le magazine Entreprendre (www.entreprendre.ca)
- Manufacturiers et exportateurs du Canada (www.cme-mec.ca)
- Marketing magazine (www.marketingmag.ca)
- Pages jaunes (www.pagesjaunes.ca)
- Santé Canada (www.hc-sc.gc.ca)
- Statistique Canada (www.statcan.ca)
- Strategis (www.strategis.ic.gc.ca)
- Union Européenne (<http://europa.eu.int>)
- US census bureau (www.census.gov)

Nota : Cette liste exclue les entreprises apparaissant dans les différentes annexes du rapport.

Annexe 1 : Questionnaire ventes au détail

**Distribution – ventes au détail
Pharmacie – Grandes surfaces**

Bonjour,
Mon nom est de l'Université du Québec à Rimouski. Nous faisons une étude sur le marché des produits de santé naturels. Les informations obtenues ne seront utilisées de façon agrégée pour les seules fins de la présente étude. Auriez-vous quelques minutes à me consacrer ?

(aucune donnée financière de votre entreprise ne fait l'objet de cette étude)
(Financement : recherche subventionnée par le gouvernement du Québec)

Produits visés :

Produits de santé naturels (vitamines, minéraux, suppléments, etc)

Identification de l'entreprise et du répondant

Nom de l'entreprise :
Personne contactée :
Adresse :
Téléphone :
Télécopieur :
Courriel :
Description de l'entreprise :

1. Des études indiquent que les ventes de ces produits au Québec sont comme suit :

- 60 % en pharmacie,
- 20 % dans les grandes surfaces
- 20 % dans les boutiques spécialisées.

Est-ce que cette répartition vous semble représentative de la réalité du marché ?

Oui

Non Si non, expliquez pourquoi

2. Actuellement quelles sont les catégories de produits les plus vendeurs?

Catégories de produit	Ordre (ou %)
Vitamines	
Minéraux	
Suppléments alimentaires	
Plantes médicinales	

3. Depuis les 5 dernières années, au niveau de la surface plancher consacrée à ces produits dans votre réseau, avez-vous constaté :

- Une augmentation De quel ordre ? (%)
- Une diminution De quel ordre ? (%)
- Une stabilité

4. Dans les 5 prochaines années, que prévoyez-vous en surface de plancher?

- Une augmentation De quel ordre ? (%)
- Une diminution De quel ordre ? (%)
- Une stabilité

5. Dans les 5 prochaines années, quelles sont les catégories (types) de produits de santé naturels qui connaîtront :

Catégories de produits	Croissance	Décroissance	Stabilité
Vitamines			
Minéraux			
Suppléments alimentaires			
Plantes médicinales			

Pause et transition vers critères

6. En matière de choix de fournisseurs, quels sont vos critères par ordre d'importance ?

- Prix
- Qualité (homologation)
- Délai de livraison
- Réputation du fournisseur
- Autre spécifiez _____

7. Si un fournisseur veut introduire un nouveau produit dans votre chaîne, avez-vous des exigences spécifiques ?

- S'il s'agit de l'un de vos fournisseurs habituels ?
- S'il s'agit d'un nouveau fournisseur ?

Avez-vous d'autres commentaires ? _____

Merci

Annexe 2 : Questionnaire Distributeur / Producteur

Bonjour,
Mon nom est de l'Université du Québec à Rimouski. Nous faisons une étude sur le marché des produits de santé naturels. Les informations obtenues ne seront utilisées de façon agrégée pour les seules fins de la présente étude. Auriez-vous quelques minutes à me consacrer ?

(aucune données financières de votre entreprise ne fait l'objet de cette étude)
(financement : recherche subventionnée par le gouvernement du Québec)

Produits visés :

Produits de santé naturels (vitamines, minéraux, suppléments diététiques, etc)

Identification de l'entreprise et du répondant

Nom de l'entreprise :
Personne contactée :
Adresse :
Téléphone :
Télécopieur :
Courriel :
Description de l'entreprise :

1. **Êtes-vous :**

un fabricant d'ingrédients ;

Quels types d'ingrédients ? _____

Utilisez-vous des microalgues dans la fabrication de vos ingrédients ?

oui Quels ingrédients _____

et quelles microalgues ? _____

Depuis les 5 dernières années, votre volume d'achat a-t-il

- augmenté
- diminué
- resté stable

non Pourquoi ? _____

un formulateur (fabricant produit de consommation finale);

Quel type de produits ?

Parmi vos ingrédients, y a-t-il des ingrédients provenant de microalgues?

oui Quels ingrédients _____

et quelles microalgues ? _____

Depuis les 5 dernières années, votre volume d'achat a-t-il

- augmenté
- diminué
- resté stable

non Pourquoi ? _____

Dans le cas où la réponse est non, allez à la question 5

2. Dans le cas où vous achetez des microalgues, avez-vous des difficultés d'approvisionnement?

- oui Précisez la nature des difficultés : _____
- non

3. En matière de choix de fournisseurs, quels sont vos critères par ordre d'importance?

- Prix
- Qualité (homologation)
- Délai de livraison
- Réputation du fournisseur
- Autre spécifiez _____

4. Quelles sont d'après vous les tendances du développement de marché pour des produits à base de microalgues ?

- à la hausse
- stable
- à la baisse
- ne sait pas

5. Seriez-vous éventuellement intéressés à considérer l'achat de microalgues ou d'ingrédients obtenus de microalgues ?

- oui
- non

Avez-vous d'autres commentaires ? _____

Merci

Annexe 3 : Liste des entreprises de l'enquête

Répondants Distributeurs-Commerces de détail :

1. Famili-Prix – Siège Social (600 points de vente)
2. La Giroflée
3. Jean-Marc Brunet, le naturiste – Siège Social
4. Entreprises Raymond Lebel inc.
5. Aliments de Santé Laurier
6. Pharmacies Brunet – Siège Social
7. Coop Alina
8. Famili-Prix – Détaillant
9. Jean-Marc Brunet, le naturiste – Détaillant
10. Pharmacies Brunet - Détaillant

Répondants Producteurs - Distributeurs :

1. Les Laboratoires Vachon inc.
2. Les Laboratoires Lalco
3. Léo Désilets maître-herboriste
4. Phyto-Santé ltée.
5. Dolisos Canada inc.
6. Ocean Nutrition
7. Aroma enr.
8. Atrium Biotechnologie

Refus Distributeurs-Commerces de détail :

1. Corporation McKesson Canada *Considèrent que ça ne les concerne pas*
2. Vitavie au naturel *Trop occupés*
3. Axe nutrition santé ltée *Données confidentielles*

Refus Producteurs - Distributeurs :

1. Institut de recherche biologique Yves Ponroy inc. *Incapable de les joindre*
2. Advitech Solutions inc. *Considèrent que ça ne les concerne pas*
3. Herbages Premier Choix inc. *Trop occupés*
4. Bio-K international inc. *Incapable de les joindre*
5. Swiss Herbal Remedies ltd *Ne sont plus en activités*
6. New Roots Herbal inc. *Considèrent que ça ne les concerne pas*
7. Groupe International Kenzy inc. *Ces données sont confidentielles*
8. Mayaka International inc. *Ces données sont confidentielles*
9. Puresources natural products *Incapable de les joindre*
10. Nutri-Dyn products ltd *Incapable de les joindre*
11. Biosource *Considèrent que ça ne les concerne pas*
12. Magistral Biotech inc. *Incapable de les joindre*
13. Kripps Pharmacy *Considèrent que ça ne les concerne pas*
14. Organika Health Products inc. *Ces données sont confidentielles*
15. Gourmet Nutrition *Incapable de les joindre*

16. Bio-Actif inc. (Johanne Verdon) *Incapable de les joindre*
17. Laboratoires Swisses inc. *Incapable de les joindre*
18. Robert et Fils *Incapable de les joindre*
19. Pharmetix inc. *Incapable de les joindre*
20. Nu-Life nutrition ltd *Considèrent que ça ne les concernent pas*
21. Enerex Botanicals ltd *Considèrent que ça ne les concerne pas*
22. Algart International inc. *Incapable de les joindre*
23. Immunotech research ltd *Considèrent que ça ne les concerne pas*
24. Celex Laboratories inc. *Incapable de les joindre*
25. Le groupe Jean Coutu inc. ne répond pas aux enquêtes de ce type
26. Le groupe pharmessor inc. 3 messages sur boîte vocale
27. Santé naturelle A.G. (Adrien Gagnon) ne répond pas aux enquêtes de ce type
28. Entreprises Importfab inc. 3 messages sur boîte vocale
29. Herbage Normex ltée. pas intéressé
30. Herbes Universelles inc. aucun intérêt
31. Importations Herbasanté inc. ne travaille pas dans le domaine
32. Les Laboratoires Colba inc. ne répond pas aux enquêtes de ce type

Annexe 4 : Microalgues commerciales

Ce tableau cherche à présenter synthétiquement les microalgues pour faciliter par la suite l'identification des produits. Ainsi, la dernière colonne du tableau veut simplement illustrer par le nom de compagnies et de produits, leur présence sur le marché.

Tableau A.4.1 : Microalgues commerciales

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays*
<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina platensis</i>)	Microalgue riche en : -oligo-éléments, -protéines (50 à 69 g/100 g matière sèche) -minéraux (7 à 9 g/100 g matière sèche) -vitamines -Biodisponibilité du b-carotène et du fer	Antioxydant, Antiallergique, Antitumoral, Antiviral ,Détoxiquant, Entéroprotecteur Hypocholestérolémiant, Immunostimulant Prébiotique,Radioprotecteur	Producteur et formulateur : Earthrise Farms (Hawaii et California USA) 500tn/année Earthrise® Spiruline Organic™ et Earthrise® Spiruline natural™ (en comprimé) http://www.earthrise.com/products.asp *These statements have not been evaluated by the Food and Drug Administration. This product is not intended to diagnose, treat, cure or prevent any disease.
<i>Arthrospira fusiformis</i> (<i>Spirulina fusiformis</i>)	La phycocyanine est le principal pigment Phycocéithrine, Allophycocyanine	Antioxydant	Producteur et formulateur: Far East Microalgae Industries Co. (FEMICO) (Taiwan) Spiruline www.femico.com
<i>Arthrospira maxima</i> (<i>Spirulina maxima</i>)	Caroténoïdes, vitamines, minéraux, et acides gras essentiels et vitamine B12	Antidiabétique, Antihypertenseur Antioxydant, Antiviral Hépatoprotecteur, hypocholestérolémiant Hypotriglycéridémiant * Diminution de l'absorption des vitamines A et E	Distributeur : China Shanghai Herbsea Nutraceutical Inc. http://www.herbsea.com/ (Spiruline)
<i>Arthrospira sp.</i> (<i>Spirulina sp.</i>)	Microalgue riche en : -Cantaxanthine (pigments caroténoïdes oxygénés) -protéines (46 à 71 g/100 g matière sèche) -minéraux (5 à 7 g/100 g matière sèche) -vitamines -Biodisponibilité du b-carotène et vitamine B12	Antitumoral, Dermoprotecteur Immunomodulant, Immunostimulant Inducteur hepato-enzymatique, Ostéoprotecteur	Distributeur : Iherb.com Spiruline Powder, Hawaiian Spiruline, Spiruline Multiple (en poudre) http://www.iherb.com/Chlorelle1.html Distributeur :Flamantvert. SpiruC®, Spiruseng et Vegifer (en comprimés) http://www.flamantvert.fr/FR/index.htm Producteur, formulateur: Cyanotech Corporation.(USA) *Spiruline Pacifica®, commercialise de la spiruline en biomasse et en poudre, comprimés et gélule http://www.cyanotech.com a la certification organique. Producteur :Evolutionary Health.Org Ltd. (Nouvelle-Zélande) production de 120 ton/année Nom du produit : Spiruline World (en poudre,

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays* comprimé et gélules)
			<p>www.evolutionaryhealth.org</p> <p>Formulateur et distributeur: AmerMed (USA) (En comprimés) Spiruline (nom du produit) http://www.amermed.com/Chlorelle.htm</p> <p>Producteur et chercheur : Aquamer (France) Spiruline platensis et Spiruline sp.(en extrait) www.ecosite.fr</p> <p>Producteur et distributeur de souches: Activ'Alg (France) (En extraits et pâtes) <i>Spiruline platensis</i> http://www.activalg.fr/e_production.php</p> <p>Producteur et formulateur:Alpha Biotech (France) (Extrait liquide) site de vente d'Alpha Biotech : http://www.spirulinet.com/</p> <p>Formulateur : France-spiruline (France) d'Elksir 22 en ampoules (en association avec Alpha Biotech- producteur) http://www.france-spiruline.com</p> <p>Producteur: Siam Algae Co., Ltd. (Thaïlande) (Spiruline en poudre, comprimé et extrait) http://www.siamalgae.com</p> <p>Producteur:Hainan DIC Microalgae (Chine) (250 tonnes/année de Spiruline)</p> <p>Formulateur: CELEX Laboratoires Inc. (BC-Canada) (Spiruline en comprimé) http://www.celexlaboratories.com/</p> <p>Formulateur: Natrol Inc. Spiruline(USA) distribution au Canada par Purity Life Health (ON)</p> <p>Formulateur et distributeur: Valorimer (France) www.valorimer.com</p> <p>Formulateur et distributeur: Algobia, Eole VPC, l'Arbre de vie et les Astistes de nature (France) www.acheterbio.com</p>

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays*
			Formulateur et distributeur : Nutriteck Canada Spiruline en poudre www.nutriteck.com Distributeur: Drugstore.com GNC Natural Brand Spiruline(en comprimé) Distributeur: Now Foods Products Spiruline (en comprimé, poudre et gélule)
<i>Nostoc commune</i>		-Détoxiquant -Absorbe colorants alimentaires : l'érythrosine (E127), le rose du bengala seulement autorisé au Japon), le jaune orangé (E110) et le bleu brillant (E133). -Hypocholestérolémiant	Recherche : Institut de Phytonutrition (France) Pas de produits connus en alimentation humaine
<i>Aphanizomenon Flos Aqua</i>	-70% de Protéines, 18 acides aminés, -Béta-carotène, Sels minéraux, -Oligo-éléments (<i>fer, magnésium, etc.</i>) - Vitamines, Chlorophylle et Enzymes	-Antibactérien, Antimutagène -Hypocholestérolémiant -Immunomodulateur, Immunostimulant, -Antioxydant -Capte et élimine les métaux lourds, -aide à la régénération cellulaire, renforce défenses immunitaires, accroît l'énergie physique et mentale et produit minceur (<i>faible teneur en lipides</i>)	Formulateur et distributeur : Institut Haute vitalité (Suisse) produit originaire du lac Klamath en Oregon USA (gélules, poudre, comprimés et extrait) www.hautvitalite.ch Formulateur et distributeur : Power Organics (California USA) Klamath Blue Green Algae (en comprimé, poudre et gélule) http://www.klamathbluegreen.com/ Distributeur : NutriVeaNutrivea.com (USA) appartient à la société Advanced Medical Knowledge And Techniques, Inc. ou Amkat, Inc. www.amkat.com Distribue la Spiruline de la marque : Agrolabs et aussi NutriVea fait la distribution des produits NaturaMade http://www.nutrivea.com/spiruline.htm
<i>Synechococcus longatus</i>	-Phycocianine (protéine bleu-vert)	Antiallergique, Anti-inflammatoire, Antioxydant, Antitumoral, Antiviral Hépatoprotecteur, Immunostimulant, Neuroprotecteur	Distributeur: Now Foods Products (en comprimé, gélule) Pas de produits connus en alimentation humaine
<i>Porphyridium cruentum</i>	-SOD (enzyme super oxyde dismutase) -phycobiliprotéines (phycocérythrine et phycocyanine) et polysaccharides	Anti-âge / anti-vieillesse Activité antifongique- Antioxydant Cosmétologie (antiséborrhéique) *Remplace l'insuline	Producteur : Activ'Alg (France) (En extraits) http://www.activalg.fr/e_production.php Producteur et chercheur : Aquamer (France)

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays* (en extrait) www.ecosite.fr
<i>Isochrysis galbana</i>	-Biodisponibilité des oméga-3 (EPA et DHA) -Riche en EPA (57 % des acides gras totaux) sous forme de monogalactosylacylglycérides (45 %) et triglycérides (33 %) -Riche en DHA (27 % des acides gras totaux) sous forme de triglycérides (27 %) et phosphoglycérides (22 %) et phospholipides (10 %)	Effet neurologique	Recherche : Cibnor (algue en phase de recherche au Mexique) http://www.cibnor.mx/colecciones/malgas/ipoc-1.php Recherche : Institut de recherche CIES (Cuba)
<i>Pavlova lutheri</i>			Pas de produits connus en alimentation humaine
<i>Dunaliella salina</i>	-Biodisponibilité de carotènes et provitamines. Plus de 95 % des isomères correspond aux isomères all-trans bêta-carotènes. -Ces carotènes ont plus de 75 % d'activité provitaminique A. -Contient des antioxydants, caroténoïdes tels que bêta-carotène, alphacarotène et xanthophylles comme la lutéine zéaxanthine cryptoxanthine et canthaxanthine. Biodisponibilité du b-carotène	Antimutagène, Antitumoral, Antioxydant Dermoprotecteur, Immunomodulant, Immunostimulant, Ostéoprotecteur	Recherche : Institut de recherche CIES (Cuba) Producteur: Evolutionary Health.Org Ltd. (Nouvelle-Zélande) Nom du produit: Dunaliella (<i>Dunaliella salina</i> en poudre, liquide et huiles) www.evolutionaryhealth.org Producteur, formulateur et distributeur : Cognis Nutrition and Health (Australie) acheté par Henkel Corp. (USA). Nom du produit : Betatene (<i>Dunaliella salina</i> en poudre, liquide et comprimé) Producteur, formulateur et distributeur : Western Biotech Australia Pty. Ltd. (Australie)
<i>Dunaliella badarvil</i>		Antiallergique, Anti-inflammatoire, Antioxydant, Antitumoral, Gastroprotecteur, Neuroprotecteur Radioprotecteur	
<i>Dunaliella tertiolecta</i>		Hypocholestérolémiant, Hypotriglycéridémiant, Relaxant	

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays*
<i>Odontella aurita</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Riche en acides gras essentiels dont les acides gras Oméga 3 EPA (Acide Eicosapentaénoïque) 22% et DHA (Acide docosahexaénoïque) 1,7% -Avec la quantité d'acides gras Oméga 3, est une des sources la plus importante du monde végétal et représente une alternative intéressante aux huiles de poissons. -Contient les vitamines E, C, B2, B6, et provitamine A. -Nombreux minéraux et oligo-éléments marins. -Source de chlorophylle (a et c), et contient une douzaine de caroténoïdes dont le bêta-carotène et la fucoxanthine. -Contient 9 acides aminés essentiels, des sels minéraux dont 3,3% de silicium 	<ul style="list-style-type: none"> -Antioxydants, antiviral, anti-inflammatoire, anticholestérol, inconfort lié à la ménopause et aux troubles prémenstruels 	<ul style="list-style-type: none"> Producteur : Inconnu (France) Nom du produit : L'âge vert (en gélules) Distributeur : Lesplantes.France www.lesplantes.fr www.lesplantes.fr et Distributeur : Mandragore Dist. http://www.mandragore-distribution.com/index.html -Producteur breveté et chercheur: CEVA (France) Nom du produit : Ménocéane® (comprimé) http://www.ceva.fr/algo.html
<i>Pheodactylum tricornutum</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Navicula delognei f. elliptica</i>	<ul style="list-style-type: none"> Contient l'acide eicosapentaénoic et autres isomères d'acide dehexadecatricoic Acides gras polyinsaturés, acides gras polyénoïques Acide hexadécatétraénoïque, Acide stéaridonique, 	<ul style="list-style-type: none"> Anti-inflammatoire, Relaxant, Antioxydant Antibactérien, Antitumoral, Relaxant Antibactérien, Anti-inflammatoire 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de produits connus en alimentation humaine
<i>Crypthecodinium cohnii</i> et <i>Schizochytrium sp.</i> <i>Ulkenia sp</i>	<ul style="list-style-type: none"> Biodisponibilité d'Omega –3 DHA (acide docosahexaénoïque) -Riche en acide docosahéxaénoïque (DHA: 46,4 % du contenu total en acide gras) -Acide docosapentaénoïque (DPA: 10,9 % du contenu total) -Acide palmitique: 28,6 % du contenu 	<ul style="list-style-type: none"> Antioxydant Antioxydant 	<ul style="list-style-type: none"> Producteur, formulateur et distributeur : Martek Biosciences Corporation (USA) Nom du produit : Neuromins® DHA (en gélules) (l'entreprise a un catalogue de plus de 3,300 micro algues) Distributeurs: Natrol, Inc., Nature's Way, Nutraceutical Corporation, Solgar Vitamin and Herb Company, Source Naturals®, Swanson Health Products et Vitamin Shoppe Industries, Inc. http://www.martekbio.com Formulateur et distributeur : Nutrinova (Allemand) Nom du produit : Nutrinova® DHA (<i>Ulkenia sp.</i> en gélules) http://www.nutrinova.com. (nutrinova est la propriété de Celanese)

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays*
<i>Chlorelle vulgaris</i>	total -60% de protéines et des vitamines (A, Béta carotène, B, C, E, K) et des minéraux dont le calcium, le fer, le phosphore, le zinc, et le manganèse -Peptides	Régénérateur, anti-radicalaires et hydratants, Antihypertenseur, antiallergique, Gastroprotecteur, anti-inflammatoire, Antitumoral, Immunostimulant, Traitement des colites	Producteur et chercheur : Aquamer (France) (Chlorelle vulgaris en extrait) www.ecosite.fr Producteur : Activ'Alg (France) (<i>Chlorelle vulgaris</i> en extraits et pâtes) http://www.activalg.fr/e_production.php
<i>Chlorelle pyrenoidosa</i>	-Protéines (acides aminés essentiels et non), vitamines (A, B, C et E), acides gras essentiels non saturés, minéraux (fer, calcium, magnésium, zinc, potassium, soufre, manganèse), -Est un végétal le plus riche en chlorophylle et en vitamine B12. Elle apporte des porphyrines, substances qui activent le métabolisme cellulaire Source of "Chlorelle Growth Factor" (CGF) vitamins, minerals, chlorophyll, beta-carotene, et autres phytonutriments	Antitumoral contrôle des apports en sucre et en graisses, contre la constipation, régule les fonctions du foie, élimine les métaux lourds, cicatrise et soulage les ulcères de l'estomac. Stimulant du système immunitaire, Anti-inflammatoire, Relaxant	Producteur et formulateur: Far East Microalgae Industries Co. (FEMICO) (Taiwan) Chlorelle www.femico.com Producteur :Sun Chlorelle USA (compagnie mère au Japon, production au Japon) (<i>Chlorelle pyrenoidosa</i> en comprimés, extrait, miel) www.sunChlorelleusa.com/in133/index.htm Formulateur : Natrol (USA) Nom du produit : China Chlorelle (en comprimé) http://www.natrol.com/products/
<i>Chlorelle stigmatophora</i>		Relaxant, anti-inflammatoire, Immunostimulant Radioprotecteur	Formulateur et distributeur : AmerMed (USA) (En comprimés) Chlorelle (nom du produit) http://www.amermed.com/Chlorelle.htm
<i>Chlorelle autotrophica</i>		Antiviral	Producteur : Inconnu (France) Nom du produit : L'age vert Chlorelle (gélules, poudre et comprimés)
<i>Chlorelle kessleri</i>		Radioprotecteur Stimulant de la fécondité Active la vitamine A, protection UV	Distributeur : Lesplantes.France www.lesplantes.fr www.lesplantes.fr et Distributeur : Mandragore Dist. http://www.mandragore-distribution.com/index.html
<i>Chlorelle vulgaris</i>		Hypocholestérolémiant Antitumoral	Distributeur : Iherb.com Nom du produit :Chlorelle, Chlorelle (Yaeyama), (en comprimés) http://www.iherb.com/Chlorelle1.html Distributeur: Young Again Nutrients Site (USA) (en comprimés) Chlorelle Yaeyama, Chlorelle Producteur: Chlorelle (Arizona USA) (<i>Chlorelle vulgaris</i> ingrédient en poudre) http://www.gtamart.com/mart/products/Chlorelle_vulg_arts/

Microalgues	Molécules actives	Propriétés	Nom d'entreprises/présentation du produit/pays*
			<p>Producteur : Natrol (China) Nom du produit : China Chlorelle (en comprimé) http://www.natrol.com/products/</p> <p>Producteur : Wakunaga (USA) Nom du produit : Kyo-Chlorelle (Kyolic) en comprimé. http://www.kyolic.com/index.htm</p> <p>Producteur et formulateur: Taiwan Chlorelle (Taiwan et Chine) (En poudre, comprimé et extrait) http://www.taiwanChlorelle.com</p> <p>Distributeur: Now Foods Products Chlorelle (en comprimé, poudre et gélule)</p>
<i>Haematococcus pluvialis</i>	<p>-Riche en astaxanthine (1,5 à 3 % de la matière sèche) sous forme de monoester (80 %) et de diester (20 %). -Contient caroténoïde ou lutéine, β-carotène et vitamine E.</p>	<p>Neuroprotecteur, antidiabétique, antioxydant, antitumoral, détoxiquant, immunostimulant, radioprotecteur, stimulant de la fécondité.</p>	<p>Producteur : Mera Pharmaceuticals Inc (Hawaii, USA) (En gélules) AstaFactor®, http://www.astafactor.com/health.htm</p> <p>Producteur : Cyanotech (USA) Nom du produit : BioAstin® Astaxanthine (en poudre) http://www.cyanotech.com/html/pipeline.html</p> <p>Producteur : Microgaia Corp. (USA et Japon) Production en Hawaï avec bioreacteurs.</p> <p>Formulateur et distributeur des ingrédients: En 2004, U.S. Nutra a changé de nom à Valensa International. En 2002, l'entreprise a acheté tout les actifs d'astaxanthine à l'entreprise Haye Laboratories, Inc.(USA). ZANTHIN® Natural Astaxanthin (en gélules et liquide) www.usnutra.com/</p> <p>Producteur : Algatechnologies – entreprise basée en Israël, gros producteur d'astaxanthine de consommation humaine.</p> <p>Formulateur et distributeur : The Brøste Group (Dinamarca) . Nom du produit : AstaCarox http://broste.com/page827.aspx</p>

Annexe 5 : Microalgues et allégations

Tableau A.5.1 : Classification des microalgues par allégation de santé

Allégation santé	Composant biochimique	Microalgues
Produits multi-fonctionnels (applications multiples)	Sources de sels minéraux, vitamines et d'oligo-éléments.	Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa, Arthrospira platensis, Odontella aurita, Dunaliella salina, Dunaliella badarwil, Haematococcus pluvialis
Vue	Vitamine A (Bio disponibilité des bêta carotènes ou rétinol)	Dunaliella bardawil, Dunaliella salina, Odontella aurita, Aphanizomenon flos aquae, Arthrospira platensis, Arthrospira sp, Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris Chlorella kessleri, Haematococcus pluvialis
	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris
	Zinc	Chlorella pyrenoidosa, Haematococcus pluvialis
	Vitamine E (tocophérols)	Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa
Système digestif : Inducteur enzymatique	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris
Hépatoprotecteur	Canthaxanthine	Haematococcus pluvialis
Gastroprotecteur	Phycocyanine	Dunaliella bardawil, Arthrospira sp.
Probiotique	Peptides	Arthrospira platensis
Cardiovasculaire : Hypocholestérolémiant	Acide gras Oméga 3	Synechococcus elongatus Chlorella vulgaris
Hypotriglycéridémiant		Isochrysis galbana, Pavlova lutheri
Hypoglycémiant		Odontella aurita, Phaeodactylum tricornutum
Antihypertenseur		Schizochytrium sp, Cryptothecodinium cohnii, Ulkenia sp. Arthrospira maxima, Skeltonema costatum
	Phycocyanine	Arthrospira platensis, Arthrospira fusiformis
	Canthaxanthine	Arthrospira maxima, Aphanizomenon flos aquae
	Spiruline	Chlorella vulgaris, Dunaliella salina, Dunaliella badarwil,
	SOD (Enzyme super oxyde dismutase)	Synechococcus elongatus, Porphyridium cruentum,
	Astaxanthine	Odontella aurita, Phaeodactylum tricornutum, Schizochytrium sp, Cryptothecodinium cohnii, Haematococcus pluvialis
	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa, Haematococcus pluvialis
Système immunitaire : Anti-inflammatoire	Vitamine C (acide ascorbique)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris
Anticancerigène	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa, Haematococcus pluvialis
Antitumoral	Vitamine B6 (pyridoxine)	Odontella aurita
Radioprotecteur	Calcium	Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris

Allegation santé	Composant biochimique	Microalgues
Antiviral Immunostimulant Antiallergique Antidiabétique	Fer	Arthrospira platensis, Aphanizomenon flos aquae Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris
	Zinc	Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa
	Acides gras polyinsaturés	Navicula delognei f. elliptica, Pavlova lutheri, Haematococcus pluvialis
	Astaxanthine	Schizochytrium sp, Ulkenia sp,
	Canthaxanthine	Arthrospira fusiformes, Arthrospira platensis Dunaliella sp
	Phycocyanine	Arthrospira sp, Arthrospira maxima, Chlorella autotrophica,
	Fucoïdanes	Synechococcus elongatus, Chlorella pyrenoidosa,
	Phycocyanine	Chlorella vulgaris, Aphanizomenon flos aquae
	Chlorophylle	
	Pas des microalgues	
Acuité mentale / Mémoire Système nerveux (sommeil et stress) : Neuroprotecteur Relaxant	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris
	Vitamine B6 (pyridoxine)	Chlorella pyrenoidosa, Haematococcus pluvialis
	Vitamine B12 (cobalamine)	Odontella aurita
	Magnésium	Chlorella pyrenoidosa, Arthrospira sp, Arthrospira maxima
	Phycocyanine	Aphanizomenon flos aquae, Chlorella pyrenoidosa
	Fucoïdanes	Arthrospira platensis Arthrospira maxima
		Synechococcus elongatus, Dunaliella bardawil, Chlorella pyrenoidosa Chlorella stimatophora, Dunaliella tertiolecta,
		Phaeodactylum tricornutum ,Aphanizomenon flos aqua, Isochrysis galbana, Pavlova lutheri
		Chlorella pyrenoidosa
		Chlorella pyrenoidosa
Perte de poids Développement musculaire	Chlorophylle et phorphyrines	Chlorella pyrenoidosa
	Protéines	Arthrospira platensis, Arthrospira sp, Aphanizomenon flos aquae, Synechococcus elongatus, Porphyridium cruentum
	Calcium	Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris
	Calcium	Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris
	Canthaxanthine	Dunaliella sp, Arthrospira sp, Dunaliella salina
	Vitamine C (acide ascorbique)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris
	Vitamine E (tocophérols)	Odontella aurita, Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa, Haematococcus pluvialis
	Fer	Arthrospira platensis, Aphanizomenon flos aquae Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris
Ossature et articulations : Ostéoprotecteur Antioxydants		

Allégation santé	Composant biochimique	Microalgues
	Astaxanthine Canthaxanthine Phycocyanine Fucoxanthine	Haematococcus pluvialis Dunaliella sp, Arthrospira sp , Arthrospira platensis, Aphanizomenon flos aqua, Synechococcus elongatus, Porphyridium cruentum, Synechococcus elongatus Arthrospira fusiformis, Arthrospira maxima, Chlorella vulgaris, Dunaliella bardawil

Annexe 6 : Allégations de santé adoptées

Allégations santé approuvées et allégations santé qualifiées aux États-Unis

Allégations santé approuvées par la *NLEA* :

- Le calcium et l'ostéoporose;
- Le sodium et l'hypertension;
- Les graisses alimentaires et le cancer;
- Les graisses alimentaires saturées et le cholestérol, et les risques de coronaropathies;
- Les produits céréaliers contenant des fibres, les fruits et les légumes, et le cancer;
- Les fruits, les légumes, les produits céréaliers qui contiennent des fibres, en particulier des fibres solubles, et les risques de coronaropathies;
- Les fruits et légumes et le cancer;
- L'acide folique (0,4 mg/jour) et les malformations du tube neural;
- Les polyalcools et les caries dentaires;
- Les fibres solubles de certains aliments et les risques de coronaropathies;
- Les protéines de soja et les risques de coronaropathies;
- Les stérols/stanols végétaux estérifiés et les risques de coronaropathies.

Allégations santé reposant sur une déclaration faisant autorité :

- Les aliments à base de grains entiers et les risques de cardiopathies et de certains cancers;
- Le potassium et les risques d'hypertension artérielle et d'accidents vasculaires cérébraux.

Allégations santé qualifiées concernant des interactions éléments nutritifs/maladies :

- Sélénium et cancer;
- Vitamines anti-oxydantes (e et c) et cancer;
- Noix et cardiopathies;
- Acides gras oméga-3 et coronaropathies;
- Vitamines b et maladies vasculaires;
- Phosphatidylsérine et dysfonctionnement cognitif et démence;
- Acide folique (0,8 mg) et malformations du tube neural à la naissance.

Pour de plus amples détails sur les allégations génériques relatives à la santé qui sont autorisées aux États-Unis, consulter le site : <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/fdhclm.html>

Allégations admissibles quant au rôle biologique des éléments au Canada

ALLÉGATIONS ADMISSIBLES QUANT AU RÔLE BIOLOGIQUE DES ÉLÉMENTS	
Protéines	Aident à la formation et à la réparation des tissus d'organisme.
	Aident à la formation des anticorps.
Matières grasses	Fournissent de l'énergie.
	Favorisent l'absorption des vitamines liposolubles.
Glucides	Fournissent de l'énergie.
	Interviennent dans l'utilisation des matières grasses.
Vitamine A	Contribue au développement normal des os et des dents.
	Facilite la vue dans l'obscurité.
	Favorise le maintien de la peau et des muqueuses en bon état.
Vitamine D	Joue un rôle dans la formation et le maintien de bons os et de dents saines.
	Améliore l'assimilation et l'utilisation du calcium et du phosphore.
Vitamine E	Prévient l'oxydation des graisses contenues dans les tissus.
Vitamine C	Joue un rôle dans le développement et la santé des os, des cartilages, des dents et des gencives.
Thiamine (Vitamine B ₁)	Libère l'énergie des glucides.
	Favorise la croissance normale.
Riboflavine (Vitamine B ₂)	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie et la formation des tissus.
Niacine	Favorise la croissance et le développement normaux.
	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie et la formation des tissus.
Vitamine B ₆	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie et la formation des tissus.
Folacine	Contribue à la formation des globules rouges du sang.
Vitamine B ₁₂	Contribue à la formation des globules rouges du sang.
Acide Pantothénique	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie et la formation des tissus.
Calcium	Favorise la formation et le maintien de bons os et de dents saines.

ALLÉGATIONS ADMISSIBLES QUANT AU RÔLE BIOLOGIQUE DES ÉLÉMENTS	
Phosphore	Joue un rôle dans la formation et le maintien de bons os et de dents saines
Magnésium	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie, la formation des tissus et le développement osseux.
Fer	Joue un rôle dans la formation des globules rouges du sang.
Zinc	Joue un rôle dans le métabolisme de l'énergie et la formation des tissus.
Iode	Joue un rôle dans le fonctionnement normal de la glande thyroïde.

Agence canadienne d'inspection des aliments (2003). *Guide d'étiquetage et de publicité sur les aliments* : 7.5.2 Allégations spécifiques.

<http://www.inspection.gc.ca/francais/bureau/labeti/guide/7-0-Of.shtml>.

Les exemples d'étiquetage de produits ci-dessous proviennent du site web de la FDA.

Example 1: The label of a dietary supplement containing "X" uses the following claims: "The amino acid 'X' is the chemical precursor to nitric oxide. Blood vessel cells contain enzymes that produce nitric oxide. Nitric oxide is important in maintaining blood vessel tone." Assuming this statement were supported by sound science so that each individual statement was substantiated, the "message" conveyed by the claims, when considered together, is that taking oral "X" will affect nitric oxide production and blood vessel tone. Therefore, we recommend in this case that the dietary supplement manufacturer have substantiation that taking the amount of "X" provided by the product affect nitric oxide production and blood vessel tone under the product's recommended conditions of use.

The firm's clear understanding of the meaning of the claim is useful in ensuring that the evidentiary basis for substantiation is appropriate for the claim. Understanding the claim's meaning will help identify the appropriate study hypotheses and measureable endpoints, which can be used to ensure that the firm has appropriate studies to substantiate the claim. For example, a firm making a claim that a dietary supplement "helps maintain blood vessel tone" or "supports healthy immune system" should have a clear understanding of the claim's meaning to develop endpoints that could be measured and replicated in studies used as a basis for substantiation.

Example 2: The labeling of a dietary supplement includes the statement "promotes weight loss." The dietary supplement contains various vitamins and minerals and a botanical extract. The manufacturer relies on a randomized controlled double blind clinical study showing that subjects who took the botanical extract had a small but significant increase in metabolism over subjects taking a placebo over a 24 hour period. The study did not examine the effect of the extract on subjects' weight and there is no research showing that a short term increase in metabolism will translate into any measurable weight loss. The weight loss claim would likely not be adequately substantiated.

Example 3: The labeling for a dietary supplement contains a statement saying, "Recommended by Scientists," in connection with the product's claim. The statement gives consumers the impression that there is a body of scientists, qualified experts, who believe that the claim being made is supported by evidence. Consumers might also reasonably interpret the statement as meaning that there is general scientific agreement or consensus regarding the claim. If the manufacturer does not possess evidence to demonstrate such a consensus, the claim may not be substantiated. The opinion of a single scientist or small group of scientists is probably not adequate substantiation for such a claim.

Example 4: The labeling states, in connection with the product's claim, that the dietary supplement has been "studied for years" in a particular country or region and is the subject of clinical or "university" research. Here, the labeling conveys the impression that the product has been studied and also conveys the impression that there is a substantial body of competently conducted scientific research supporting the claim. We recommend that manufacturers possess evidence to substantiate both the express statements and their implied meaning.

Example 5: To illustrate this issue, assume that a firm has high quality studies that are also consistent with the totality of the scientific evidence. The firm would like to use these studies to substantiate a claim that its dietary supplement has a particular effect on the human body, but the studies involved the impact of a specific ingredient in foods on the human body, and did not involve the dietary supplement product itself. In this instance, although the studies might be of high quality, it is not clear whether the results are applicable to the specific dietary supplement product.

Example 6: A firm claims that its dietary supplement contains an ingredient shown to promote claim Y. The firm conducts a literature search and finds several references for carefully conducted, well-controlled studies demonstrating that the substance appears to be helpful in persons with claim Y associated with aging when the substance is applied topically to the affected area. However, there is no information provided concerning the effect of the substance when taken orally. Although the evidence may demonstrate that the product is effective when used topically, this information would generally not be useful to substantiate a claim for a dietary supplement (by definition, a product that is intended for ingestion (section 201(ff)(2)(A) of the Act (21 U.S.C. 321(ff)(1)(A))).

Example 7: A dietary supplement firm wants to promote an amino acid product to improve blood circulation and improve sexual performance. The firm conducts a literature search and finds many abstracts and articles about the amino acid's effect on biological mediators of circulation and a few animal and human studies designed to study the effect of the amino acid on blood flow. The firm intends to use this list of studies as substantiation for its claim.

Although the firm appears to have a significant amount of information for its claim, the list is likely not adequate because the firm has not demonstrated that the information is directly related to the claim being made. For example, in this situation we would recommend that the firm provide information to clarify the meaning of "improves blood circulation" and "improves sexual performance." We would also recommend that the firm determine whether the studies examined a dosage of product similar to the firm's product and whether any study measured outcomes (i.e., improved sexual performance) other than blood flow/blood circulation. Until the firm has reviewed the underlying studies, it should not assume that merely finding studies testing the same substance necessarily constitutes adequate substantiation.

Example 8: A firm wishes to market its mineral supplement by using a claim that "studies show that the mineral supplement promotes "Z." The firm has the results of a randomized, double blind, placebo-controlled study conducted in a foreign country showing that a similar product did, in fact, promote "Z," although the study indicates that the foreign study subjects had low blood levels of the mineral at the start of the study. The general U.S. population does not have such a mineral deficiency. Although this study is a high quality study, it may not be adequate to substantiate a claim about the product's use intended for consumers in the United States because it is confounded by the initial abnormal blood levels of the mineral. Since the study is not designed to answer the question of whether the effect would be expected to occur in subjects with normal blood levels of the mineral, the study may not be adequate evidence to substantiate the claim.

Example 9: A firm is marketing a product specifically to reduce nervousness during stressful everyday situations, such as public speaking. The firm has results from several small studies demonstrating that the product will raise blood levels of a chemical that is

well known to relax people in stressful situations. The firm also has two small, randomized, placebo-controlled studies showing that its product positively affected measurable indices of anxiety in people placed in stressful situations, including public speaking. These studies may be adequate evidence to support the product claims. Although the studies may be small in terms of the numbers of subjects tested, they are well-designed studies that resulted in statistically significant positive results that are consistent with the larger body of scientific evidence related to stress anxiety in public situations.

Example 10: A firm has developed a product to improve memory and cognitive ability and intends to market the product to parents for their school-aged children. The firm has several high quality clinical studies that examined the ingredient's effect in elderly people with diagnosed, age-related memory problems. These studies alone would likely not be adequate substantiation for a claim about memory improvement in young children because the patient population (elderly people with memory problems) is completely different from the intended population (children) in the claim.

Example 11: A dietary supplement firm is marketing an iron dietary supplement with the claim that the dietary supplement is to correct iron-deficiency anemia in the 10% of menstruating women with menorrhagia. The firm has not studied the product in this population of women directly, but has assembled and carefully reviewed the scientific literature of studies that have investigated the oral dosage and intestinal absorption of the type of iron used in its product, both in the population in general, and in women that match the target consumer of the product. Using this information, the firm has formulated its product to provide the amount of bioavailable iron needed by this population of women. Even though the firm did not test its product directly, it has examined the existing scientific literature and has formulated the product in a manner to meet the standards of products shown effective in well-controlled studies. There is, therefore, a basis to conclude that the existing literature is applicable to the product in the target population in which it is intended. Thus, the firm's claim that the product will be useful in correcting iron-deficiency anemia would likely be adequately substantiated.

Example 12: A firm claims that its multi-vitamin, multi-mineral product "provides the vitamins and minerals needed to promote good health and wellness." In this case, the firm's claim is likely substantiated by the substantial scientific evidence showing that certain vitamins and minerals are essential nutrients that are needed to maintain good health, even though the firm does not have data from specific scientific studies to show that its product results in any measurable outcome. Scientific evidence studying the firm's particular product formulation probably would not be needed for this claim unless the firm were to make claims that its formulation is different or superior to other formulations or confers benefits above and beyond the benefits demonstrated to be associated with adequate intake of vitamins and minerals.

Annexe 7 : Fabricants canadiens de nutraceutiques

Au Québec :

136 entreprises de formulation, production et distribution de nutraceutiques dont
23 entreprises qui utilisent des microalgues

ABK-GASPÉSIE inc.
www.abk.ca/abk

ADVITECH SOLUTIONS INC.
www.advitech.com

ALIKSIR INC.
www.aliksir.com/

ALPHA-BIOTECH 2000 Inc.**

ALGATEK INC ** (Spiruline et probablement
Axtasanthine)

ALSI COMPAGNIE LTÉE**

AQUA-BIOKEM BSL
www.abk.ca/abk

ART AU QUOTIDIEN DIFFUSION INC. (L')

AROMATIK
www.aromatik.ca

AROPLANTES

ARMOIRE AUX HERBES
http://biodynamie.qc.ca/biodynamie/index.nsf/Documents/Armoire_aux_Herbes

AROMA ENR. **

ATRIUM BIOTECHNOLOGIES inc.: Pure encapsulations (Spiruline et Haematococcus*) Atrium est une filiale privée des Laboratoires Aeterna inc et elle comprend les filiales suivantes : Unipex, Chimiray, Interchemical, Pure encapsulations et MultiChem
www.atrium-bio.com

ATSENTI INC.

BARALEX
www.baralex.com

BIOARTIFICIEL GEL TECHNOLOGIES (BAGTECH) INC.

BIOENVELOP AGRO INC.
www.bioenvelop.com

BIOFORCE CANADA inc. (Production et distribution de produits A.Vogel)
www.bioforce.ca

BIODROGA INC.

BIO-K INTERNATIONAL inc.(Probiotiques)
www.biokplus.com

BIO LONRECO INC.
www.dr-reckeweg.ca

BIOMEDIC**

BIONUTRITION (Spiruline, Dunaliella et astaxanthine*)
<http://www.biosuperfood.com/f-entreprise.html>

BIOPHARMACOPAE
www.biopharmacopae.com/

BIOSCAN CONTINENTAL INC.

BIOTECH LAB. INC.

BIOXEM INC.
www.agrumax.com

BIOZYMES INC.

CALDWELL BIO FERMENTATION inc.
www.biolacto.com

CANACURE
www.canacure.com/fr/

CANADA CHANGMIN LTÉE

CANOLIO
www.canolio.com

CEDAROME CANADA INC.

CÈDRES SAPIN VERT

CÈDRES RECYCLÉS DE LA MAURICIE INC. (LES)

CHANGMIN NUTRACEUTIQUE inc.
www.canadachangmin.com

CITRUS TECHNOLOGIES inc.
www.citrusgroup.com

CORPORATION CRYOLAB
Corporation Cryolab

DERMOLAB ltée.
www.dermolab.com

DOLISOS CANADA INC.

DUNDEE ORIGINAL
www.huiledemeu.com

EFAMOL NUTRACEUTIQUES (NS)**

ENTREPRISES D'HUILES ESSENTIELLES THÉRIault INC. (LES)

ENTREPRISES IMPORTFAB INC.

ESSENCES BOISVERT INC. (LES)

EXTRA CÈDRES INC.

FLORDYCIÉ INC.

FORMULEX CANADA INC. **

GASPÉ SENS INC.

GASPÉSIA PHARMA INC. extraits de plantes **

GESTION BIO-PLEX ENR.(Formulateur, distributeur et importateur de plus de 400 types de plantes médicinales)
<http://www3.sympatico.ca/bio.plex/>

GOMMES DE SAPIN DU QUÉBEC INC. (LES)

GOURMET NUTRITION (Chlorelle et spiruline *) www.gourmetfb.com

GROUPE ESSAIM INC. QC.
www.pharmessor.ca

HARMONIUM INTERNATIONAL inc.
Produits probiotiques www.harmonium-intl.com

HÉLIOLAB INC.

HERBAGES NORMEX LTÉE**

HERBARISTERIE LA CLEF DES CHAMPS INC.**

HERBES UNIVERSELLES INC.**

HERBES PURES J.B. LTÉE (LES)

HERBON NATURALS INC (BC)
www.herbon.com

HOLONORM

HOMÉOCAN INC.

HOMEODEL INC.

HORIZON SANTÉ INTERNATIONAL INC.

HUILES ESSENTIELLES SOLARÔME INC. (LES)

HUILES ESSENTIELLES BRANCHEX LTÉE (LES)

HYNAT IMPORTATIONS LTÉE

IMMUNOTEC RESEARCH INC.
www.immunotec.com/

IMPORTATIONS HERBASANTÉ INC. (LES)**

INSTITUT ROSELL LALLEMAND
www.lallemand.com

ISM BIOPOLYMER inc.
www.ismbiopolymer.com

JACQUELIN LACHANCE

JEFO NUTRITION inc.
www.jefo.ca

KANZYMEDIPHARM (Spiruline*)
<http://www.kanzygroup.com/>

KITSUNE FOODS INC.
<http://www.fireballgel.com/>

LABORATOIRES ASANA**

LABORATOIRE ATLAS INC.

LABORATOIRES BIO-SANTÉ inc.
www.bio-santé.com

LABORATOIRES CAPSULAB INC.** et JL 2000 INC. (marque de commercialisation : Naturella)

LABORATOIRES COLBA inc. (spiruline*)
www.racinedevie.com

LABORATOIRES CONFAB INC. Saint-Hubert, Qc. (Glucosamine)
www.confab.ca

LABORATOIRES CORTUNON INC.
(Élaboration et mise en marché des produits)

LABORATOIRES DU SAINT-LAURENT E.H. Itée et NATURATEC
www.extracherbs.com

LABORATOIRE DU-VAR INC.

LABORATOIRES LALCO inc. (spiruline*)
www.lalco.ca

LABORATOIRES ODAN LTÉE
www.odanlab.com/

LABORATOIRES SWISSE INC. (LES) sous les marques PNS-Therapy et Swisse (Spiruline*)

LABORATOIRES RIVA INC. **

LABORATOIRES VACHON inc. (spiruline*)
www.leslaboratoiresvachon.com

LAND ART
www.landart.qc.ca

LE GROUPE JOHANNE VERDON : filiale BIO-ACTIF inc. produits: Bio-Sirum-Énergie et phytobec (ont comme ingrédient la spiruline*) www.bio-actif.com

LES LABORATOIRES FLORACEUTIC INC.
www.floraceutic.com

LES PRODUITS NATURELS LEBLANC INC. www.pnleblanc.com

LES LABORATOIRES NICAR INC.
(Probiotiques en comprimés)

LÉO DÉSILETS - MAÎTRE HERBORISTE (Spiruline*)
www.leo-desilets.com

LYO-SAN INC.

MACCO ORGANIQUES INC.
www.macco.ca

MAGISTRAL BIOTECH inc. (Spiruline*)
www.magistralbiotech.com

MARINARD BIOTECH
www.marinard.com

MATOL BOTANIQUE INTERNATIONAL Itée
www.matol.com

MAYAKA INTERNATIONAL inc. (Spiruline*)
www.mayaka.com

MEDICAGO INC.

NATURISTE JMB INC. (LE) (Spiruline et Chlorelle*)

NELSON NUTRACEUTICAL Canada inc.**

NEPTUNE TECHNOLOGIES & BIORESSOURCES INC.
www.neptunebiotech.com

NEXCELL BIOSCIENCES INC.**

NEW ROOTS HERBAL (Spiruline et Chlorelle*) www.newrootsherbal.com

NOVARTIS PHARMA CANADA INC
www.pharma.ca.novartis.com

NUTREL TECHNOLOGIES INC. Filiale de Solae Co. avec Dupont et Bunge (soya)

NUTRIAFRICA NUTRACEUTIQUE inc.
www.nutriafrica.net

NUTRISANA INC.

NUTRITECK-ULTRA BIO-LOGICS INC. (Formulateur et distribution au Canada des Spiruline*) www.nutriteck.com

NUTRIPUR (Spiruline*)
www.nutripur.com

OPTION BIOTECH marque de produit :
OasisBiotech www.optionbiotech.com

PANAXCO INC.

PHARMASCIENCE INC.
www.pharmascience.com/

PHARMAVIGOR
www.pharmavigor.com

PHARMETICS INC. (Spiruline*)
www.pharmetics.com

PRAXILAB

PHYTOCURE (Spiruline*)
www.phytocure.ca

PINEAULT NUTRACEUTIQUE Itée. (Série
des produits AFRA) www.afra400.com

PRO-AMIGO INTERNATIONAL inc.**
www.pro-amigo.com

PRODUITS ALIMENTAIRES DE QUALITÉ
LAND ART inc. www.landart.qc.ca

PRODUITS BARIATRIX INTERNATIONAL
INC. www.bariatrx.com

PRODUITS FORESTIERS S.L. CLOUTIER
INC.

PRODUITS PHARMACEUTIQUES
BENARTH INC. (LES)

PURECELL TECHNOLOGIES INC.

RECHERCHE GOVITALITYGO LTÉE.
(Spiruline, dunaliella et haematococcus*)
www.govitalitygo.com

RECHERCHE IMMUNOTEC
LTD.(Spiruline* ingrédient additionnel)
www.immunotec.com/

REGIME INDUSTRIES LIMITED**
SUBE-PREBIOTICS INC.**

ROBERTS & FILS (Haematococcus*)
www.robertetfils.com

SANTÉ NATURELLE Adrien Gagnon Itée.
(Spiruline *) <http://www.adriengagnon.com>

SANTREL INTERNATIONAL produit :Aloex
www.santrel.com

TECHNOLOGIES BIOLACTIFS INC.

TRANS-HERBE INC.

Reste du Canada :

174 entreprises de formulation, production et distribution de nutraceutiques dont
19 entreprises qui utilisent des microalgues.

Acadian Seaplants Limited (NS)
www.acadianseaplants.com/

Acatris Inc. (ON)(est une filiale de
l'entreprise danoise Royal Schouten Group)
www.acatris.com

A & E Fine Foods (ON) (cereals et grains
organiques) www.aefinefoods.com

Accucaps Industries Ltd. (ON)
www.accucaps.com/

Accurex Health Care Manufacturing Inc.**

Allmax Nutrition (ON)
www.allmaxnutrition.com

Alta Naturals Herbs&Supplements Ltd. (BC)
www.alta-natural.com

Amano Foods Limited (BC) (soya) www.amanofoods.com	Bona Dea Ltd. (ON) www.bona-dea.com
Anandamaya Inc. (AB) www.astraya.com	Botanical Specialties (BC) www.bowenlandbotanicals.com/
Ardefen Inc. (NS) www.ardefen.com	Bowen Island Botanicals Ltd (BC) www.bowenlandbotanicals.com
Ascenta Health Ltd. (NS) www.ascentahealth.com	Brookside Foods (BC) Chocolate www.brooksidefoods.com
Ashbury Biologicals Inc.(ON) www.ashburybio.com/	BSF Canada (ON) www.basf.com
Asian Herbs & Nutritionals (BC)**	Burcon NutraScience Corporation (BC) http://www.burcon.ca/
Artisan Bake Shoppe Ltd. (BC) www.artisanbakers.org	Canadian Emu Oil Sask. Ltd. (SK) www.emu.ca/
Atlantic Marine Products, Inc. (NF) www.omegaplus.nf.ca/	Canadian Inovatech Inc. (BC) aliments fonctionnels http://www.inovatech.com
Bartek Ingredients Inc.(ON) www.bartek.ca	Canadian Kelp Resources, Ltd. (BC) (macroalgues) www.canadiankelp.com
Ben-Don Innovations Inc (SK)	Canada Seabuckthorn Enterprises Limited (BC) www.seabuckthorn.com
Beta-Bioproducts Inc.SK) www.betabioproducts.com	Canadian Phytopharmaceuticals Corporation (BC) www.canphyto.com/
Bio-Enzyme Corporation (BC)(Spiruline et Chlorelle*) www.bioenzyme.ca/	CanCap Pharmaceutical Ltd. (BC) www.cancappharma.com
Biosa Canada Inc. (ON) www.vitabiosa.ca	Cantox Health Sciences International (ON) www.cantox.com/
Bio+Sources (ON) (Chlorelle*) www.biochlorella.com	Caprice Pharmaceutical Agencies Ltd. (ON) www.alternativecare.ca/
Bioriginal Food & Science Corp. (SK) www.bioriginal.com/	Cariboo Ginseng (BC) www.caribooginseng.com
Biotechnologies Explorer Canada Inc. (Glucosamine)**	Carolwood Corporation Inc. (ON) www.msm.com
Blue Hills Herb Farm Inc. (SK) production d'Echinacea**	Ceapro Inc. (AB) www.ceapro.com
Bodhi Organic Foods Inc. (BC) nutribars www.bodhibar.com	Celex Laboratories Inc.(BC) (Spiruline*) www.celexlaboratories.com/
Boehringer Ingelheim (Canada) Ltd (ON) www.boehringer-ingelheim.ca	

Cevena Bioproducts Inc.(AB) Viscofiber®
<http://www.cevena.com/>

Chai-Na-Ta Corporation (BC) Gingseng
www.chainata.com/

Cyto-Matrix Inc. (ON)
www.cyto-matrix.com

CV Technologies Inc. (AB)
www.cvtechnologies.com

Cognis Canada Corp (ON)
www.cognis.com

Coulee Pickings Ltd. (SK)
www.couleepickings.com

Country Connections Inc. (MB)
www.musclermist.ca

Country Fresh Enterprises Inc.(BC)**

Creative Nutrition Canada Corp. (ON)

DermaMed (NTP) Inc. (BC) (fabrication et distribution en 4,500 magasins d'aliments et en 1,500 pharmacies) www.dermamed.com

Diversified Nutrition Lifestyle (Canada) Ltd.
Aloe Vera **

Dragon's Eye Nursery(BC)**

Echo Oils Inc.(BC)**

Eclectic Echinacea Inc. (BC)**

Ecom Manufacturing Corporation (ON)
www.ecomcanada.com/

Elite Pharmacaps Inc.**

Emerald Seed Products Ltd. (SK)**

Emu Oil Wonders Inc. (AB)

Enzymatic Therapy Canada Inc. (BC)
www.enzymaticcanada.com

Enerex Botanicals Ltd. (BC) (Spiruline*)
www.enerex.ca

EnWave Corporation (BC)**

E3 Emu Products (AB)
www.e3emuproducts.com

Essential Nature Aromatherapy (BC)
www.purepotentwow.com

Fairway Markets (BC)**

Ferlow Botanicals (BC)
www.ferlowbotanicals.com

Flash-5 Energy Foods (BC) nutribars
www.flash-5.com

Flora Manufacturing & Distributing Ltd (BC)
www.florahealth.com

Flying - Two Holdings Ltd. (BC)
www.bcherbs.net/

Frederick's Honey Farm (BC)**

Fresh Hemp Foods Ltd. (MB)
www.manitobaharvest.com

FONA (Flavors of North America) (ON)
www.fonacanada.com

Forbes medi-tech inc.(BC)
www.forbesmedi.com

Fortius Natural Nutrition (PEI)
www.fortius.ca/

Fytokem Products Inc. (SK)
www.fytokem.com

F.P.I. Sales (North American) Inc. (BC)
www.fpi-america.com/

GCI Nutirents Canada Inc.
www.gcinutrients.com/

Gelda Scientific Inc (ON)
www.gelda.com

Général Nutrition Canada Inc.**
www.newbusinesscentre.com

Genuine Health (avant EHN INC.)ON. (Spiruline*)
www.genuinehealth.com

GFR Pharma Ltd. (BC)
www.gfrpharma.com

Happy Planet Foods (BC)
www.happyplanet.com/

Health First Products Inc (BC)**
International Chitin Productions Inc. (BC)
www.intlchitin.com/

Healthco Canada (BC)
www.healthcocanada.com

Healthy Body Services Inc., Toronto, ON**

Hemp Oil Canada Inc.(MB)
www.hempoilcan.com

Hermann Laue Spice Co. Inc.(ON)
www.helacanada.com/

Herbal Magic Systems International Inc
d'Ontario a été vendu à Trivest Partners
USA www.herbalmagic.ca/

Herbal Touch, The (BC)
www.theherbaltouch.com

InfraReady Products Inc. (SK)
<http://www.infrareadyproducts.com/>

Inovatech Bio-Products (BC)
www.inovatechbio.com/

Inno-Vite Inc. (ON) (Spiruline*)
www.inno-vite.com

Jaapharm Canada Inc**

JAMP Pharma Corp. (BC)
www.healthoptimal.com

KGK Synergize Inc. (ON)
<http://www.kgksynergize.com/>

Kamloops Ginseng Co. Ltd.(BC)**

Kettle Valley Dried Fruits Ltd (BC)
www.kettlevalley.net/

KicX Nutrition Inc. (ON)
www.kicxnutrition.com

Kidd Bros. Produce Ltd. (BC) produits de
miel

Kripps Pharmacy (BC) (Chlorelle*)
www.krippspharmacy.com/

Laboratoires Jamieson Division NutriCorp
(ON) (Spiruline et Chlorelle*)
Filiales : Wampole et Quest de PanGeo
Pharma (acheté en 2003)
www.jamiesonvitamins.com

[Life force nutri-blends canada inc.](http://www.life-force-nutri-blends-canada-inc.com) Ou Life
Force International Kelowna (BC)
(Spiruline**) LàKota www.lakotaherbs.com

Lifemax Natural Foods Distribution Inc.(ON)

Life Crystals Canada Inc. (BC)**

Life styles Global Network(ON)
www.lifestyles.net

Living Synergy Inc. (BC) cartilage de requin
www.livingsynergy.com

Longson Relaxation Innovations (BC)**

Lonewolf Native Plant and Herb Farm (SK)
www.lonewolfherbdir.com

Low-Carb Centre Bakery (BC)
www.lowcarbcentre.com/

Manitoba Harvest Hemp Foods & Oils
(Manitoba) www.manitobaharvest.com

Marine Bioproducts International (BC)
macroalgues www.marbio.com/

Mekiwin Corporation (MB)

MET Holdings Inc. (SK)
www.mangoxan.ca www.premierlabs.ca

Microherb (PÉ)**

Miral International Inc. (ON)
www.miral.ca/

Natural Factors (BC)
www.naturalfactors.com

Naka Herbs & Vitamins (ON) (Spiruline et
Chlorelle*) www.nakaherbs.com/

Natunola Health Inc. (ON)
www.natunola.com/

Nature's Nutraceuticals Inc. (AB) Acides
linoléiques et huiles lin
www.naturesnutraoils.com

Naturally Nova Scotia Health Products Limited (NS) www.naturallynovascotia.com

Naturika Products Inc. (BC)**

North American Reishi Ltd. (BC) extraits de champignons
www.nammex.com/

Northern Seas Products (BC)
www.northern-seas.com/

Nu-life nutrition Ltd. (Spiruline *)
www.nulifevitamins.com

NutraLab Canada (ON) (Formulateur et distributeur des ingrédients dont Chlorelle*)
<http://nutralab.ca/company.asp>

Nutravite (BC)
www.nutravite.com

Nutri-Dyn Products Ltd. (AB) (Chlorelle*)
www.professionalhealthproducts.com

Nutri-Nation Functional Foods (BC) nutribars
www.nutri-nation.com/

Ocean Nutrition (NS) (Chlorelle*)
www.ocean-nutrition.com/

Omega+ Inc. (NF)
www.omegaplus.nf.ca/orsoq.htm

Omega Alpha Pharmaceuticals (ON)
www.omega-alpha-pharmaceuticals.com

Omega Biotech Corporation (BC)
www.omegabitech.com

Organika Health Products Inc.(BC)
(Spiruline et Chlorelle) www.organika.com/

Omega Nutrition Canada Inc.
www.omeganutrition.com/

Origin Biomedicinals Inc. (NS)
www.originbiomed.com

Physicorp Ltd. (AB)
www.physicorp.com

Prairie Naturals (BC) (Spiruline et Chlorelle*)
www.uptownhealth.com/prairienaturals/home.html

Puresource Natural Products (ON)
(Spiruline*)

Quest Vitamins (BC) (Laboratoires Jamieson et Wampole)
www.questvitamins.com

Rainey Ginseng Products Inc (ON).
www.raineyginseng.com

Rhema Industries Ltd (BC)
www.rhemaindustries.com

Sangster's Health Food Stores (SK)
(Chlorelle et Spiruline*)www.sangsters.com/

Seabuckthorn International Inc. (BC)
www.seabuckthorn.com

SemBioSys Genetics Inc. (AB)
www.goodmedia.com

Sisu Enterprises Co Inc. (BC)
www.sisu.com

Songlines Health Products (BC)**

So Soya + Inc. (ON)
www.sosoyaplus.com

Source of Life**

Soya World Inc. (BC)**

Sunmore Healthtech Ltd.(BC)
www.sunmoreginseng.com

Sunshine Bay Botanicals (BC)
www.hpcommunityforest.org/botanicals/intro.html

Sunny Wave International (ON)**

Swiss Herbal Remedies Ltd. (ON)
(Spiruline *) www.swissherbal.ca

Taiga BioActives Inc (SK)
www.taigabioactives.com/

Terra Botanica (BC)
www.terrabotanica.com

The Flax Council of Canada (Manitoba)
www.flaxcouncil.ca

The Holista Health Corporation (BC)
www.holista.com

Trophic Canada Ltd. (BC)
www.trophic.net/

Tuscan Farm Gardens (BC)
www.tuscanfarmgardens.com/

Ultracare Laboratories Inc.(BC)
www.ultracarelabs.com

Vaccinium Technologies Inc. (NB)
production des bleuets **

Vidamar Holdings Corp. Basic Sports
Nutrition (BC)**

Vita Health Products Inc. (ON)
<http://www.vitahealth.ca>

Vitagold Nutraceutical Inc(BC)**

Vitalus Nutrition (ON)
www.vitalus.com

Vitality Products Inc.(BC)
www.vitality.ca
Viva Pharmaceutical Inc (BC)
www.vivapharm.com

Westcoast Naturals natural health products
(BC) www.westcoastnaturals.com/

Westpoint Distributors Ltd (BC)
www.westpointonline.com

White's Ginseng Farm (BC)
www.ginsengfarm.com/

WN Pharmaceuticals Ltd. (BC)
www.webbernaturals.com

(*) Voir liste des producteurs/Formulateurs des microalgues au Canada.

** Il n'a pas de liste de produits

Tableau A.7.1 : Entreprises et produits à base de microalgues au Canada

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Algatek Inc (Québec)	Production primaire de microalgues en photobioréacteur	Pour la nutrition animale et aquacole. Pour l'industrie cosméceutique et nutraceutique.	(pas de liste de produits)					Spiruline et Haematococcus pluvialis (information non disponible)
Atrium Biotechnologies Siège social Québec, Qc. www.atrium-bio.com	Développement, fabrication et commercialisation de produits à valeur ajoutée industries cosmétique, pharmaceutique et nutrition	Commercialisation d'ingrédients actifs et de produits finis de santé et nutrition. Réseau de vente et de commercialisation, dans plus de 35 pays. Fiales : Unipex, Chimiray, Interchemical, Pure encapsulations et MultiChem	Protect & Nourish A.M. 60's et 30's sous le nom de Pure encapsulations Astaxanthin 60's Astaxanthin 120's (Cyanotech corporation)	x			x	Spiruline hawaïenne (en capsules) Comme autre ingrédient additionnel. (Antioxydant et photo protecteur) Astaxanthine de Haematococcus pluvialis (en capsules) (Antioxydant, immunologique et cardiovasculaire)
BioNutrition (Qc) http://www.biosuperfood.com/fr-entreprise.html	Recherche et fabrication de produits de santé naturel	Est distribué dans plus de 150 magasins. Le marketing, distribution et les ventes américaines sont gérés par BioAge LLC des États-Unis.	BSA Formule F1- Base, BSA Formule F2-Centre, BSA Formule F3 -Forte et BSA Combo-F2 Centre et F3 Forte	x			x	Les algues: Spirulina Platensis, Dunaliella, et Astaxanthine provenant d'Haematococcus. Bien-être Anti- vieillissement Minceur Sport et forme
Bio-Enzyme Corporation (BC) www.bioenzyme.ca/	Fabrication et distribution de produits de santé naturel		Green source, Spirulina extract Total Bioenzyme (Chlorelle avec d'autres ingrédients)	x				Spiruline et Chlorelle (en comprimé) Antioxydant Vitamines
Bio+Sources (ON) www.biochlorella.com	Fabrication et distribution de produits de santé naturel		Bio+Chlorella®	x				Chlorelle (en comprimé) Antiinflammatoire, pour le système immunitaire, contre l'anémie et la pression haute

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
<p>Celex Laboratoires Inc. Surrey, BC Chiffre d'affaires: \$1 - 10 million Employés: 10</p>	<p>Fabrication et le marketing de produits de santé.</p>	<p>Spécialisé dans les produits de fines herbes normaux et les produits normaux de santé.</p>	<p>Natural products</p>	x	x		x	<p>Spiruline (en comprimé) (Source de vitamine B12, bêta-carotène et protéines)</p>
<p>Enerex Botanicals Ltd. Burnaby, BC www.enerex.ca</p>	<p>Formulation, production et distribution de suppléments nutritionnels.</p>	<p>Les formulations Enerex sont vendus par tout le Canada</p>	<p>Green RX mélange de produits et Spiruline est un ingrédient additionnel Spiruline est fourni par Cyanootech de Hawaii Sona</p>	x			x	<p>Spiruline pacifica Hawaïen (en poudre) comme ingrédient additionnel (Complexe superalimentaire avec 65% de protéines hautement digestives, vitamine B12 et bêta-carotène)</p>
<p>Genuine Health (avant EHN INC.) Toronto, ON. www.genuinehealth.com</p>	<p>Formulation, production et commercialisation de suppléments nutritionnels</p>	<p>Plus de 35 produits de santé naturels distribués au Canada.</p>	<p>Greens + Greens+ daily detox Greens + Multi+ Greens +kids Transform+ Greens+express energy bars</p>	x			x	<p>Spiruline du Japon et Chlorelle (en comprimé et bars) Détoxification Supplément Énergisant Multivitamines et multiminéraux Antioxydants</p>
<p>Gourmet Nutrition Montréal, Qc www.gourmetfb.com</p>	<p>Formuler, distributeur et fournisseur d'ingrédients pour l'industrie des nutraceutiques, avec des suppléments naturels ou pharmaceutiques</p>	<p>Transformation, embouteillage et étiquetage / distribution importation-exportation de matières premières .</p>	<p>Spiruline Phytovie et Herb-Xtra</p>	x				<p>Chlorelle et Spiruline (en capsules) Ingrédients nutritionnels Spiruline :Énergie, apport élevé en protéines et vitamines. Chlorelle : immunité et protection contre les rayons U.V</p>
<p>Inno-Vite Inc. Concord, On www.inno-vite.com</p>	<p>Producteur de produits de santé naturels.</p>	<p>Produits vendus sous la marque Holistic Horizon</p>	<p>- Intestinal Bulking Agent II</p>					<p>Spiruline (en poudre) comme ingrédient ajouté aux ingrédients de base du produit Nettoyant</p>

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Kanzymedipharm TM Brossard, Qc. http://www.kanzgroup.com/	Manufacturier de produits hautement spécialisés	Produits pour la santé humaine, animal et d'environnement.	BioSpiruline TM	x	x		x	Spiruline (en poudre) Source de protéine entre 65 - 70% et de vitamine B12.
Kripps Pharmacy Vancouver, BC. www.krippspharmacy.com/	Production et distribution des médicaments et suppléments nutritionnels	Distribution national et international	Division de supplément herbal "Japanese Blue-green algae Ultrasonically-lyzed"		x		x	Chlorelle (en poudre) Suppléments herbacé.
Laboratoires Colba Inc. St-Laurent, Qc www.racinedevie.com	La recherche, développement, production et commercialisation	Producteur de produits de santé naturel	La Racine de vie spiruline du pacifique, spiruline avec ginseng, et spi-al-gar	x			x	Spiruline pacifica (en comprimé et ampoule) (trouvé dans la pharmacie Jean Coutu) protège le système immunitaire, réduit le taux de cholestérol et favorise l'absorption des minéraux.
Laboratoire Lalco inc. Montréal, Qc. www.lalco.ca	Production et distribution de suppléments nutritionnels	Plus de 150 produits sous la propre marque et distribue dans les pharmacies à travers le Canada. Certains produits vendus en Italie, Arabie Saoudite et à Taiwan.	Mega Spiruline et Spiruline	x			x	Spiruline hawaïenne (en comprimé) (trouvé dans Jean Coutu) Spiruline standardisée à 60% de protéines. Allégations : Asthénie, fatigue, convalescence, cure d'amincissement et source de bêta- atrofène
Laboratoires Vachon inc. www.leslaboratoiresvachon.com	Production et distribution de suppléments nutritionnels	Réseau de ventes de plus de 1500 thérapeutes au Québec, en Ontario, au Nouveau-Brunswick et dans l'Ouest canadien.	Ultra Spiruline avec Ginseng Spirumax avec Ginseng, Chlorophylle	x			x	Spiruline (en capsules et liquide) Supplément alimentaire
Le Groupe Johanne Verdon, filiale Bio-Actif Inc. Montréal, Qc. www.bio-actif.com	Production et distribution de produits cosmétiques et de suppléments nutritionnels	Beauté Johanne Verdon ^M c et Bio-Actif	produits: Bio-Sirum-Énergie et phytobec	x			x	Spiruline (en comprimé) (comme ingrédient additionnel) Supplément alimentaire : vitamines minéraux et nutriments
Le naturiste Jean-Marc Brunet	La recherche,	Producteur et distributeur	Le naturiste (160 magasins	x			x	Spiruline pacifica et

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Montréal, Qc. www.jmb-lenaturiste.com	développement, production et commercialisation de	de produits naturels (plus de 300 produits)	au Québec)					Spiruline et Chlorelle (en comprimés) Pas d'information additionnel
Les Laboratoires Jamieson Toronto, On. www.jamiesonvitamins.com	Recherche, fabrication, emballage, et distribution de produits de santé naturel Jamieson	Distribution de plus de 350 produits dans plus de 40 pays	Spiruline et Power vitamines pour hommes(Chlorelle comme ingrédient additionnel)	x	x	x	x	Spiruline et Chlorelle (en comprimés) contribue au bon fonctionnement du système immunitaire, à la régulation du taux de cholestérol et à l'assimilation des minéraux
Les laboratoires suisse inc. (Qc) (Pas de page web)		Produits vendus sous les marques PNS-Therapy et Suisse	Vitaspur (Al+Spiruline) Vitaspure (Spiruline)	x	x		x	Spiruline (en capsules et comprimés)
Léo Désilets - Maître Herboriste Scotstown, Qc. www.leo-desilets.com	Production et distribution de produits de santé naturel	Plus de 300 solutions santé vendues dans plus de 400 boutiques et comptoirs d'aliments naturels	Spiruline Spiruline et Chêne-Marin	x			x	Spiruline (en gélules) Coupe-faim Anti-fatigue Supplément alimentaire riche en protéines, vitamines et minéraux.
Life force International Kelowna, BC Life.force.nutri-blends.canada.inc	Production et distribution de produits de santé naturel	Distribution aux USA, Australie et Nouvelle Zélande.	TrueGreens Spiruline	x			x	Spiruline (en comprimés) Supplément nutritionnel
Magistral Biotech Inc. Blainville, Qc. www.magistralbiotech.com	Développer des produits de santé naturels	Développement, fabrication et mise en marché de produits de santé naturel	Provitor tonique avec ginseng, spiruline et ginkgo biloba.	x			x	Spiruline (en liquide, comme autre ingrédient additionnel) Minéraux Anti fatigue Energisant
Makaya International Inc. Montréal, Qc. http://www.mayaka.com/	Producteur de produits de santé naturel	Expérience en phytothérapie	Makaya Spiruline	x			x	Spiruline (en tisane, capsules et liquide) Ralentit les effets du vieillissement Stimule l'énergie physique Soulage la dépression et le stress Revitalise Aide à l'absorption

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Naka Herbs & Vitamins Toronto, On. www.naka herbs.com/	Formulation, production et distribution des suppléments nutritionnels	Distribution internationale	Naka Vital-Greens	x			x	Stimule le système immunitaire Prévient les problèmes de glande thyroïde Spiruline et Chlorelle en liquide (comme ingrédients additionnels) Détoxification Antioxydant Nutriments
New Roots Herbal Inc Beaconsfield, Qc. http://www.newrootsherbal.com/	Producteur de produits de santé naturels	Expérience dans le secteur de aliment naturels	Simply spiruline New Roots Herbal (Spiruline et Chlorelle) Freedom Greens(spiruline et Chlorelle)	x			x	(Spiruline et Chlorelle en capsules) Spiruline (en poudre, capsules et comprimés) Nutriments, Protéines, minéraux et B12
Nu-Life Nutrition Ltd. Leek Crescent, Richmond Hill, On. www.nulifevitamins.com	Reputation dans la formulation, développement et la fabrication des suppléments nutritionnels	Producteur de produits de santé naturels	Nu-Greens Spiruline	x			x	Spiruline pacifique provenant d'Hawaï (en poudre, comprimé et gélule) (produit trouvé chez Alina) antioxydants, vitamines et minéraux stimulation de la détoxification cellular
Nutralab Canada (ON) http://nutrallab.ca/company.asp	Formulateur , distributeur de produits finis et d'ingrédients		Chlorelle 15%G.F.					Chlorelle Pas d'information additionnelle
Nutri-Dyn Products Ltd. Calgary, (Alberta) www.professionalhealthproducts.com	Producteur et distribution de vitamines et minéraux.	Production de Professional Health Products ^(TM)	Prochlorella	x			x	Chlorelle (en comprimé) Pas d'information additionnelle
Nutripur (Qc) www.nutripur.com	Fabrication de produits médicinaux traditionnels à base d'herbes et supplément nutritionnel	Gamme qui compte plus de vingt-cinq produits.	Phyto-Slim (spiruline avec ananas, macroalgue fucus et thé vert)					Spiruline (en ampoules comme autre ingrédient additionnel) Perte de poids. Active le métabolisme Action diurétique. Nutritive et énergétique.

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Nutriteck-ultra bio-logics inc. (Qc) www.nutriteck.com	Fabrication et distribution des suppléments alimentaires		Nutriteck pure spiruline					Spiruline (en poudre (225gr))
Ocean Nutrition Bedford, NS www.ocean-nutrition.com/ Employés : 30 en 1998 à 140 en 2000	chef de file du secteur des nutraceutiques. Exploite une usine à Mulgrave et de nouveaux laboratoires à Halifax, et son siège social est situé à Bedford.	Technologie exclusive de raffinage et de concentration de produits oméga-3 de poisson. Production de glucosamine de crevettes. A la recherche de nouveaux composés actifs extraits d'organismes marins.	Respondin™	x				Chlorelle pyrenoidosa (en comprimé) Système Immunologique Modulateur Immunologique Améliorateur de la santé
Organika Health Products Inc. Richmond, BC. www.organika.com/	Producteur et distributeur de produits de santé naturel	Plus de 450 suppléments, vitamines et herbes commercialisés sous le nom de Organika®	Organika® Chlorelle et Organika® Spiruline	x			x	Spiruline et Chlorelle (en comprimé) Chlorelle : Vitamines et minéraux Spiruline : Protéines et trace de vitamines et minéraux
Pharmetics Inc Laval, Qc. www.pharmetics.com	Production, distribution de suppléments nutritionnels	Vendus partout au Canada sous la marque maison	Produits vendus sous la marque maison Spiruline et Spiruline Gingseng	x			x	Spiruline (en comprimés) Pas d'information additionnelle
Phytocure (Qc) www.phytocure.ca	Formulateur et distributeur de produits de santé naturel		Complexe Tonus (Spiruline avec ginseng, gingembre et kola)	x				Spiruline (comme autre ingrédient additionnel) Intensifie le degré de concentration, prévient l'anémie, renforce le système immunitaire, comble les manques nutritionnels et combat la fatigue chronique.
Prairie Naturals (BC) www.uptownhealth.com/prairienatural/home.html	Formulateur et distributeur de produits de santé naturel	Distribution au Canada	Greens-Force™					Spiruline et Chlorelle (en poudre et avec autres ingrédients additionnels) Antioxydant, renforce le système immunitaire, le système musculaire.
Puresource Natural Products Guelph, ON	Fabricant et distributeur et de produits naturels	Services de fabrication à façon; se spécialise dans	Herbal Select	x			x	Spiruline maxima (en comprimé)

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *				Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	R	
Chiffre d'affaires: \$10 - 50 million Employés: 125		les suppléments nutritionnels et à base d'herbes médicinales, et dans les substituts alimentaires						Pas d'information détaillée supplément nutritionnel et Antiallergique
Recherche GoVitalityGo Ltée. (Qc) www.govitalitygo.com	R & D spécialisée en produits nutraceutiques.		GOAlgaeGO (Spiruline, astaxanthine et Dunaliella salina et extraits de Guarana et de Citrus Aurentium.					Spiruline, Dunaliella et astaxanthine (probablement d'haematococcus) en capsules. Énergie et endurance
Recherche Immunotec ltée. Vaudreuil-Dorion, Qc. http://www.immunotec.biz/	Entreprise de recherche fondamentale	Producteur de produits de santé naturel	XtraSharp ^{MD} Inclut Spiruline dans son composition	x			x	Spiruline (en liquide et comme autre ingrédient additionnel) Énergisant Vitamines et minéraux
Roberts & Fils Montréal, Qc. www.roberteffils.com	Développement s et commercialisation des produits thérapeutiques naturels	Distribution sur tout le territoire canadien des gammes de produits thérapeutiques naturels.	Les Aliments Thérapeutiques : Ocean+ Omega 3 avec le produit ZANTHIN® utilisé dans leur formulation	x			x	Haematococcus pluvialis (en capsules, comme autre ingrédient additionnel) Antioxydant
Santé Naturelle Adrien Gagnon ltée. La Prairie, Qc. http://www.adriengagnon.com	Développement des produits de santé naturel	Fabrication et distribution de produits naturels	Adrien Gagnon -Spiruline -Suppléments Super Energex (mélange de Ginseng, spiruline Colanitida, Fo-Ti et autres) -Phytothérapie Spiruline Antiox (Astaxanthine)	x			x	Spiruline maxima (en capsules et comprimé) Fortifiant, Revitalisant, Reminéralisant. Énergisant. Améliore la vitalité et l'immunité générale. Prévient et comble les carences nutritionnelles Astaxanthine d'Haematococcus pluvialis (en capsules) Antioxydant
Sangster's Health Food Stores Saskatoon, SK www.sangsters.com/	Production et distribution de produits de santé naturel	Plus de 300 produits, pour les sportifs vendus dans leurs 50 magasins Sangster's	Sangster's Green-Mega Sangster's Multi-vitamin Vege	x			x	Chlorelle et Spiruline (en comprimés et capsules) comme ingrédient additionnel Supplément nutritionnel, énergisant, détoxifiant et aide à la perte de poids.

Organisation	Nature de l'entreprise	Activités courantes	Nom du produit	Secteurs de production *			Type d'algues**, forme de produits*** et allégation
				A	N	M	
Swiss Herbal Ca. Toronto, On. www.swissherbal.ca	Producteur de produits de santé naturel	Commercialisation de plus de 550 produits sous l'étiquette de Swiss Sources Naturelles	Spiruline Swiss sources naturelles et Slim essentiel est le nom du produit qui contient des spirulines		x		Multivitaminique et minéraux. Spiruline (en comprimé) (produit trouvé chez Alina) Multivitaminique et minéraux. Antioxydants Amaigrissant

* **A** (aliments et ingrédients pour aliments) **N**(suppléments nutritifs) **M** (produits médicaux) **R** (recherche)

** Les producteurs n'identifient pas nécessairement leur produit en utilisant le nom scientifique de l'algue. Ainsi on retrouve que l'*Arthrospira platensis* ou *Spiruline platensis* est vendue comme Spiruline pacifica ou hawaïenne en dépendant de son lieu d'origine ou de culture.

*** Les produits fabriqués peuvent contenir les microalgues en état pur ou mélangées avec d'autres ingrédients.

Annexe 8 : Distributeurs de nutraceutiques au Canada

Au Québec :

100 entreprises distributrices de nutraceutiques (la liste exclue celle de l'annexe précédente)

AGENCE ANDRÉ BOILEAU ET ASSOCIÉS inc.

AGENCE DE VENTE JEAN-PIERRE BOYER inc.

AGENGES PRODEX enr.

ALBI IMPORTS LTD.**

ALGART INTERNATIONAL inc. (spiruline comme ingrédient) www.algartexpo.com

APOTEX inc.
www.apotex.ca

AURYS DISTRIBUTION Distribution des produits LES 3 CHÊNES (entreprise française)

AVENTIS PHARMA inc.
www.aventis.com

AXCAN PHARMA inc.
www.axcan.com

AXE-NUTRITION-SANTÉ ltée
ans@videotron.ca

ACADÉMIE DU MIEUX-ÊTRE CORPOREL INC.

BÉDARD inc.
bedper@globetrotter.net

BERLEX Canada inc.
www.berlex.ca

BIO-ACTIF INC. (distribution des marques Johanne Verdon, Phytobec, Flex-O-Flex et Foratol)

BIOCÉAN**

BIODROGA INC. (filiale de Görlich Pharma International, une entreprise allemande)

BIO-LACTIC**

BIO LONRECO INC.**

BIO-SOURCES**

BOIRON CANADA INC. (entreprise française au Canada, distribution de plus de 1500 produits)

C.G. EXPORT ET SERVICES inc.
cgexport@iquebec.com

COMPAGNIE DE PRODUITS CHIMIQUES TRADEX ltée.**

CORPORATION MCKESSON CANADA
www.mckesson.ca

COURTIERS DE L'EST D.S.D. inc.

CUSTOM NUTRITIONAL inc.

DISTRIBUTION ATHLÉTIQUE ET NUTRITION D.A.N. inc.
admin@distdan.com

DISTRIBUTION BIOBASITinc

DISTRIBUTION FREGA inc.
info@leslaboratoiresvachon.com

DISTRIBUTION LERNO INTERNATIONAL inc. Distributeur de l'entreprise américaine Awareness life (Spiruline et Dunaliella* nom du produit : Daily complete)
www.keepwell.awarenesslife.com/

DISTRIBUTION LE NATUREL (plus de 5000 produits)

DISTRIBUTIONS MULTI-PRO INC. (LES) (plus de 350 produits)

DISTRIBUTION RAPIFLEX inc.
rapiflex@bellnet.ca

DR. MEHRAN PRODUITS DE SOINS inc.
www.lesoin.com

ECOMAX NUTRITION INC. (distribution des produits de la marque de commerce Gaia)

ELI LILLY Canada inc.
www.lilly.ca

EMIR CORPORATION
www.vif.com/users/emircorp

ENTREPRISES RAYMOND LE BEL inc.
(Distributeur Spiruline) Marques : NuLife, TF, Swiss sources naturelles, Natcell, CartCell, Pflüger, Dr. Schuessler, Holistica, Homeocan, Natura beauté santé, etc. www.lenaturel.ca

FAMILIPRIX inc. (Spiruline maxime et Spiruline platensis) www.familiprix.com (section produits naturels)

FERRING PRODUITS PHARMACEUTIQUES inc.**

G.D.K. MARKETING inc.
admin@prodex.qc.ca

GLAXO SMITH KLINE inc.
www.gsk.com

[GLG NATURO-DYNAMIQUE INC.](http://www.glg-naturel.com)

GROUPE DE COMMERCE INTERNATIONAL END-HUBERT inc. www.triomega.ca

GROUPE INTERNATIONAL KANZY inc.
(distribution de bio-Spiruline)
www.kanzygroup.com

GROUPE JEAN COUTU inc.
www.jeancoutu.com

GROUPE PHARMESSOR inc.
www.pharmessor.ca

GROUPE SERVICES PHARMACTIFS inc.
www.pharmactifs.com

GRYD inc.
www.krilex.com

HEEL CANADA INC. Entreprise allemande en Montréal (QC)
<http://www.heel.ca/>

HERBAGES PREMIER CHOIX inc.

HORIZON SANTÉ INTERNATIONAL INC.(QC)
www.horizonsante.com

INSTITUT DE RECHERCHE BIOLOGIQUE YVES PONROY inc. (distribution des produits appelés micro algues grand océan :Chlorelle-Odontella et Spiruline en gélules)
www.ponroycanada.com

J.L. 2000 inc.**

KI NATURE & SANTÉ
www.kinat.com/

KAMI SANTÉ
www.maisonradical.ca/Kami_Sante

LABORATOIRES ANGLO-FRENCH Itée.

LE GROUPE JOHANNE VERDON est distributeur de Spiruline (Cyanotech, Hawaii), Spiruline (AmerMed), Chlorelle et Spiruline (ChlorelleFactor) et Spiruline (Organic Health and Beauty's) (les quatre sont entreprises américaines)

LES COURTIERS K.W. LTÉE **

LUXERA inc.**

MARKETING SANTÉ INTERNATIONAL inc.
pappi@videotron.ca

MATERMER 3000 inc.
www.triomega.ca

MCPMAHON DISTRIBUTEUR PHARMACEUTIQUE inc. www.metro.ca

MÉDI-SÉLECT Itée
www.medi-select.ca

MERCK FROSST
www.merckfrosst.com

MONOL IMPORT EXPORT inc.
www.monol.com

MONT-PHARMA inc.
www.montpharma.ca

MOULINS AUX ABÉNAKIS inc.
www.moulinabenakis.ca

NATKEM**

NATURATEC Itée.
www.naturatec.ca

NATURES SUNSHINE PRODUCTS OF CANADA LIMITED (Distribution de Spiruline produite en USA)

NBS NATURE BEAUTÉ-SANTÉ inc.

NÉOLAB inc.

NUTRI-DIEM inc.
<http://www.nutridiem.com/>

OCEAN PRODUCE INTERNATIONAL
www.oceanproduce.com

PHARMACIES BRUNET
www.brunet.ca/

PHYTO-SANTÉ ltée. (distributeur de Spiruline et de plus de 200 autres produits)
www.phytosanté.com

PREMIERS MONITEURS DU Canada inc.
www.firstmonitor.com

PRODUITS DE SANTÉ DELANO LTÉE

PRODUITS GERBEX inc.
www.gerbex.qc.ca

PROMISING HEALTH inc.

PURECELL**

PURE HERBS J.B. LTD., (Distributeur d'extraits herbeux)
www.pure-herbs.com

QUÉBEC BIODIVERSITÉ**

RECOMMANDATIONS D'AL-SEA DE RÉSEAU À PALLIERS MULTIPLES
www.al-sees.com

ROSE ET ASSOCIÉS COURTIER PHARMACEUTIQUES inc.

ROBPACK inc.
www.robpack.com

ROLMEX INTERNATIONAL inc. (Appartenance au Groupe M. Vachon Inc.) (Production et distribution de Supplémex SAP et Spirumax)
www.rolmexinternational.com

SENTA INC.

SERVIER INC.**

SMITH ET NEPHEW inc.
www.smith-nephew.com

SOCIÉTÉ BRISTOL-MYERS-SQUIBB CANADA
www.bmscanada.com

STANDARD HOMEOPATHIC (CANADA) INC.

SUPPLÉMENTS KAYDRA inc.
Kaydra.qc@sympatico.ca

SURGI-PHARM AVANCÉE inc.
www.surgmed.com

SWISS HERBAL REMEDIES ltée. (distributeur de produits: Swiss sources naturelles, Slim essential est le nom du produit qui contient des spirulines)
www.swissherbal.ca

TRADOCAN INTERNATIONAL
Jd992@juno.com

VENTES MARKETING INTEGRA INC. (produits de soya)

VENTES PRESTIGE inc.**

VIRAGE SANTÉ inc.**

WYETH SOINS DE SANTÉ inc**

Au Canada :

48 entreprises distributeurs de nutraeutiques

AHD International, Intl (entreprise américaine de distribution d'astaxanthine comme ingrédient)
www.ahdintl.com

AIDP Inc., Intl (entreprise américaine de distribution de spiruline comme ingrédient)
www.aidp.com

American Nutrition Inc. (ON) (Distributeur)
www.ani.ca

Aria Orange (AB) (distributeur)
www.ariaorange.com

Avon Canada Inc. (ON) www.avon.ca

Babeskin Bodycare Inc.(BC)
<http://www.babeskin.com>

Church Dwight Ltd. Carter Horner Corp.
Entreprise américaine :Distribution au Canada
www.churchdwright.ca/

Coral Canada Distributeur de produits de Bob Barefoot spécialisé en Calcium
www.coralcanada.com/

CV Technologies Inc.
www.cvtechnologies.com

Douglas Laboratories en Canada : Entreprise américaine qui produit et distribue Chlorelle au Canada.

Enzymatic Therapy, Inc
www.enzy.com/

EverHealth, Kelowna (BC)
www.4everhealth.com

FeelGreat.ca
Distribue par Internet les produits de Earthrise spiruline, herbal select spiruline et Now spiruline et Now Chlorelle.

GlaxoSmithKline Consumer Healthcare Inc.
Entreprise anglaise au Canada
www.gsk.com

Global Health Trax, Inc.: Entreprise américaine de multivitamines au Canada

Gordon Robertson & Associates (ON)**

Gurvey & Berry Co. Ltd. (ON) Distributeur des ingrédients pour l'industrie (Spiruline et Chlorelle*) Tel: (514) 457-0005
www.gurveyberry.com/

G-Way International Entreprise Inc **

Hemp Oil Canada Inc.(MB) (Formulateur et distributeur d'ingrédients)
www.hempoilcan.com

Herbalife of Canada Ltd. (AB)(Entreprise américaine de distribution au Canada de Spiruline comment ingrédient avec comme nom du produit : Xtra-cal supplément de calcium en comprimés ; et Chlorelle avec comme nom du produit : Cell Activator en capsules).
www.herbalife.com

Les produits de l'entreprise américaine Earthrise^(R) sont distribués au Canada par : Community (Calgary) Terra Natural Food et Terra (Edmonton) et Nutrition Hause (Lethbridge) dans la province d'Alberta.

Lifizz effervescent vitamins inc. (entreprise américaine)
www.bestsportgifts.com

Locin Industries Ltd (BC)
www.locin.com/

Maxion Nutrition (ON)
www.maxionnutrition.com

Medexus Incorporated en Canada : Entreprise européenne producteur de Calcia.

Natures Formulae Health Products Ltd.**

Nature's Sunshine Products of Canada Ltd.
Entreprise américaine : distribution de Spiruline
www.naturesunshine.ca

Nature's Way of Canada Ltd. (ON) (entreprise américaine) www.naturesway.com

Noevir Canada Inc. Entreprise américaine qui produit et distribue Spiruline

Nihon Kenko Zoushin Kenkyukai Canada, Inc.
Entreprise américaine

Novartis Nutrition Canada's (ON) Entreprise suisse qui a deux divisions : Novartis Pharmaceuticals et Novartis Consumer Health.

NowFoods. Entreprise américaine, distribution en Canada de Spiruline et Chlorelle
www.nowfoods.com

NuSkin Canada Inc. Représentant de Pharmanex une entreprise Chinoise

Nutrican Nutritionals Ltd. (ON)
www.nutrican.com/nutri_about.html

Pangaea sciences (ON) (Distributeur spiruline)
www.pangaeasciences.com

Perrigo International Entreprise américaine qui produit: Centrum®, One-A-Day®, Flintstones® and Ensure®.

Pharmavite LLC Entreprise américaine qui produit avec le nom de : NatureMade et Vitamin&Herb University.
<http://www.NatureMade.com>

Phoenix Longevity Inc (SK) Entreprise américaine www.phoenixlongevity.com

Phytos Inc. Entreprise américaine, produit : Herb-antianxiety www.phytos.com/

Preferred Nutrition (ON) distributeur de produits: Dr. Julian Whitaker (Producteur américain d'Essential Green avec Spiruline).

Puresource Canada Distributeur de: Herbal Select, NOW Foods, Genisoy, North American Herb and Spice, Seelect Teas, Uncle Lee's Tea, Homeocan, Natra-Bio, Naturade, Desert Essence, Real Green Bar, Imagine Foods, Bach Flower Remedies, Vitasoy, Clif Bar, Balance Foods et Power Bar (Spiruline et Chlorelle)
www.puresource.ca

Purity Life Health Products (ON) ses marques de produit: Nature's Harmony® (Vendu à Vita Health en 2001), RXBalance™, Vivitas™, Moducare®, Multi-Mune®, Naturally Chapman Farms et Treemenda® Distribution au Canada des produits de l'entreprise américaine Natrol Inc. (USA) qui formule des produits de spiruline
www.puritylife.com

Usana Canada Distributor (entreprise Seroyal International Inc. Genestra Brands™ (ON) Entreprise américaine
www.seroyal.com

Shaklee Canada Entreprise américaine avec distributeur situé à Ontario.

The Source (ON)
<http://www.angelfire.com/on4/thesource/>

The Vitamins Shop (BC) distributeur de Spiruline, kyo-green (quest), sun Chlorelle (tung hai) www.canadianvitaminshop.com/

The Vitamins Shop(www.canadianvitaminshop.com)

Thorne Research, Inc. Entreprise américaine : Distribution au Canada
www.thorne.com

Windmill Health Products Entreprise américaine: Distribution au Canada
www.windmillvitamins.com/

** Il n'a pas de liste de produits

Distributeurs d'ingrédients :

19 entreprises de distribution et de production de nutraceutiques dont 6 entreprises qui distribuent des microalgues comme ingrédients

ALGART INTERNATIONAL INC. (QC)
(Distributeur d'ingrédients dont Spiruline)
www.algartexpo.com

ALTA NATURALS HERBS & SUPPLEMENTS LTD. (BC) (Distributeur d'ingrédients) www.altanatural.com

BIOPAK LIMITED (AB) (distributeur d'ingrédients) www.biopak.com

BLUE HILLS HERB FARM INC. (SK)
(Producteur d'*Equinacea angustifolia*)

CANADA COLORS & CHEMICALS LTD.(ON)
(distributeur d'ingrédient)
www.canadacolors.com

CASTLEGUARD HEALTH SERVICES LTD.
(ON) (distributeur d'ingrédients)
www.castleguardhealth.com

CHEMROY CANADA INC. (ON) (distributeur d'ingrédient et de produits chimiques)
www.chemroy.ca

COULEE PICKINGS LTD. (SK) (Distributeur d'ingrédients et de produits finis)
<http://www.couleepickings.com/>

FUJI HEALTH SCIENCE, INC., INTL (Entreprise américaine distributeur d'astaxanthine comme ingrédient) www.fujihealthscience.com

GESTION BIO-PLEX (QC) (Distributeur et importateur de plus de 400 types de plantes médicinales) <http://www3.sympatico.ca/bio.plex/>

GOURMET NUTRITION(QC) (Distributeur d'ingrédients et de produits finis dont Spiruline et Chlorelle)
http://www.gourmetfb.com/site/fr_mission.html

GURVEY & BERRY CO. LTD. (ON) (Distributeur d'ingrédients dont Spiruline et Chlorelle*)
www.gurveyberry.com/

HEMP OIL CANADA INC.(MB) (Distributeur d'ingrédients) www.hempoilcan.com

INGREDIENT COMPANY (ON)(distributeur d'ingrédients)
www.theingredientcompany.com

NUTRALAB CANADA (ON) (Distributeur d'ingrédients dont Spiruline et Chlorelle)
<http://nutralab.ca/company.asp>

NUTRITECK-ULTRA BIO-LOGICS INC (QC)
(Distributeur d'ingrédients dont Spiruline* en poudre) www.nutriteck.com

PANGAEA SCIENCES, INC. (ON) (distributeur d'ingrédients)
<http://www.pangaeasciences.com/wwwpangaea/>

PHARMANUTRIENTS BOTANICAL CORP.
(BC) (distributeur d'ingrédients)
www.pharmanutrients.ca

Quadra Chemicals Ltd. (ON) (distributeur d'ingrédients pour l'industrie d'aliments)
www.quadrachemicals.com

Annexe 9 : Liste d'entreprises américaines

Producteurs de nutraceutiques et d'extraits herbaux

Liste des entreprises par catégories publiée par Nutritional Outlook Buyers Guide.

Amino Acids: Alanine (65 companies)	Herbs/Botanicals: Goldenseal (83 companies)
Amino Acids: Arginine (73 companies)	Herbs/Botanicals: Gotu Kola (93 companies)
Amino Acids: Asparagine (49 companies)	Herbs/Botanicals: Grape Seed Extract (120 companies)
Amino Acids: Aspartic acid (59 companies)	Herbs/Botanicals: Green Tea (64 companies)
Amino Acids: Cysteine (68 companies)	Herbs/Botanicals: Hawthorn (98 companies)
Amino Acids: Glutamic Acid (65 companies)	Herbs/Botanicals: Kava (79 companies)
Amino Acids: Glutamine (79 companies)	Herbs/Botanicals: Licorice (43 companies)
Amino Acids: Glycine (64 companies)	Herbs/Botanicals: Maca (33 companies)
Amino Acids: Histidine (57 companies)	Herbs/Botanicals: Maitake (68 companies)
Amino Acids: Isoleucine (69 companies)	Herbs/Botanicals: Milk Thistle (101 companies)
Amino Acids: Leucine (67 companies)	Herbs/Botanicals: Pine Bark Extract (77 companies)
Amino Acids: Lysine (39 companies)	Herbs/Botanicals: Red Clover (46 companies)
Amino Acids: Methionine (64 companies)	Herbs/Botanicals: Reishi (35 companies)
Amino Acids: Multiple types or unspecified (68 companies)	Herbs/Botanicals: Saw Palmetto (104 companies)
Amino Acids: Phenylalanine (68 companies)	Herbs/Botanicals: Spirulina (84 companies*)
Amino Acids: Proline (60 companies)	Herbs/Botanicals: St. John's Wort (104 companies)
Amino Acids: Serine (54 companies)	Herbs/Botanicals: Tribulus (43 companies)
Amino Acids: Threonine (56 companies)	Herbs/Botanicals: Valerian (102 companies)
Amino Acids: Tryptophan (43 companies)	Herbs/Botanicals: Yeast (50 companies)
Amino Acids: Tyrosine (73 companies)	Protein: Soy (45 companies)
Amino Acids: Valine (65 companies)	Specialty Ingredients: 5-HTP (73 companies)
Food & Beverage Ingredients: Plant/Fruit Extracts (39 companies)	Specialty Ingredients: Alpha Lipoic Acid (58 companies)
Herbs/Botanicals: Ashwagandha (68 companies)	Specialty Ingredients: Astaxanthin (48 companies)
Herbs/Botanicals: Astragalus (39 companies)	Specialty Ingredients: Beta Glucan (36 companies)
Herbs/Botanicals: Bilberry (111 companies)	Specialty Ingredients: Chitosan (77 companies)
Herbs/Botanicals: Black Cohosh (102 companies)	Specialty Ingredients: Chondroitin Sulfate (109 companies)
Herbs/Botanicals: Chamomile (78 companies)	Specialty Ingredients: CLA (72 companies)
Herbs/Botanicals: Cranberry (86 companies)	Specialty Ingredients: CoQ10 (95 companies)
Herbs/Botanicals: Devil's Claw (42 companies)	Specialty Ingredients: Creatine (77 companies)
Herbs/Botanicals: Dong Quai (87 companies)	Specialty Ingredients: DHA (69 companies)
Herbs/Botanicals: Echinacea (110 companies)	Specialty Ingredients: DHEA (67 companies)
Herbs/Botanicals: Ephedra (33 companies)	Specialty Ingredients: Glucosamine (107 companies)
Herbs/Botanicals: Evening Primrose (78 companies)	
Herbs/Botanicals: Extracts (122 companies)	
Herbs/Botanicals: Ginger (99 companies)	
Herbs/Botanicals: Ginkgo Biloba (116 companies)	
Herbs/Botanicals: Ginseng (118 companies)	

[Specialty Ingredients: Hyaluronic Acid](#) (33 companies)
[Specialty Ingredients: Inositol](#) (75 companies)
[Specialty Ingredients: Ipriflavone](#) (59 companies)
[Specialty Ingredients: Isoflavones](#) (102 companies)
[Specialty Ingredients: L-Carnitine](#) (88 companies)
[Specialty Ingredients: L-Theanine](#) (59 companies)
[Specialty Ingredients: Lecithin](#) (67 companies)
[Specialty Ingredients: Lycopene](#) (85 companies)
[Specialty Ingredients: MSM](#) (78 companies)
[Specialty Ingredients: Multiple types or unspecified](#) (79 companies)
[Specialty Ingredients: Octacosanol](#) (28 companies)
[Specialty Ingredients: Omega-3](#) (40 companies)

[Specialty Ingredients: Plant Sterol/Stanol Esters](#) (60 companies)
[Specialty Ingredients: Polycosanol](#) (33 companies)
[Specialty Ingredients: Polyphenols](#) (92 companies)
[Specialty Ingredients: Pyruvate](#) (62 companies)
[Specialty Ingredients: Reseveratol](#) (66 companies)
[Specialty Ingredients: Ribose](#) (55 companies)
[Specialty Ingredients: Royal Jelly](#) (73 companies)
[Vitamins & Minerals: A](#) (72 companies)
[Vitamins & Minerals: B \(including thiamin, riboflavin, niacin, pantothenic acid, pyridoxine, cobalamin\)](#) (85 companies)
[Vitamins & Minerals: Beta Carotene](#) (78 companies)
[Vitamins & Minerals: C](#) (85 companies)
[Vitamins & Minerals: Calcium](#) (100 companies)
[Vitamins & Minerals: E](#) (89 companies)

*Inclus la chlorelle

Note : Cette liste n'est pas nécessairement exhaustive.

Source: www.nutritionaloutlook.com/ page consultée en octobre 2005.

Spiruline-USA (45 entreprises)

AIDP Inc.	City of Industry, CA	Kingchem Inc.	Allendale, NJ
Alfa Chem	Kings Point, NY	Maypro Industries Inc.	Purchase, NY
American Ingredients	Anaheim, CA	Motherland Int'l.	La Verne, CA
AmerMed	Maysville, Ok	Nutrichem Resources Co.	Walnut, CA
Asiamerica Int'l. Inc.	Harrington Park, NJ	Nutriland Group Inc.	Torrance, CA
BattleChem Distribution Inc.	San Clemente, CA	Orcas Int'l. Inc.	Flanders, NJ
BI Nutraceuticals	Long Beach, CA	Organic by Nature	Long Beach, CA
Bio Serae	Bram,	Pharmachem Laboratories Inc.	Kearny, NJ
Charles Bowman & Co.	Holland, MI	Pharmline Inc.	Florida, NY
Buckton Scott Nutrition Inc.	Fairfield, NJ	Ria Int'l. LLC	Whippany, NJ
Cactus Botanics Ltd.	Shang hai,	Seatech Bioproducts Corp.	Shrewsbury, MA
Cyanotech Corp.	Kailua-Kona, HI	Soft Gel Technologies Inc.	Los Angeles, CA
DNP Int'l.	City Of Industry, CA	Starwest Botanicals	Rancho Cordova, CA
Earthrise Nutritionals Inc.	Petaluma, CA	Stauber Performance Ingredients	Fullerton, CA
Earthrise Nutritionals Inc.	Irvine, CA	Stryka Botanicals	Hillsborough, NJ
Elixir Int'l. of New Mexico Inc.	Las Cruces, NM	Stryka Botanicals	Hillsborough, NJ
Food Ingredient Solutions LLC	Blauvelt, NY	Synergy Co., The	Moab, UT
Fortune Bridge Co. Inc.	New Hyde Park, NY	P.L. Thomas & Co. Inc.	Morristown, NJ
Functional Foods Corp.	Englishtown, NJ	Triarco Industries Inc.	Wayne, NJ
GCI Nutrients	Burlingame, CA	Watson Industries	Industry, CA
Hathaway Allied Products Inc.	Fountain Valley, CA	Wright Group. The	Crowley, LA
Herb Trade Inc.	Reno, NV	Xenos Nutraceuticals Inc.	St. Louis, MO
Kancor Flavours & Extracts Ltd.	Kerala,		

Note : Cette liste n'est pas nécessairement exhaustive.

Source: www.newhope.com/ , 2005

Chlorelle-USA (31 entreprises)

AIDP Inc.	City of Industry, CA	NutriScience Innovations LLC	Fairfield, CT
Asiamerica Int'l. Inc.	Harrington Park, NJ	OptiPure Brand Chemco Industries	Los Angeles, CA
BattleChem Distribution Inc.	San Clemente, CA	Orcas Int'l. Inc.	Flanders, NJ
BI Nutraceuticals	Long Beach, CA	Organic by Nature	Long Beach, CA
Bio Serae	Bram,	Pharmachem Laboratories Inc.	Kearny, NJ
Buckton Scott Nutrition Inc.	Fairfield, NJ	Pharmline Inc.	Florida, NY
DNP Int'l.	City Of Industry, CA	Ria Int'l. LLC	Whippany, NJ
Eartrise Nutritionals Inc.	Petaluma, CA	Seatech Bioproducts Corp.	Shrewsbury, MA
Elixir Int'l. of New Mexico Inc.	Las Cruces, NM	Soft Gel Technologies Inc.	Los Angeles, CA
Fortune Bridge Co. Inc.	New Hyde Park, NY	Starwest Botanicals	Rancho Cordova, CA
Functional Foods Corp.	Englishtown, NJ	Stauber Performance Ingredients	Fullerton, CA
GCI Nutrients	Burlingame, CA	Stryka Botanics	Hillsborough, NJ
Hathaway Allied Products Inc.	Fountain Valley, CA	Stryka Botanics	Hillsborough, NJ
Maypro Industries Inc.	Purchase, NY	Watson Industries	Industry, CA
Nutrichem Resources Co.	Walnut, CA	Wright Group, The	Crowley, LA
Nutraland Group Inc.	Torrance, CA		

Note : Cette liste n'est pas nécessairement exhaustive.

Source: www.newhope.com/ , 2005

Astaxanthine-USA (45 enterprises)

A & A Nutritional Int'l.	Garden Grove, CA	NHK Laboratories Inc.	Santa Fe Springs, CA
ADM	Decatur, IL	Nutraland Group Inc.	Torrance, CA
AHD Int'l. LLC	Atlanta, GA	OptiPure Brand Chemco Industries	Los Angeles, CA
Alfa Chem	Kings Point, NY	Pacific Rainbow Int'l. Inc.	City of Industry, CA
Amax NutraSource Inc.	City of Industry, CA	Parry Nutraceuticals	Chennai,
American Ingredients	Anaheim, CA	Pharmachem Laboratories Inc.	Kearny, NJ
Asiamerica Int'l. Inc.	Harrington Park, NJ	Pharmed Medicare	Bangalore, Karnataka
BattleChem Distribution Inc.	San Clemente, CA	H. Reisman Corp.	Orange, NJ
Blue California Co.	Rancho Santa Margarita, CA	Ria Int'l. LLC	Whippany, NJ
Botanics Trading LLC	Blowing Rock, NC	Sanmark LLC	Greensboro, NC
Charles Bowman & Co.	Holland, MI	Scandinavian Formulas Inc.	Sellersville, PA
CPB Int'l. Inc.	Bartonsville, PA	Seatech Bioproducts Corp.	Shrewsbury, MA
Cyanotech Corp.	Kailua-Kona, HI	Soft Gel Technologies Inc.	Los Angeles, CA
FabriChem Inc.	Fairfield, CT	Source Connections LLC	Berkeley, CA
Falcon Trading Int'l.	East Fairfield, VT	Stauber Performance Ingredients	Fullerton, CA
Food Ingredient Solutions LLC	Blauvelt, NY	Stella Labs LLC	Paramus, NJ
Global Marketing Assocs.	Hayward, CA	Stryka Botanics	Hillsborough, NJ
GMP Labs of America	Anaheim, CA	Stryka Botanics	Hillsborough, NJ
Hathaway Allied Products Inc.	Fountain Valley, CA	Triarco Industries Inc.	Wayne, NJ
Hunan Kinglong Bio-resource Co. Ltd.	Changsha,	Valensa Int'l.	Eustis, FL
IBC Int'l. LLC	Wilton, CT	Watson Industries	Industry, CA
JR Laboratories Inc.	Burnaby, BC	Wright Group, The	Crowley, LA
Mera Pharmaceuticals	Hawaii, USA		
Nanjing MMM	Nanjing,		

Note : Cette liste n'est pas nécessairement exhaustive.
Source: www.newhope.com/ , 2005

Annexe 10 : Cargill

Cargill est un producteur de produits d'alimentation humaine et animale. L'entreprise a 124,000 employés dans 59 pays. Les principales usines de nutraceutiques sont localisées aux États-Unis, au Brésil, en Belgique et aux Pays-Bas. Le chiffre d'affaires en 2004 était de 62,9 milliards USD et de 71,0 en 2005. Les produits nutraceutiques représentent environ 4% du chiffre d'affaires et environ 8% du marché total des ingrédients de nutraceutiques.

Food & Health Applications

<p>Baking and cereals baking mixes, bars, breads & rolls, cakes, pies & pastries, cereals, cookies & crackers, pasta, noodles & dumplings, tortillas</p> <p>Boissons alcoholic beverages, carbonated soft drinks, fruit beverages & drinks, fruit juices, ready to drink tea</p> <p>Chocolate and Confections chewing gum, chocolate, fondants & creams, gummy & jellied candies, hard candies marshmallows & nougats, panning & coatings, powders & mixes, retail confectionary</p> <p>Dairy cheese, dip, dry, condensed, evaporated, ice cream & frozen novelties, milk-based beverages, yogurt</p> <p>Health. Nutritiona and Organic functional beverages, functional foods, sport drinks, vitamins & supplements</p>	<p>Meat, Poultry and Ingredients eggs & egg products, processed meats, processed poultry</p> <p>Pharmaceuticals pharmaceutical products</p> <p>Prepared foods canned fruits & vegetables, condiments, frozen & refrigerated meal/entrees, jams & jellies, prepared side dish & main dish mixes, puddings/gelatins/non-bakery deserts, salad dressings, soup, sauces & gravies</p> <p>Snacks cereal snacks, chips, fruit snacks, granola, party mix, snack bars</p>
---	--

[Vitamins and Supplements](#)

Explore the versatile ingredients and expert knowledge Cargill offers to vitamin and supplement manufacturers:

Chocolate and cocoa

Food starch

Oils and shortenings

Soy protein

Sweeteners

Lecithin

[Cargill Health and Food Technologies](#)

A leading developer, processor and marketer of science-based, health promoting ingredients for food and dietary supplement industries worldwide. Products and services include:

OptaFlex™ chondroitin

CoroWise™ phytosterols

Soluble fibers AdvantaSoy™

Soy isoflavones

Tocopherols

Ascend™ trehalose

[Regenasure® Glucosamine](#)

Cargill's REGENASURE® D-Glucosamine Hydrochloride is a non-shellfish, non-animal, Kosher derived product, produced from a renewable resource.

Annexe 2

Tableaux présentant la classification simplifiée de différents groupes d'algues

Tableau 1. Classification simplifiée des cyanobactéries*

Classes	Ordres	Principales familles	Principaux genres
Coccolgoneae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Anacystis, Aphanothece, Microcystis</i>
Hormogoneae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena, Nodularia, Nostoc</i>
		Rivulariaceae	<i>Calothrix, Isactis, Rivularia</i>
		Scytonemataceae	<i>Plectonema, Scytonema, Tolypothrix</i>
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya, Oscillatoria, Phormidium, Spirulina</i>
	Pleurocapsales	Chamaesiphonaceae	<i>Dermocarpa, Entophysalis, Hyella</i>
Stigonematales	Stigonemataceae	<i>Hapalosiphon, Kirtuthrix, Stigonema</i>	

Tableau 2. Classification simplifiée des Bacillariophyceae*

Ordres	Familles	Principaux genres
Centrales	Biddulphiaceae	<i>Biddulphia</i> syn. <i>Odontella, Isthmia</i>
	Chaetoceraeae	<i>Bacteriastrum, Chaetoceros</i>
	Thalassiosiraceae	<i>Skeletonema, Thalassiosira</i>
	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus, Cylotella</i>
	Melosiraceae	<i>Melosira, Podosira</i>
Pennales	Cymbellaceae	<i>Amphora, Phaeodactylum</i>
	Diatomaceae	<i>Asterionella, Fragillaria, Rhabdonema</i>
	Naviculaceae	<i>Diploneis, Gomphonema, Haslea, Navicula</i>
	Nitzschiaceae	<i>Cylindrotheca, Nitzschia, Stauroneis</i>
	Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia</i>

Tableau 3. Classification simplifiée des Chrysophyceae*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Chrysamoebales	Chrysamoebaceae	<i>Chrysamoeba, Rhizochromulina</i>
Ochromonadales	Chromulinaceae	<i>Chromulina, Chrysapis</i>
	Chrysococcaceae	<i>Chrysococcus</i>
	Ochromonadaceae	<i>Ochromonas, Syncrypta</i>
Parmales	Triparmaceae	<i>Tetraparma, Triparma</i>
Pedinellales	Pedinellaceae	<i>Actinomonas, Pedinella</i>
Sarcinochrysidales	Pelagophyceae	<i>Aureococcus</i>
	Sarcinochrysidaceae	<i>Nematochryopsis, Sarcinochrysis</i>
Synurales	Mallomonadaceae	<i>Mallomonas, Synura</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005.

Tableau 4. Classification simplifiée des Phaeophyceae*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Classe des Cyclospores		
Fucales	Cystoseiraceae	<i>Bifurcaria, Bifurcariopsis, Caulocystis, Cystophora, Cystoseira, Halidrys, Hormophysa</i>
	Fucaceae	<i>Durvillea</i>
	Fucaceae	<i>Ascophyllum, Fucus, Pelvetia</i>
	Himanthealiaceae	<i>Himantalia</i>
	Hormosiraaceae	<i>Hormosira</i>
	Sargassaceae	<i>Cystophyllum, Hizikia, Sargassum, Turbinaria</i>
Classe des Isogénères		
Cutlériales	Cutleriaceae	<i>Cutleria</i>
Dictyotales	Dictyotaceae	<i>Dictyopteris, Dictyota, Dilophus, Glossophora, lobophora, Padina, Stypopodium, Taonia, Zonaria</i>
Ectocarpales	Ectocarpaceae	<i>Ectocarpus, Feldmannia, Hincksia, Ishige, Spongonema</i>
	Ralfsiaceae	<i>Ralfsia</i>
Sphacélariales	Cladostephaceae	<i>Cladostephus</i>
	Sphacelariaceae	<i>Chaetopterus, Sphacelaria</i>
Tiloptéridales	Tilopteridaceae	<i>Tilopteris</i>
Classe des Hétérogénères		
Chordariales	Chordariaceae	<i>Analipus, Chordaria, Cladosiphon, Levringia, Mesogloia</i>
	Corynophlaeaceae	<i>Leathesia, Myriactula</i>
	Spermatochneaceae	<i>Nemacystus, Stilophora</i>
Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia</i>
Laminariales	Alariaceae	<i>Alaria, Ecklonia, Egregia, Eisenia, Undaria</i>
	Chordaceae	<i>Chorda</i>
	Laminariaceae	<i>Cymathere, Laminaria, Pleurophycus</i>
	Phyllariaceae	<i>Saccorhiza</i>
Dictyosiphonales	Dictyosiphonaceae	<i>Dictyosiphon</i>
	Punctariaceae	<i>Hydroclathrus, Punctaria</i>
	Scytosiphonaceae	<i>Colpomenia, Petalonia, Rosenvingea, Scytosiphon</i>
Sporochnales	Sporochneaceae	<i>Iyengaria, Perithalia, Sporochmus</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005.

Tableau 5. Classification simplifiée des Dinoflagellés*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Desmomonadales	Desmocapsaceae	<i>Desmocapsa</i>
	Haplodiniaceae	<i>Haplodinium</i> , <i>Pleromonas</i>
Dinococcales	Gloeodiniaceae	<i>Gloeodinium</i>
	Stylodiniaceae	<i>Stylodinium</i>
Dinophysales	Dinophysaceae	<i>Amphisolenia</i> , <i>Dinophysis</i>
Dinotrichales	Dinotrichaceae	<i>Dinoclonium</i> , <i>Dinothrix</i>
Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	<i>Amphidinium</i> , <i>Gymnodinium</i> , <i>Gyrodinium</i>
	Polykrikaceae	<i>Polykrikos</i>
	Ptychodiscaceae	<i>Ptychodiscus</i>
Noctilucales	Noctilucaceae	<i>Noctiluca</i>
Péridiniales	Ceratiaceae	<i>Ceratium</i>
	Crypthecodiniaceae	<i>Crypthecodinium</i> , <i>Hermidinium</i>
	Goniodomateceae	<i>Gambierdiscus</i> , <i>Goniodoma</i> , <i>Pyrodinium</i>
	Gonyaulaceae	<i>Alexandrium</i> , <i>Gessnerium</i> , <i>Gonyaulax</i> , <i>Protoceratium</i>
	Ostreopsidae	<i>Ostreopsis</i>
	Peridiniaceae	<i>Glenodinium</i> , <i>Heterocapsa</i> , <i>Peridinium</i> , <i>Scrippsiella</i>
Prorocentrales	Prorocentraceae	<i>Exuviella</i> , <i>Prorocentrum</i>
Pyrocystales	Pyrocystaceae	<i>Pyrocystis</i>

Tableau 6. Classification simplifiée des Haptophyceae*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Coccolithophorales	Calciosoleniaceae	<i>Acanthosolenia</i> , <i>Navisolenia</i>
	Ceratolithaceae	<i>Ceratolithus</i>
	Coccolithaceae	<i>Coccolithus</i> , <i>Emiliana</i>
	Helicosphaeraceae	<i>Helicosphaera</i>
	Hymenomonadaceae	<i>Hymenomonas</i> , <i>Ochrosphaera</i>
	Rhabdosphaeraceae	<i>Discosphaera</i> , <i>Rhabdosphaera</i>
	Syracosphaeraceae	<i>Syracosphaera</i>
Isochrysidales	Isochrysidaceae	<i>Chrysolita</i> , <i>Dicrateria</i> , <i>Isochrysis</i>
Pavlovales	Pavlovaceae	<i>Diacronema</i> , <i>Pavlova</i>
Prymnésiales	Phaeocystaceae	<i>Phaeocystis</i>
	Primnesiaceae	<i>Chrysomulina</i> , <i>Prymnesium</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005.

Tableau 7. Classification simplifiée des Chlorobiontes*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Groupe des Ulvophytes		
<i>Classe des Chlorophycées</i>		
Volvocales	Dunaliellaceae	<i>Dunaliella</i>
	Haematococcaceae	<i>Haematococcus</i>
	Volvocaceae	<i>Chaetopeltis</i>
Chlorococcales	Chlorococcaceae	<i>Characium, Chlorococcum, Coccomyxa, Skkidion</i>
	Endosphaeraceae	<i>Chlorochytrium, Codiolum, Gomontia</i>
Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Arthrochaete, Chaetophora, Entocladia, Peripleghmatium, Pseudendoclonium, Stromatella, Tellamia, Ulvella, Uronema, Zygomitus</i>
Acrosiphoniales	Acrosiphonaceae	<i>Acrosiphon, Spongomorpha, Urospora</i>
Chlorocystidales	Chlorocystidaceae	<i>Halochlorococcum</i>
Klebshormidiales	Stichococcaceae	<i>Stichococcus</i>
Phaeophilales	Phaeophilaceae	<i>Phaeophila</i>
Tetrasporales	Tetrasporaceae	<i>Palmophyllum</i>
Trentepohliales	Trentepohliaceae	<i>Sporocladus</i>
<i>Classe des Ulvophycées</i>		
Cladophrales	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha, Cladophora, Rhizoclonium, Spongomorpha</i>
Prasiolales	Prasiolaceae	<i>Prasiola</i>
Ulvales	Monostromataceae	<i>Blidingia, Monostroma</i>
	Ulvaceae	<i>Enteromorpha, Ulva</i>
Bryopsidales	Bryopsidaceae	<i>Bryopsis, Derbesia, Trichosolon</i>
	Caulerpaceae	<i>Caulerpa</i>
	Codiaceae	<i>Codium</i>
	Halimedaceae	<i>Halimeda</i>
	Udoteaceae	<i>Avrainvillea, Chlorodesmis, Penicillus, Rhipocephalus, Tydemania, Udotea</i>
Dasycladales	Dasycladaceae	<i>Acetabularia, Cymopolia, Dasycladus, Neomeris</i>
Siphonocladales	Siphonocladaceae	<i>Boodlea, Cladophoropsis, Siphonocladus</i>
	Valoniaceae	<i>Dictyosphaeria, Ernodesmis, Valonia</i>
Groupe des Prasinophytes		
<i>Classe des Prasinophycées</i>		
	Chlorodendraceae	<i>Cymbomonas, Dolichomastix</i>
	Pyramimonadaceae	<i>Pyramimonas, Tetraselmis</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005 et du site

http://lebrusc.chez-alice.fr/pages/classification_chlorophytes.htm

Tableau 8. Classification simplifiée des Rhodophytes*

Ordres	Principales familles	Principaux genres
Sous-classe des Bangiophyceae		
Bangiales	Bangiaceae	<i>Bangia</i> , <i>Porphyra</i>
Erythropeltidales	Erythrotrichiaceae	<i>Erythrotrichia</i>
Porphyridiales	Porphyridiaceae	<i>Acrotylus</i> , <i>Asterocystis</i> (= <i>Chroodactylon</i>), <i>Porphyridium</i> , <i>Stylonema</i> (= <i>Goniotrichum</i>), <i>Rhodospira</i> ,
Sous-classe des Florideophyceae		
Acrochaetiales	Acrochaetiaceae	<i>Acrochaetium</i> , <i>Kylinia</i> , <i>Rhodocorton</i>
Céramiales	Ceramiaceae	<i>Aglaothamnion</i> , <i>Anotrichium</i> , <i>Centroceras</i> , <i>Ceranium</i> , <i>Crouania</i> , <i>Microcladia</i> , <i>Plumaria</i> , <i>Ptilota</i> , <i>Spyridia</i>
	Dasyaceae	<i>Dasya</i> , <i>Dictyurus</i> , <i>Heterosiphonia</i>
	Delesseriaceae	<i>Cryptopleura</i> , <i>Delesseria</i> , <i>Hypoglossum</i> , <i>Martensia</i> , <i>Myriogramme</i> , <i>Pantoneura</i> , <i>Phycodris</i> , <i>Polyneura</i>
	Rhodomelaceae	<i>Acanthophora</i> , <i>Amansia</i> , <i>Chondria</i> , <i>Digenea</i> , <i>Halopitys</i> , <i>Laurencia</i> , <i>Murrayella</i> , <i>Polysiphonia</i> , <i>Rhodomela</i> , <i>Vidalia</i>
Cryptonémiales	Corallinaceae	<i>Amphiroa</i> , <i>Bossiella</i> , <i>Corallina</i> , <i>Fosliella</i> , <i>Jania</i> , <i>Lithophyllum</i> , <i>Marginosporum</i> , <i>Melobesia</i> , <i>Porolithon</i>
	Cryptonemiaceae	<i>Cryptonemia</i> , <i>Grateloupia</i> , <i>Halymenia</i>
	Dumontiaceae	<i>Constantinea</i> , <i>Dilsea</i> , <i>Dumontia</i> , <i>Farlowia</i> , <i>Neodilsea</i>
	Endocladiaceae	<i>Endocladia</i> , <i>Gloiopeltis</i>
	Gloiosiphoniaceae	<i>Gloiosiphonia</i>
	Kallymeniaceae	<i>Callophylis</i> , <i>Kallymenia</i>
	Peyssoneliaceae	<i>Peyssonelia</i>
	Rhizophyllidaceae	<i>Chondrococcus</i> , <i>Ochtodes</i>
Gélidiales	Weeksiaceae	<i>Constantinea</i>
	Gelidiaceae	<i>Acanthopeltis</i> , <i>Gelidiella</i> , <i>Gelidium</i> , <i>Pterocladia</i>
Gigartinales	Wurdemanniaceae	<i>Wurdemannia</i>
	Caulacanthaceae	<i>Catenella</i> , <i>Rhabdonia</i>
	Furcellariaceae	<i>Furcellaria</i>
	Gigartinaceae	<i>Chondrus</i> , <i>Gigartina</i> , <i>Iridaea</i>
	Gracilariaceae	<i>Gracilaria</i> , <i>Gracilariopsis</i>
	Gymnophlaxaceae	<i>Schizymenia</i>
	Hypneaceae	<i>Hypnea</i>
	Petrocelidaceae	<i>Mastocarpus</i>
	Phyllophoraceae	<i>Ahnfeltia</i> , <i>Gymnogongrus</i> , <i>Phyllophora</i> , <i>Schottera</i>
	Plocamiaceae	<i>Plocamium</i>
	Polyidaceae	<i>Polyides</i>
	Rhizophyllidaceae	<i>Cystoclonium</i> , <i>Portieria</i> , <i>Rhodophyllis</i>
Solieriaceae	<i>Agardhiella</i> , <i>Anatheca</i> , <i>Eucheuma</i> , <i>Kappaphycus</i> ,	

		<i>Meristotheca, Sarconema, Solieria, Turnerella</i>
	Sphaerococcaceae	<i>Caulacanthus, Phacelocarpus, Sphaerococcus</i>
Némaliales (Némalionales)	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis (Falkenbergia), Bonnemaisonia, Delisea, Ptilonia</i>
	Chaetangiaceae	<i>Galaxaura (= Tricleocarpa), Scinaia</i>
	Helminthocladiaceae	<i>Helminthocladia, Liagora</i>
	Nemaliaceae	<i>Nemalion, Trichogloea</i>
Palmariales	Palmariaceae	<i>Palmaria</i>
Rhodymériaies	Champiaceae	<i>Champia, Lomentaria</i>
	Rhodymeniaceae	<i>Botryocladia, Ceratodictyon, Fauchea, Rhodymenia</i>

* Adaptée de Kornprobst, 2005