CRIBIQ

Consortium de recherche et innovations en bioprocédés industriels au Québec

Étude Économique sur la Chaîne de Valeur des Macroalgues au Québec

CRÉDITS

RÉALISATION

CRIBIQ (Consortium de Recherche et Innovation en Bioprocédés Industriels au Québec)

PARTENAIRES

CRBM

Créneau Accord RSTM

UQAR - Gestion des ressources maritimes

MTQ - Secrétariat à la stratégie maritime

MAPAQ

MEI

RÉDACTION ET COORDINATION

Daniela Bernic, CRIBIQ

Claude Rioux, économiste

Claude Côté, Créneau Accord RSTM

Gilles Buissières, consultant

Mohammed Benyagoub, CRIBIQ

AVEC LA COLLABORATION

Josée Laflamme, UQAR

Simon Cartier, CRBM

Arnaud Blouin, stagiaire

Éric Tamigneaux, EPAQ

ÉDITION

Anne Kuzbik, CRIBIQ

Partenaire financier :

Québec

Table des matières

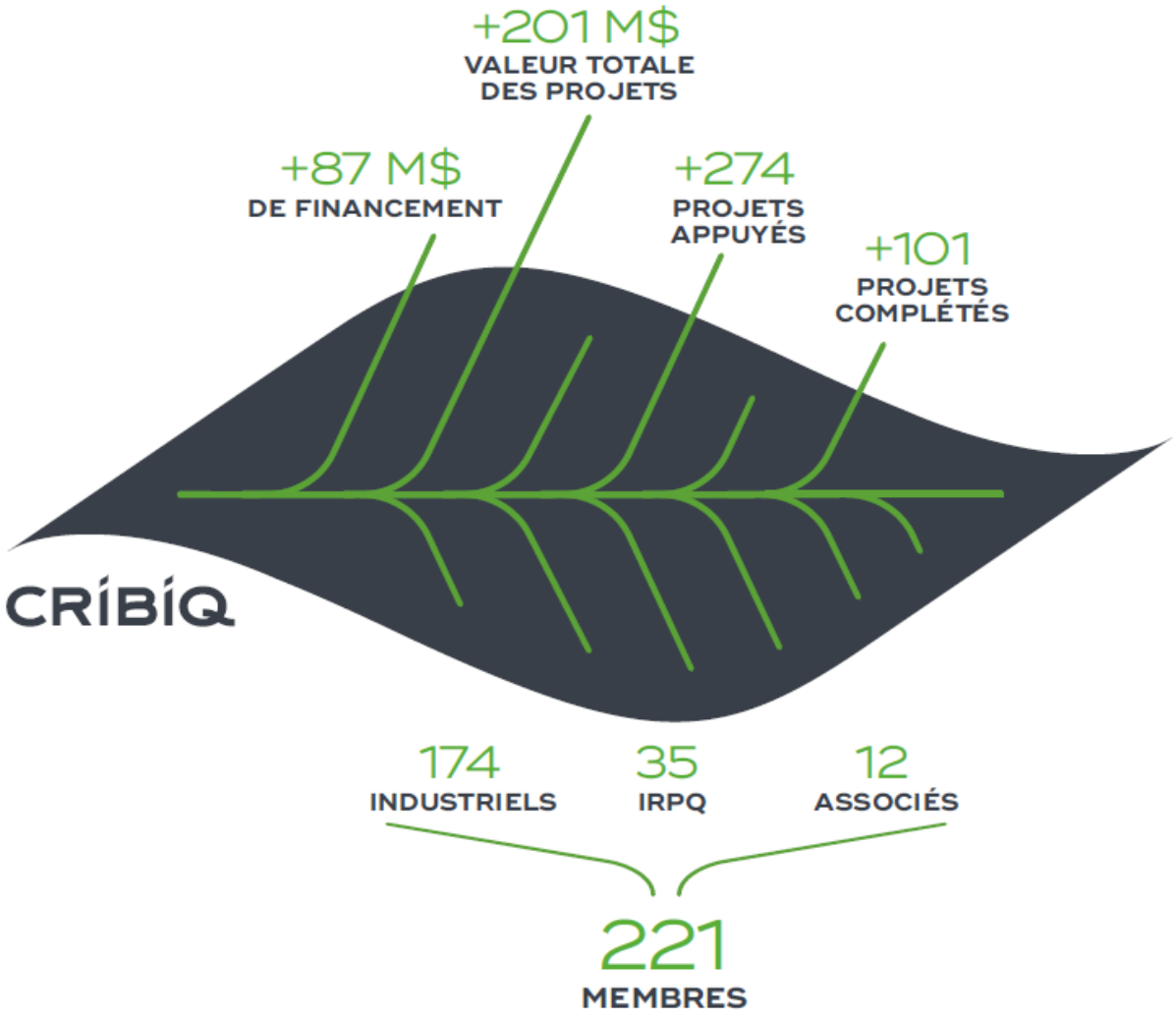
LE CRIBIQ 4
SOMMAIRE EXÉCUTIF 5
GLOSSAIRE 8
PRÉAMBULE 11
A. LES MACROALGUES DANS LES PAYS NORDIQUES : MARCHÉS, VALORISATION INDUSTRIELLE ET ÉTAT DE L'INNOVATION 13
1. PORTRAIT DE LA VALORISATION INDUSTRIELLE DES MACROALGUES DANS LE MONDE 14
1.1 Introduction 14
1.2 Principales espèces d'intérêt commercial 17
1.2.1 Les algues brunes (*Phéophycées*) 19
1.2.2 Les algues rouges (rhodophycées) 19
1.2.3 Les algues vertes (Chlorophycées) 20
1.2.4 Modes de production 20
1.2.4.1 Récolte à l'état sauvage 20
1.2.4.2 L'algoculture 23
1.3 Tendances des marchés 28
1.3.1 Tendances du marché global 28
1.3.2 Tendances selon les applications commerciales 29
1.4 Transformation 37
1.5 Utilisations commerciales 39
1.5.1 Alimentation humaine 40
1.5.2 Alimentation animale 41
1.5.3 Agriculture et horticulture 42
1.5.4 Nutraceutique 43
1.5.5 Pharmaceutique 43
1.5.6 Cosmétique/Cosméceutique 44
1.5.7 Bioproduits industriels et énergie 44
1.6 Principaux acteurs à échelle mondiale 46
Conclusions 49
2.1 Innovations reliées à la production et la transformation des macroalgues 50
2.1.1 Recherche et développement 50
2.1.2 Brevets 53
2.2 Produits d'intérêt issus des macroalgues 55
2.2.1 Carraghénane (ou carragahénine) 55
2.2.2 Alginates 57
2.2.3 Agar-agar 58
2.2.4 Fucoïdanes 59
2.2.5 Protéines 60
B. ÉTAT ACTUEL DE LA VALORISATION INDUSTRIELLE DES MACROALGUES AU QUÉBEC 61
1. LA FILIÈRE DES MACROALGUES AU QUÉBEC 62
1.2 Vue d'ensemble 62
1.2.1 Taille des organisations 63
1.2.2 Secteurs d'activité et marchés 65
1.2.3 Profil de commercialisation 68
1.2.4 Macroalgues utilisées 69
2. LA PRODUCTION DES MACROALGUES AU QUÉBEC 72

2.2 Les conditions de récolte des macroalgues 72
2.3 Les secteurs géographiques 73
2.4 Principales réglementations qui s'appliquent au Québec 73
2.5 Les espèces récoltées 74
2.6 Évolution de la production totale au Québec entre 2014 et 2018 76
2.7 L'algoculture au Québec 77
2.8 Importations d'algues 78
3. LA CHAÎNE DE VALEUR DE LA FILIÈRE ALGALE AU QUÉBEC 81
3.1 Estimation de la valeur créée par la filière algue au Québec 84
3.1.1 Valeur ajoutée secteur primaire (récolte, culture, importations) 84
3.1.2 Valeur ajoutée du secteur secondaire 85
2.1.3 Valeur ajoutée par le secteur tertiaire 87
3.2 Estimation du nombre d'emplois créés par la filière algue au Québec. 88
3.3 Considérations spéciales en ce qui concerne l'algoculture. 88
3.4 Support au développement de la filière et au renforcement de la chaîne de valeurs 90
C. NOS OBSERVATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE MACROALGUES QUÉBÉCOISE PERFORMANTE 94
I. DÉFIS À RELEVER ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**
I.1 Besoin de développer une filière macroalgues au Québec 95
I.2 Nécessité d'optimisation de la biomasse algale connue et à explorer 97
I.3 Besoin de stimuler le développement de l'algoculture 99
I.4 Besoin d'instaurer une recherche scientifique plus large sur les macroalgues 100
I.5 Besoin d'un support soutenu et durable à la filière macroalgues 102
II. CONCLUSION 104
BIBLIOGRAPHIE 106
ANNEXE A 108
ANNEXE B 112
ANNEXE C 116
ANNEXE D 120
ANNEXE E 130

Le CRIBIQ

Le Consortium de Recherche et Innovations en Bioprocédés Industriels au Québec (CRIBIQ) est un regroupement sectoriel de recherche industrielle dont la mission est de promouvoir et soutenir la réalisation de projets innovants dans les filières industrielles de la bioéconomie au Québec.

En date de mars 2021, le CRIBIQ regroupait plus de 221 entreprises et instituts de recherche publique du Québec (IRPQ) (universités, CCTT et centres de recherche gouvernementaux). Grâce à son programme de recherche, le CRIBIQ a su concrétiser des retombées significatives en recherche et développement par le financement de plus de 274 projets de recherche collaborative d'une valeur totale de plus de 201 M$, dont 87 M$ octroyés par le CRIBIQ. Par ailleurs, l'adhésion de certaines fédérations et associations industrielles permet au CRIBIQ de desservir plus de 22 000 organisations privées. Le présent guide décrit les modalités de financement des projets dans le cadre du PROGRAMME DE RECHERCHE 2021-2022 du CRIBIQ.



Sommaire exécutif

Le marché global des **macroalgues** est en forte croissance. Ainsi en 2019, il représentait une quantité de 16 728 kt, ayant une valeur de 59 milliards $US. On estime qu'en 2026, cette quantité serait de 23 778 kt pour une valeur 85,5 milliards US, soit un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 8% en tonnes et 12% en valeur monétaire.

On peut analyser ces tendances de marché sous plusieurs angles : espèces d'algues utilisées, formes utilisées (humides ou sèches), applications commerciales et tendances régionales.

- **Espèces (2019):** les algues rouges sont les plus en demande (48,7 %), suivies des algues brunes (40,8%) et finalement des algues vertes (10,5 %).
- **Formes (2019)** : les macroalgues sont utilisées majoritairement, soit sous formes sèches (80 %), soit sous forme humides (20%). Les algues séchées sont utilisées surtout dans l'alimentation humaine (30,6 %) et le secteur de la pharmacie et des soins corporels (27,5 %). Suivent l'alimentation animale (16,5 %), les biocarburants (14,6 %) et les autres applications (10,9 %). La forme humide quant à elle, est utilisée très majoritairement pour une consommation directe dans l'alimentation humaine (94,4%) et très peu dans les autres applications.
- **Applications (2019)** : bien que d'autres applications soient en développement, la principale application commerciale demeure l'alimentation humaine (83,7 %), suivie de loin par la pharmacie et les soins corporels (6,0 %), l'alimentation animale (4,2 %), les biocarburants (3,2 %) et les autres applications (2,9 %) incluant les intrants agricoles.
- **Tendances régionales (2019)**: Les macroalgues ont historiquement été consommées d'abord sous les climats favorables d'Asie-Pacifique, en Chine notamment, et cette populeuse région du globe représente aujourd'hui 83,3 % du marché, suivi de l'Europe (9 %), l'Amérique du Nord (5,4 %), l'Amérique latine (1,4 %) et la région Moyen-Orient/Afrique (0,8 %).
- **Croissance du marché** : les prévisions pour la période 2020-2026 reflètent l'augmentation de la demande d'algues pour la consommation humaine directe parallèlement à une demande constante pour des additifs alimentaires. De plus, l'augmentation de la demande pour de petits volumes, mais

pour des applications à haute valeur ajoutée telles que le secteur pharmaceutique et le secteur cosméceutique va propulser la croissance du marché.

- **Analyse sommaire de l'industrie** : l'industrie des macroalgues a traversé de nombreux hauts et bas à cause de ruptures des stocks dues à des conditions climatiques, la réglementation sévère et l'interprétation différente de celle-ci d'une administration à l'autre engendre la forte compétition avec le secteur alimentaire. Par conséquent, le prix des algues a augmenté de façon exponentielle faisant de ce secteur un marché à forte croissance.

Au Québec, Pêches et Océans Canada identifie 24 espèces de macroalgues pour lesquelles il peut émettre des permis de récolte commerciale. Parmi ces algues, 15 sont des algues brunes : *Agarum clathratum, Agarum cribosum, Alaria esculenta, Ascophyllum nodosum, Chorda filum, Chordaria flagelliformis, Fucus distichus distichus, Fucus distichus evanescens, Fucus distichus ssp., Fucus spiralis, Fucus vesiculosus, Laminaria digitata, Laminaria longicruris, Saccharina latissima, Sacchoriza dematodea*; six sont des algues rouges : *Chondrus crispus, Devaleraea ramentacea, Palmaria palmata, Porphyra miniata, Porphyra sp., Porphyra umbilicus* et trois sont des algues vertes : *enteromorpha sp., ulva lactuca et ulva spp.*

Sur le plan de l'exploitation commerciale, les algues brunes représentent 99% du volume des algues récoltées (280 838,76 kg d'algues fraîches) et 93% de ces algues brunes sont des *Ascophyllum nodosum* (260 942,00 kg d'algues fraîches). Les autres espèces en ordre d'importance sont *Saccharina latissima*, A*laria esculenta* et *Fucus vesiculosus*. Le total des algues rouges et vertes récoltées en 2018 s'élève à environ 55 kg d'algues fraîches.

Ces algues sont récoltées manuellement; à pied (principalement dans le Bas-Saint-Laurent) ou en plongée (Gaspésie). La récolte mécanisée des algues est interdite au Québec.

Sur un plan économique, la filière des macroalgues au Québec regroupe un grand nombre d'entreprises (environ une vingtaine) plutôt de petite taille. Certaines sont localisées à proximité de la ressource, d'autres près de centres urbains. Elles se démarquent en général par la variété des secteurs d'activités où elles sont présentes, citées ci-après: exploitation d'une biomasse naturelle, algoculture, transformation primaire (lavage, tri, séchage) ou plus avancée (secteur des biotechnologies, extraction d'ingrédients actifs) et des utilisateurs visés : agriculture, santé et nutrition animale, cosméceutique, pharmaceutique, nutraceutique, alimentation humaine. La taille moyenne des organisations n'apparaît pas être un obstacle à un effort soutenu d'innovation source d'une certaine diversification de la filière. L'importation d'algues brunes par ces entreprises représente plus de 10 fois la production réalisée au Québec. On cultive entre trois et cinq tonnes de laminaires à des fins d'alimentation humaine en Gaspésie et dans la Côte Nord.

En 2020, on peut estimait la valeur ajoutée totale par le secteur des algues au Québec entre 19,5 millions $ et 23,9 millions $. La filière algue telle qu'elle existe aujourd'hui au Québec, supporte entre 80 et 90 emplois (équivalent temps plein annuel) dans différents secteurs d'activités.

Les principaux obstacles rencontrés au développement de la chaîne de valeur sont :

- Une méconnaissance de la biomasse algale disponible, en particulier sur la Côte-Nord, mais aussi dans le Bas-Saint-Laurent et la région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine ;
- des volumes actuellement insuffisants au Québec pour une transformation industrielle plus importante ;
- la saisonnalité des approvisionnements ;
- un support financier et technique pas toujours adapté à la réalité des entreprises, en particulier à leur diversité ;
- un transfert technologique à améliorer tant en ce qui concerne l'algoculture que pour la mise au point de procédés d'extraction de biomolécules ;
- les entreprises sont de petites tailles, repartis sur un immense territoire et avec ds marchés de niche.

Les solutions peuvent provenir des approches suivantes :

- amélioration de l'accessibilité de la biomasse algale connue et à explorer ;
- renforcement des entreprises actives dans le domaine ;
- cartographie du secteur pour mieux connaître les intervenants et favoriser le réseautage ;
- support public adapté et persistant ;
- concertation active entre les entrepriseselles-même et différentes parties prenantes, par une coordination dynamique.

Glossaire

Agar-agar	Mucilage extrait à partir d'algues marines. Il est utilisé en bactériologie comme milieu de culture et dans l'industrie alimentaire comme agent gélifiant.
Agarose	Polymère non-ramifié à base d'agar-agar purifié.
Algale	Qui concerne les algues.
Alginate	Sels de l'acide alginique, biopolymère qui est un composant essentiel de la paroi cellulaire des algues brunes.
Antifongique	Qui détruit les champignons microscopiques (moisissures) ou empêche leur développement.
Astaxanthine	Pigment de la famille des caroténoïdes. Il se trouve à l'état naturel dans les algues, les planctons, le krill, les fruits de mer, les crustacés et différents poissons comme le saumon ou la truite.
Biocarburants	Carburant de substitution aux produits pétroliers, d'origine végétale.
Bioressourcee	Ensemble des matières originaires d'organismes vivants issus directement ou indirectement de la photosynthèse. Cela renvoie à la biomasse, soit l'ensemble des matières biologiques et éléments biotiques des écosystèmes, tels que les végétaux, les animaux, les micro-organismes ou les biodéchets. Elles constituent des sources de matières ou d'énergies renouvelables et ayant une utilisation directe ou indirecte pour l'humain.
Biosourcés	Un produit ou d'un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine biologique ; qu'elles soient végétales, animales, résiduelles, algales, etc.
Caroténoïde	Pigment liposoluble jaune ou orange présent dans de nombreux organismes vivants.
Carraghénane	Polysaccharide extrait de différentes algues et utilisé comme épaississant par l'industrie alimentaire.
Cosméceutique	Spécialité de la cosmétologie qui intègre, dans la fabrication des produits cosmétiques destinés aux soins de la peau, des agents actifs aux propriétés préventives et thérapeutiques semblables à celles des médicaments.
Écloseries	Établissement d'aquaculture destiné à la reproduction de géniteurs et à l'obtention de jeunes larves et alevins. Terme appliqué également aux jeunes pousses d'algues.
Écosystémiques	Système écologique complet, et prend ainsi en compte les relations entre les êtres vivants et le milieu dans lequel ils vivent.
Enzymatique	Qui concerne les enzymes.
Eutrophisation	Apport excessif d'éléments nutritifs dans les eaux, entraînant une prolifération végétale, un appauvrissement en oxygène et un déséquilibre de l'écosystème.
Extraction supercritique	Procédé d'extraction d'un soluté d'une substance en utilisant un fluide supercritique comme solvant d'extraction. Ce procédé ressemble au procédé d'extraction par un liquide.
Filière	Ensemble des activités complémentaires qui concourent, d'amont en aval, à la réalisation d'un produit fini.
Fucacée	Grande algue marine généralement brune, à frondes rubanées dichotomes et utilisée pour sa richesse en mucilage, iode, potassium, etc.

Fucanes	Polymère à base de fucose. Les fucanes complexes désignent des polysaccharides sulfatés présents dans les algues brunes.
Fucoïdan	Polysaccharide sulfaté à longue chaîne que l'on trouve dans diverses espèces d'algues brunes.
Fucoxanthine	Pigment xanthophylle de la famille des caroténoïdes. Il donne leur couleur brune à de nombreuses algues. Elle est notamment contenue dans le wakame, algue utilisée dans la cuisine japonaise.
Granulométrie	Mesure des dimensions des grains d'un mélange, détermination de leur forme et étude de leur répartition dans différents intervalles dimensionnels.
Hydrocolloïdes	Substances composées de macromolécules qui ont la propriété d'absorber les liquides pour former une masse gélatineuse.
Hypothyroïdie	Déficit en hormones thyroïdiennes. Elle est diagnostiquée par des signes cliniques tels qu'un faciès typique, une raucité et une lenteur de la voie, une peau sèche et de faibles concentrations d'hormones thyroïdiennes.
Immunostimulatoire	Produit ou d'un procédé qui stimule les défenses immunitaires.
Immunosuppresseur	Médicament ou traitement capable de diminuer ou de supprimer les réactions immunitaires de l'organisme.
Intertidale	Espace côtier compris entre les limites extrêmes atteintes par la marée.
Laminaran	Glucane de stockage trouvé dans les algues brunes. Il est utilisé comme réserve alimentaire d'hydrates de carbone de la même manière que la chrysolaminarine est utilisée par le phytoplancton, en particulier dans les diatomées.
Lignocellulosique	Composant fait de lignine, d'hémicellulose et de cellulose en proportions variables, présent dans la paroi des cellules des végétaux, du bois et de la paille.
Macroalgues	Algue de grandes dimensions visible à l'œil nu, par opposition aux microalgues, microscopiques.
Microalgues	Type d'organisme aquatique unicellulaire possédant des chloroplastes et donc capable de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique pour son développement.
Microbiote	Ensemble des micro-organismes vivant dans un écosystème donné.
Multitrophique	L'aquaculture multitrophique intégrée est une façon plus durable de cultiver des organismes aquatiques comme des poissons, des mollusques ainsi que des plantes marines dans le but de les consommer.
Oligoéléments	Éléments chimiques simples capables de jouer un rôle biologique capital à des doses extrêmement petites.
Osmo-protecteurs	Composé qui permet de rééquilibrer les pressions osmotiques et donc de limiter les effets délétères.
Peptide	Molécule comprenant au moins deux résidus d'acides aminés reliés par la liaison peptidique, c'est-à-dire par la liaison CO-NH, issue de la condensation déshydratante entre le groupement NH2 et le groupement carboxylique des acides aminés voisins.
Phénolique	En chimie organique, les phénols sont des composés chimiques aromatiques portant une fonction hydroxyle –OH. Les dérivés portant plusieurs fonctions hydroxyle sont appelés des polyphénols. ... De nombreuses substances phénoliques sont écotoxiques et toxiques.

Phycocolloïde	Colloïde végétal d'algue, une substance mucilagineuse, gélifiante, extraite des algues, essentiellement des macroalgues.
Phytostimulants	Produit qui est utilisé pour stimuler l'absorption des nutriments et permettre une meilleure utilisation de ceux-ci par les plantes cultivées, pour renforcer la résistance de ces plantes aux agressions abiotiques, ou pour améliorer la qualité des récoltes.
Plurinucléé	Une cellule vivante contenant plus de deux noyaux.
Polyholosides	Des polymères de la famille des glucides constitués de plusieurs oses liés entre eux par des liaisons osidiques.
Polymère biodégradable	Polymère apte à subir une biodégradation, c'est-à-dire à se décomposer par des organismes vivants, tels que les bactéries, les enzymes, les champignons, les algues, voire les insectes.
Polyphénol	Le terme polyphénol ou composés phénoliques remplace l'ancien terme de tanin végétal: présence d'un ou plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles. Polyphénols : Habituellement utilisés pour l'ensemble de ces composés. Polyphénols des plantes sont entre les plus actifs antioxidants.
Rhizosphérique	Partie du sol pénétrée par les racines des plantes et les micro-organismes associés. Les éléments nutritifs y sont transformés en vue de leur absorption par la plante
Tensio-actif	Substance modifiant la tension superficielle entre deux surfaces.
Terpènes	Classe d'hydrocarbures, produits par de nombreuses plantes, en particulier les conifères. Ce sont des composants majeurs de la résine et de l'essence de térébenthine produite à partir de résine.
Thalles	Appareil végétatif des plantes inférieures sans feuilles, tiges ni racines (algues, champignons, lichens).
Ulvane	Polysaccharides anioniques sulfatés solubles dans l'eau extraits d'algues vertes de type ulve ou entéromorphe.

Préambule

Au début de l'été 2018, M. Luc Côté, coordonnateur et analyste de projets à la Direction des analyses et des politiques des pêches et de l'aquaculture commerciale au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et M. Claude Côté, directeur du créneau Ressources, Sciences et Technologies marines (RSTM) pour la région du Bas-Saint-Laurent ont entrepris une réflexion sur l'état des lieux concernant la récolte, la transformation, la valorisation des macroalgues au Québec, y incluant les efforts réalisés pour développer la culture de macroalgues, dans les trois régions du Québec maritime qui regroupe les régions administratives du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine et de la Côte-Nord.

Dans le cadre de leur réflexion, ils ont constaté ce qui suit :

- L'absence de documentation sur les entreprises québécoises qui transforment et valorisent la biomasse algale présente dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent
- L'absence de description des liens entre ces entreprises et la ressource algale disponible au Québec
- La dichotomie existante entre deux régions qui s'intéressent à valoriser la biomasse algale au Québec. D'une part, la région de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine qui regroupe à la fois des entreprises qui valorisent la vente d'algues fraîches et qui s'intéressent à la production de plantules dans le but de développer l'algoculture et d'autre part la région du Bas-Saint-Laurent qui regroupe des entreprises qui récoltent, utilisent et valorisent les ingrédients actifs des algues pour des marchés en lien avec l'agriculture, l'horticulture et les produits de santé naturelle.

En 2020, on estimait, la valeur ajoutée totale par le secteur des algues au Québec entre 19,5 millions $ et 23,9 millions $. La filière algale telle qu'elle existe aujourd'hui au Québec fournit entre 80 et 90 emplois (équivalent temps plein annuel) dans la récolte comme dans la transformation primaire. Par transformation primaire, nous entendons l'extraction d'ingrédients ou de composés à être incorporés dans d'autres formulations, de même que leur conditionnement pour utilisation en alimentation. Soulignons qu'il existe également des canaux de distribution dédiés.

Dans leur démarche, ils ont recensé plusieurs études et travaux de recherche faisant état d'un potentiel d'utilisation et de valorisation de la biomasse algale au Québec et des résultats d'expérimentations avec certaines espèces d'algues offrant des possibilités de croissance en milieu naturel. Malgré une littérature abondante sur les macroalgues, ils ont constaté qu'aucune étude de nature économique et portant sur la chaîne de valeur des macroalgues n'avait retenu l'attention des chercheurs.

Considérant qu'il serait pertinent d'avoir un portrait global de la situation afin d'aider les entreprises qui réalisent des activités en lien avec la cueillette, la transformation et la culture de macroalgues, le créneau

RSTM a déposé, en collaboration avec le CRIBIQ, une demande d'aide financière auprès du MAPAQ, du ministère de l'Économie et de l'Innovation et du Secrétariat à la Stratégie maritime du Québec afin d'obtenir les fonds nécessaires pour mener une enquête auprès des entreprises concernées et décrire l'état actuel de la chaîne de valeur de la filière algale au Québec. Nous profitons de l'occasion pour remercier les différents bailleurs de fonds pour leur soutien financier à la réalisation de cette étude. Celle-ci porte sur l'état des lieux en 2020 et qui visait à identifier des marchés d'intérêt pour les entreprises du Québec, qui depuis plus d'une dizaine d'années, s'intéressent au développement de ce secteur d'activité. Afin de nous aider à mieux cerner l'état de la chaîne de valeur des macroalgues et de ses possibilités de développement au Québec, un tableau relativement complet a été produit sur la situation du secteur des macroalgues dans les pays nordiques, en particulier ceux de l'Atlantique nord, lesquels présentent certaines caractéristiques et spécificités d'intérêt liées aux conditions écosystémiques, notamment en milieu d'eaux froides. Il s'agissait aussi d'identifier, parmi ces caractéristiques et spécificités, des similitudes avec le secteur des algues au Québec, notamment pour en tirer des opportunités et orientations de développement.

Tant du côté européen que celui du nord-est des États-Unis, ce secteur d'activité retient de plus en plus l'attention de différents groupes d'intérêt. À titre d'exemple, soulignons la présence de GreenWave, une organisation nord-américaine à but non lucratif, axée sur le développement de techniques d'agriculture régénérative pour l'aquaculture, appelée « agriculture 3D océanique» pour créer du carbone bleu.

En agissant ainsi, nous voulions valider la possibilité de nous inspirer de ces grandes tendances observées pour identifier des pistes de développement pour ce secteur d'activité au Québec.

Malgré le fait que nous nous sommes heurtés aux aspects de confidentialité des données et du nombre limité d'entreprises évoluant dans ce secteur d'activité, nous croyons avoir réussi à brosser un portrait relativement complet de l'état de la situation au Québec, de son importance relative, des obstacles à son développement et des opportunités à saisir pour développer une véritable chaîne de valeur de la filière algue au Québec.

Soulignons que la présente étude porte essentiellement sur les macroalgues récoltées**,** à savoir les principales espèces, leurs modes de production et de transformation, leurs principales applications commerciales, les prévisions commerciales mondiales pour la période 2016-2026 de même que les principaux intervenants de cette industrie.

Nous souhaitons que les éléments d'information que nous vous livrons dans cette étude serviront à alimenter une réflexion globale sur les actions à poser pour structurer et canaliser les efforts consentis jusqu'à aujourd'hui et à déployer avec tous les acteurs concernés au cours des prochaines années.

A. LES MACROALGUES DANS LES PAYS NORDIQUES :

MARCHÉS, VALORISATION INDUSTRIELLE ET ÉTAT DE L'INNOVATION

1. Portrait de la valorisation industrielle des macroalgues dans le monde

1.1 Introduction

Les algues sont des végétaux chlorophylliens aquatiques ne possédant ni racines, ni feuilles, ni fleurs, ni vaisseaux, ni graines. Elles se développent par photosynthèse à partir d'éléments simples comme le dioxyde de carbone (CO_2), l'eau, l'énergie lumineuse et les sels minéraux. Les différences entre macroalgues et microalgues portent essentiellement sur leur taille.

Les **microalgues**, ou algues microscopiques, composent le phytoplancton et sont à la base de la chaîne alimentaire marine. Elles sont utilisées en aquaculture où elles se trouvent à la base de l'alimentation de nombreuses espèces cultivées, comme les bivalves filtreurs. Elles leur apportent les vitamines et les acides gras polyinsaturés nécessaires à leur développement, qu'ils ne savent pas synthétiser eux-mêmes. En 2012, le CRIBIQ a déjà réalisé une étude en collaboration avec l'UQAR intitulée : *Aspects technologiques et commerciaux de la valorisation industrielle des microalgues dans les secteurs nutraceutique et énergétique.* Contrairement aux microalgues, les **macroalgues** désignent les grandes algues et algues géantes. Elles se développent surtout dans les eaux peu profondes. Les algues provenant des mers chaudes mesurent rarement plus de 30 cm, alors que celles des mers plus froides mesurent entre 1 et 10 mètres, voire plus. Les plus grandes étant les macrocystis (algues brunes) qui peuvent atteindre une quarantaine de mètres. Elles se classent en trois catégories : rouges, vertes ou brunes, selon leur type de pigments. Leur structure principale est constituée de métabolites primaires (protéines, lipides et polysaccharides). De plus, elles produisent aussi des composés bioactifs intéressants (métabolites secondaires) qui peuvent avoir des applications intéressantes dans plusieurs secteurs (cosmétique, nutraceutique et pharmaceutique).

La teneur élevée en protéines de qualité et fibres alimentaires avec un contenu plutôt faible en lipides rend les algues comestibles intéressantes du point de vue de l'alimentation humaine et animale. Leurs teneurs élevées en minéraux, composés phénoliques antioxydants et vitamines sont aussi d'intérêt. Elles peuvent aussi être une source intéressante d'acides gras polyinsaturés et essentiels, comme les omega-3 et omega-6.

Les composés bioactifs des algues font toujours l'objet de recherche sur leurs propriétés pharmacologiques. On leurs a ainsi identifié des propriétés anticancer, antivirales, antifongiques, antidiabétiques, antihypertensives, antibiotiques, antiparasites, antioxydantes, anti-ulcères, neuroprotectrices et protectrices contre les UV.

Dans le domaine cosmétique, les macroalgues sont une source d'agents colorants, texturisant, stabilisants et émulsifiants de même que de molécules bioactives pour les soins de la peau. Étant des organismes photosynthétiques, elles génèrent des composés qui absorbent les rayons UV tels que des caroténoïdes, des terpènes, des acides aminés et des composés phénoliques qui peuvent servir à formuler des écrans solaires.

Compte tenu de tout ce potentiel, les macroalgues sont considérées comme une ressource durable avec une exploitation raisonnée et soucieuse de la préservation de la ressource; pour le futur et leur demande sur les marchés est en forte croissance et conséquemment leur production aussi. De plus, leur production biologique par photosynthèse entraîne du stockage de carbone, ce qui fait de cette ressource un puit de carbone marin. Ainsi, utiliser ces algues pour produire de l'énergie, tant que cette utilisation ne génère pas de CO2 en elle-même, et des produits biosourcés permet de réduire les émissions de CO2. De plus, en captant certains nutriments organiques dissous, comme l'azote, le phosphore et le carbone, les algues contribuent à prévenir l'eutrophisation des mers et des océans.

Face à ce grand défi de nourrir la planète, la culture de macroalgues présente l'énorme avantage de ne pas utiliser les ressources avec les terres arables, l'eau douce et les fertilisants agricoles traditionnels.

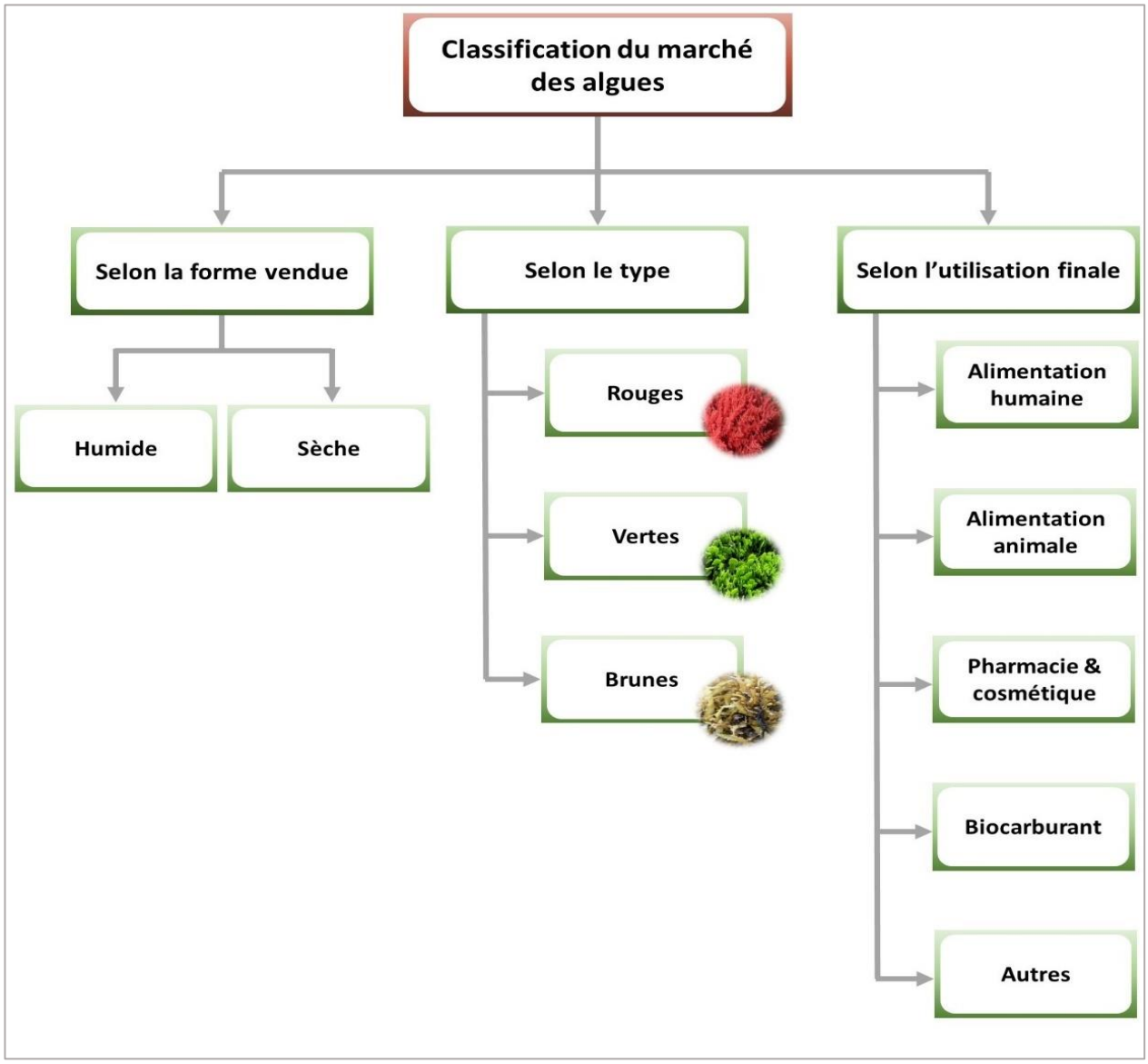


Figure 1. Segmentation du marché mondial des macroalgues (adapté de Global Market Insights)

La figure 1 illustre la structure de segmentation de l'industrie des macroalgues et de ses différents marchés. On constate que l'industrie est segmentée en fonction des trois grandes espèces d'algues (rouges, vertes et brunes), décrites précédemment.

Le marché est aussi segmenté en fonction de ses principales applications commerciales regroupées ici en cinq (5) grandes catégories : nourriture humaine, alimentation animale, pharmacie et soins personnels, biocarburants et autres produits incluant des fertilisants, des textiles, des agents de traitement des eaux, etc. Le marché, tout comme la ressource, se divise entre les algues rouges, vertes et brunes.

La figure 1 illustre également, en fonction des applications finales visées, qu'il y aura segmentation selon la forme souhaitée et conséquemment le traitement requis des algues brutes, soit humide ou sèche.

Les grands marchés régionaux sont ici regroupés en 5 grandes régions, soit l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie-Pacifique, l'Amérique Latine et l'Afrique/Moyen-Orient. Les estimations et prévisions de marché qui suivront plus loin ont été établies selon ces regroupements, pour mieux y déceler les grandes tendances pour les prochaines années.

1.2 Principales espèces d'intérêt commercial

Les macroalgues marines sont des organismes végétaux pluricellulaires, qui se développent par l'apport de nutriments minéraux, de carbone atmosphérique et de lumière. Contrairement aux algues unicellulaires (microalgues), la plupart de ces algues marines ont la particularité de se développer de manière sédentaire en se fixant à un support solide inerte (rocher, galet, coquille, structure artificielle) ou une autre algue (on les nomme alors épiphytes). Leur recouvrement peut s'étendre sur des grands espaces formant des champs ou forêts, souvent comparés au système terrestre. Néanmoins, en raison de la nécessité de lumière, la colonisation des macroalgues se limite du rivage jusqu'à environ 30 mètres de profondeur en mer. Elles se caractérisent par des structures biologiques diverses allant de simples filaments de quelques centimètres à des thalles mesurant plusieurs dizaines de mètres de long, avec des couleurs très variables. Les différentes pigmentations des macroalgues avaient permis de classer ce grand groupe en trois entités distinctes, celle des algues brunes, celle des algues rouges et celle des algues vertes. On répertorie aujourd'hui à travers le monde, **6000 espèces d'algues rouges**, **1800 espèces d'algues brunes** et approximativement **1200 espèces d'algues vertes**. La figure 2 illustre la répartition des trois principales classes d'algues selon l'utilisation commerciale et sur la figure 3, il est illustré la croissance mondiale des algues selon le type d'algues jusqu'en 2019 et les prévisions jusqu'en 2026.

Les couleurs des algues sont dues à la présence de pigments spécifiques qui captent les différentes couleurs de lumière nécessaires à leur croissance. Selon la profondeur de l'eau, toutes les couleurs composant le spectre de la lumière ne sont pas présentes. Par exemple, la lumière « rouge » n'est présente qu'à de faibles profondeurs; les algues vertes, ayant besoin de cette lumière pour leur développement, se trouvent donc plutôt en surface. À l'opposé, les algues rouges qui absorbent les longueurs d'onde bleues peuvent vivre jusqu'à 100 mètres de profondeur. Chaque espèce d'algue a des caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques particulières.

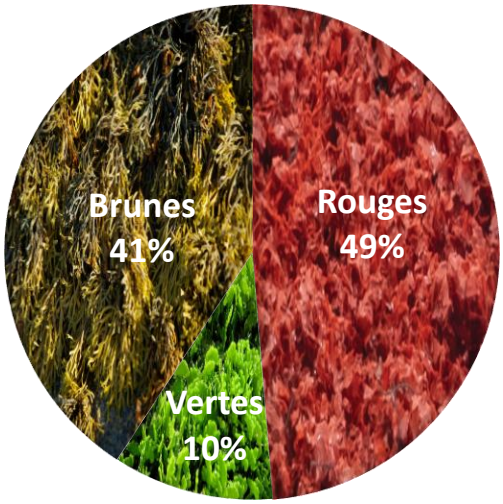


Figure 2. Répartition des macroalgues exploitées commercialement selon les types

Parmi les milliers d'espèces de macroalgues marines connues, seules quelques-unes sont utilisées dans l'alimentation humaine, et ce, bien qu'aucune ne soit toxique.

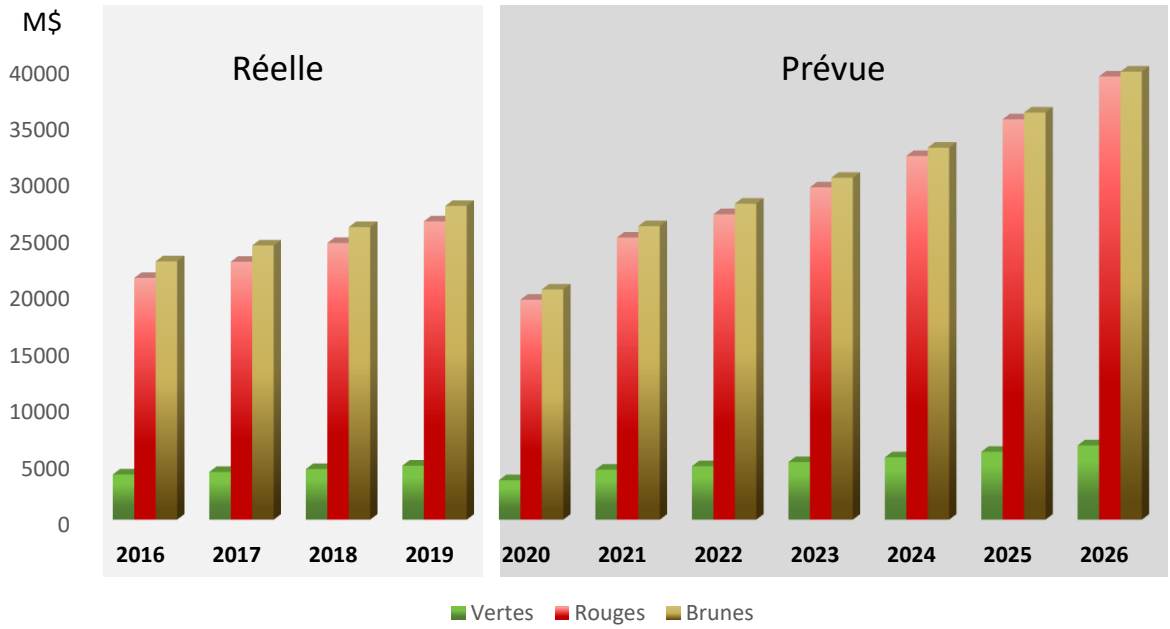


Figure 3. Marché global des macroalgues selon l'espèce, 2016-2026, en M$

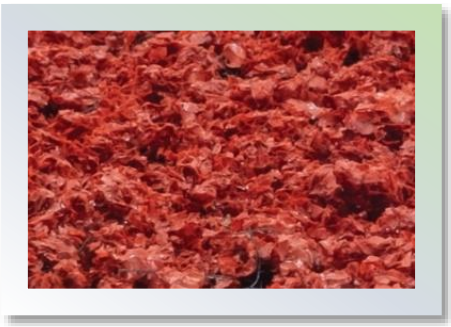
(adapté de Global Market Insights)

1.2.1 Les algues brunes (*Phéophycées*)

Les Phéophycées, ou algues brunes, sont presque exclusivement marines. Par leur taille et par leur abondance, certaines d'entre elles jouent un rôle très important dans la végétation des diverses mers. Les peuplements étendus de Laminariales abritent une faune variée de poissons et de crustacés comestibles qui y trouvent une nourriture abondante.

Les algues brunes sont les algues les plus cultivés dans le monde. Elles sont utilisées beaucoup pour l'extraction des alginates, la fabrication des polymères biodégradables, mais aussi pour la production des engrais agricoles. Les algues brunes les plus connues du point de vue commercial sont celles des genres *Laminaria, Ascophyllum, Saccharina, Macrocystis, etc.* Outre les utilisations industrielles, il y a lieu de noter qu'au Japon certaines Laminaires sont largement exploitées pour l'alimentation humaine sous le nom de *kombu*.

1.2.2 Les algues rouges (rhodophycées)



Les Rhodophycées sont des algues eucaryotes à cellules souvent plurinucléées. Leurs plastes (rhodoplastes), rarement uniques dans les cellules et ordinairement dépourvus de pyrénoïde, renferment de la chlorophylle *a* associée à des caroténoïdes. La couleur verte de la chlorophylle est masquée par des phycobiliprotéines : la r-phycoérythrine et la r-phycocyanine, la première étant la plus abondante et souvent la seule présente. L'ultrastructure des rhodoplastes est particulière : les thylacoïdes, isolés les uns des autres (cf. plastes), portent, sur leur face externe, des phycobilisomes renfermant les phycobiliprotéines.

La paroi cellulaire est constituée de cellulose associée à des polyholosides à base de galactose et en partie estérifiée par de l'acide sulfurique (agar-agar, carragahénine). Pour cette raison les algues rouges sont utilisées principalement pour la production de l'agar-agar et du carraghénane. Certaines Rhodophycées fixent du carbonate de calcium, associé à de moindres quantités de carbonate de magnésium, dans leur paroi cellulaire sous forme de calcite (Cora linacées). Chez d'autres, le carbonate de calcium, sous forme d'aragonite, se dépose dans le mucilage intercellulaire (*Liagora, Galaxaura*).

Les produits du métabolisme sont surtout constitués par des grains d'un amidon caractéristique, l'*amidon floridéen*, qui se distingue de celui des plantes supérieures et des Algues vertes par le mode de liaison des molécules de glucose et par sa localisation dans le cytoplasme et non dans les plastes.

1.2.3 Les algues vertes (Chlorophycées)

Les algues vertes ou les Chlorophycées est due à la présence de chlorophylle de type a et b. Les principaux genres d'intérêt commercial sont les *Chlorella* et les *Ulva*. LEs algues vertes se trouvent à la base de la chaîne alimentaire en étant la source alimentaire de base du phytoplancton.

Représentant seulement 10,46% de la production mondiale des algues, les algues vertes sont essentiellement utilisées pour la production d'engrais, mais aussi pour la production des combustibles alternatifs et comme ingrédient pour cosmétiques. Elles sont utilisées également dans l'alimentation humaine directe.

1.2.4 Modes de production

L'algoculture (ou phycoculture) représente environ 94% de la production mondiale de macroalgues, le restant étant occupé par la récolte des algues à l'état sauvage. Même si les premiers sites d'algoculture ont été identifiés au Japon (fin des années 1600), la Chine est actuellement de loin le plus grand producteur d'algues via l'algoculture.

1.2.4.1 Récolte à l'état sauvage

Plusieurs techniques manuelles ou mécanisées sont utilisées pour récolter (ou cueillir) les algues selon leur type, leur localisation et les normes permises par les différents pays. La figure 4 présente l'évolution de la récolte des algues à l'état sauvage dans quelques pays nordiques de 2006 à 2015. Il est intéressant de mentionner que la Norvège se démarque avec une récolte de plus de 147 kt en 2015, tandis qu'au niveau canadien, la récolte a diminué d'environs de trois fois entre 2010 et 2015.

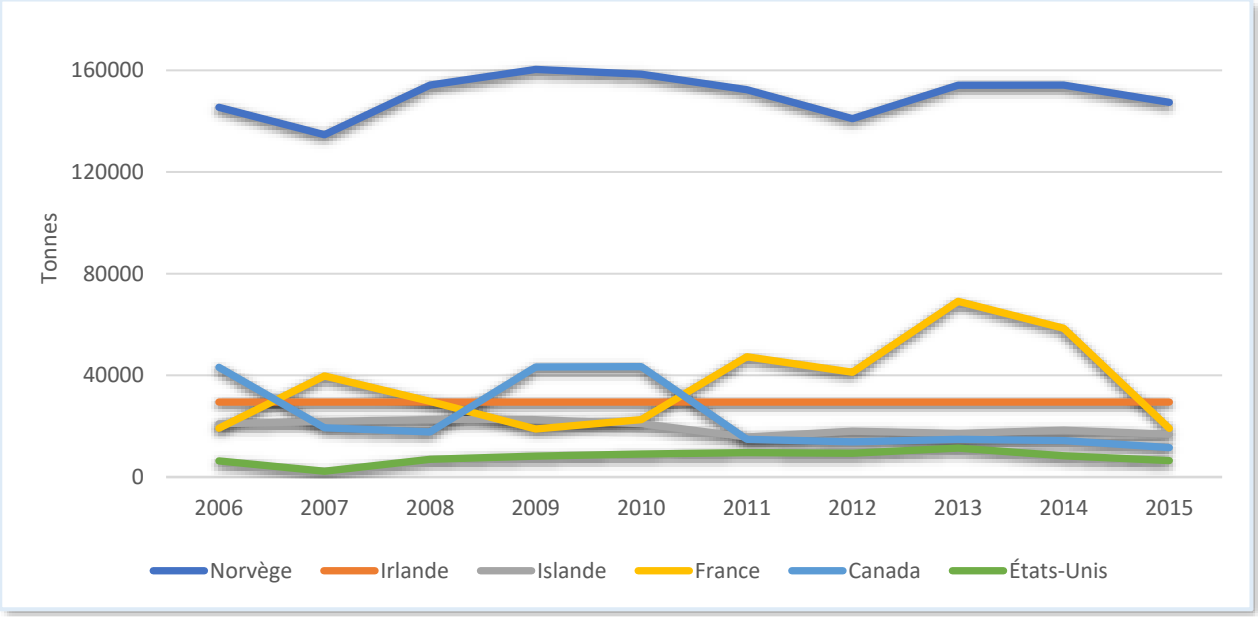


Figure 4. Récolte des algues à l'état sauvage (adaptée de FAO, 2018)

La récolte manuelle à pied

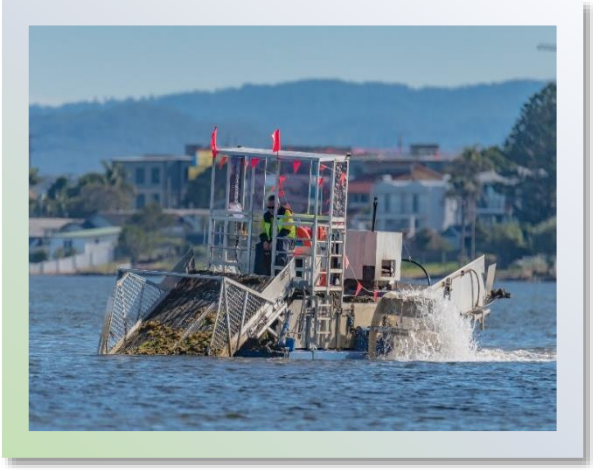
La récolte manuelle des macroalgues se fait habituellement à marée basse lorsque la zone intertidale est découverte et que les algues sont accessibles à pied à partir du rivage. Il est aussi possible de cueillir les algues qui restent immergées dans moins d'un mètre d'eau à marée basse, comme les laminaires, avec un peu plus de matériel. Finalement, la plongée sous-marine ou l'apnée permettent également de sélectionner et de couper les espèces immergées tout en maintenant une excellente qualité du produit récolté, mais cette méthode est plus coûteuse et présente certains risques. Les algues visées par la récolte manuelle sont vivantes et doivent rester fixées à leur substrat (roches, galets, etc.). L'utilisation d'outils tranchants tels que des couteaux, des serpes, ou des faucilles permet de couper les algues sans les arracher, afin qu'elles se régénèrent. En respectant certaines règles de base pour la coupe, les algues pourront être à nouveau cueillies sur le même site après un intervalle de temps correspondant à la rotation des coupes. Au Canada, le MPO exige une rotation de site de coupe aux trois ans. Pour plus d'information sur la culture et la cueillette des macroalgues au Québec, il est possible de

consulter le « Manuel pour la récolte commerciale des macroalgues au Québec » publié par Merinov en 2016.

La récolte des algues échouées

La récolte d'algues échouées peut se faire à l'aide d'outils tels que des râteaux ou des fourches. Les algues échouées peuvent être ensuite rassemblées en monticules, puis chargées et transportées à l'aide d'engins adaptés (pinces, tracteurs, brouettes, remorques, etc.). Pour éviter d'endommager les zones couvertes de plantes de bord de mer avec ses outils ou ses engins mécanisés, le récolteur doit les contourner. De plus, si les algues récoltées doivent être déposées sur des terrains, hors des zones sablonneuses, accessibles aux véhicules de chargement, il faut s'assurer d'obtenir les autorisations des riverains. Au Québec, l'utilisation d'engins motorisés (tracteurs ou autres) est soumise à certaines autorisations sous des conditions spéciales (comme pour le déplacement d'algues récoltés manuellement).

La récolte mécanisée à partir d'une embarcation



La récolte mécanisée n'est pas autorisée au Québec pour des raisons écologiques, mais plusieurs engins ont été développés et sont utilisés dans d'autres pays, états ou provinces maritimes. Par exemple, le « scoubidou » utilise un bras hydraulique pour arracher les laminaires digitées en France (Bretagne). Cette technique n'endommage pas le fond marin si les algues sont fixées sur des fonds entièrement rocheux ou sur de gros rochers. Cependant, si les algues sont fixées sur de petits galets déposés sur du sable ou de la vase, le « scoubidou » remontera les galets avec les algues, et modifiera ainsi progressivement le fond marin tout en empêchant sa recolonisation par les algues. Dans le Maine et en Nouvelle-Écosse, des râteaux à dents aiguisées sont employés à partir de bateaux à marée haute pour récolter les fucacées. Des moissonneuses sont aussi

utilisées en Norvège, au Danemark et dans le Maine pour couper les ascophylles mécaniquement à une certaine hauteur. Finalement, la Norvège et la France utilisent un peigne (drague pourvue de lames) sur les fonds rocheux plats pour récolter la laminaire nordique (Laminaria hyperborea), mais les dommages au fond marin peuvent être considérables.

1.2.4.2 L'algoculture

Les algues ont traditionnellement été récoltées en milieu naturel. Par ailleurs, l'algoculture s'est considérablement développée pour faire face à la croissance de la demande si bien qu'aujourd'hui, les algues cultivées représentent environ 95 % de la production mondiale contre 5 % pour les algues sauvages. L'algoculture a permis d'accroître considérablement la production annuelle, principalement concentrée en Asie. À côté des grands producteurs traditionnels (Chine, Japon, Corée du Sud) sont apparus de nouveaux producteurs (Chili, Philippines, Indonésie). L'importance économique de l'aquaculture s'est accrue au cours de la décennie 1970. Faute de données globales très anciennes, il est difficile de chiffrer l'évolution de la production. La cueillette s'effectue lorsque celle-ci a atteint sa taille maximale. Toutes les espèces d'algues ne sont pas encore cultivables. Un changement technologique fondamental a permis depuis une trentaine d'années d'accroître la production par algoculture, dans des proportions que la biomasse naturelle n'autorisait pas. Cette révolution aquacole est issue de la meilleure maîtrise du cycle écologique (ou technique de production) de nombreuses espèces d'algues cultivées en champs marins. Par ailleurs, si les trois grandes familles d'algues rassemblent plusieurs milliers d'espèces, une centaine seulement est utilisée par les sociétés humaines (principalement les *Laminaria sp., Macrocystis sp., Ascophyllum nodosum et Undaria sp.*, parmi les algues brunes, et les *Eucheuma sp., Iridea, Gracilaria sp., Porphyra sp., Chondrus crispus,* parmi les algues rouges). Un nombre considérable d'espèces du même genre est cultivé, preuve du peu d'avancement de la recherche, génétique notamment, qui pourrait permettre de valoriser de nouvelles espèces dont les propriétés sont encore peu connues.

Les contraintes de production de macroalgues peuvent s'avérer très importantes. Les environnements marins sont beaucoup plus instables que les milieux terrestres. Les variations soudaines et ponctuelles des conditions écologiques du milieu aquatique (chute de production liée à l'El Ninio ou à la prolifération des oursins aux États-Unis, etc.) peuvent entraîner des fluctuations ponctuelles et imprévues des récoltes. L'algoculture peut aussi faire face à des conflits d'usage avec d'autres activités aquatiques comme le nautisme, les activités portuaires polluantes, etc.

Le coût de production des algues cultivées demeure aussi un enjeu important dans un marché très compétitif. Comme on l'a vu, la production est principalement concentrée en Asie qui bénéficie

d'avantages comparatifs comme une main-d'œuvre abondante et bon marché, un cycle de reproduction plus court à cause de la température de l'eau, etc. Les conditions climatiques dans l'hémisphère nord sont beaucoup moins favorables. La culture des algues ne cesse de croître depuis quelques décennies atteignant 31,6 millions de tonnes en 2016. La majeure partie de cette production est réalisée en Asie, soit la Chine (47,9 %), l'Indonésie (38,7 %) et autres pays asiatiques (12,8 %).

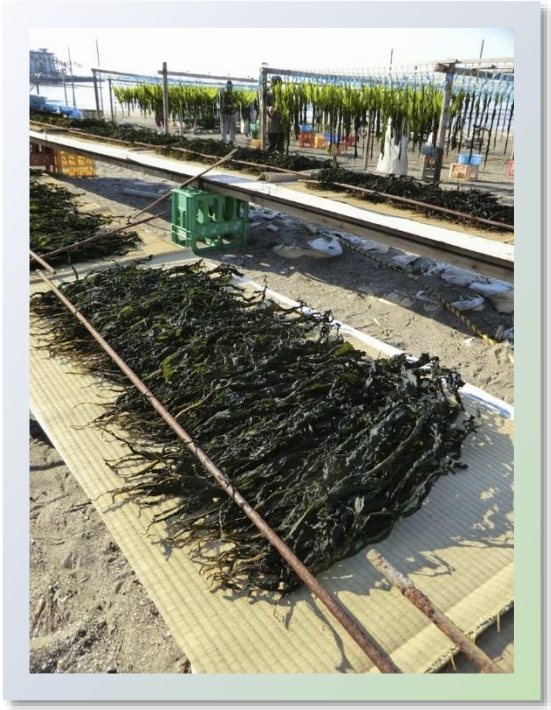
Le taux de croissance des algues de mer et leur teneur en composés bioactifs dépendent beaucoup des conditions de leur environnement, principalement la salinité de l'eau, la quantité de nutriments disponibles, la température, le pH et le rayonnement solaire. On choisit habituellement des algues qui sont natives du lieu où on veut les cultiver. Le producteur a intérêt à bien connaître et maîtriser les conditions spécifiques idéales pour l'espèce qu'il cultive. L'eau doit évidemment être de qualité et exempte de contaminants comme des métaux lourds, de bactéries ou de résidus de pesticides. Comme d'autres espèces de poissons et crustacés, les algues, en se nourrissant, concentrent les substances toxiques présentes dans leur environnement. Mais comme leur durée de vie est moins longue, cette concentration est moins importante.

Techniques d'algoculture

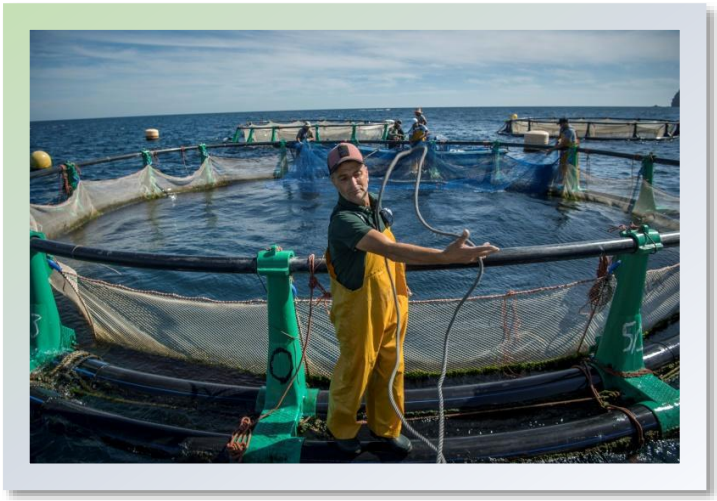
Les modes de cultures varient selon le mode de reproduction des espèces ciblées. Certaines algues se multiplient simplement par voie végétative (*Ulves*); cela permet une culture rapide et facile de la biomasse dans des bassins à terre par exemple. Pour d'autres espèces, qui se multiplient par voie sexuée (algues brunes et algues rouges), une bonne maîtrise du cycle reproductif est nécessaire, avant la mise en culture. Dans ce cas, les semences sont produites en écloseries à terre avant de procéder à la croissance de la biomasse fixée sur des lignes posées en mer (horizontales et verticales). La culture d'algues marines peut être réalisée à terre, sur le bord du rivage, au large ou même dans des systèmes intégrés avec d'autres espèces comme des moules. Le choix du système approprié dépend de plusieurs facteurs comme l'espèce cultivée, le lieu disponible et les infrastructures.

a) Culture à terre (*onshore*)

Cette technique a été introduite dans les années 70. La culture se fait principalement dans divers types de circuits fermés (réservoirs plus ou moins grands, lagunes, étangs, etc.) où l'eau est retenue et agitée pour que les algues soient en suspension et exposées à la lumière du soleil. Le principal avantage de cette technique est qu'il permet au producteur, contrairement à la culture au large, de contrôler les paramètres de production : débit d'entrée et de sortie d'eau, pH, dioxyde de carbone, salinité, photopériode, ensoleillement, ajout de nutriments, etc. Il est ainsi possible d'induire certains stress, avec le pH par exemple, qui vont modifier la teneur de certains composée bioactifs recherchés pour des applications à haute valeur ajoutée. Cette technique permet à la fois d'optimiser la production et d'obtenir des produits plus uniformes et standardisés. On peut l'adapter à une grande variété d'espèces sauf les plus longues et le producteur ne subit pas les inconvénients des tempêtes, marées, vagues, etc. Les principaux inconvénients sont les coûts des infrastructures et d'opération (énergie, main-d'œuvre). Cette technique assez coûteuse est indiquée pour obtenir des produits à haute valeur ajoutée.



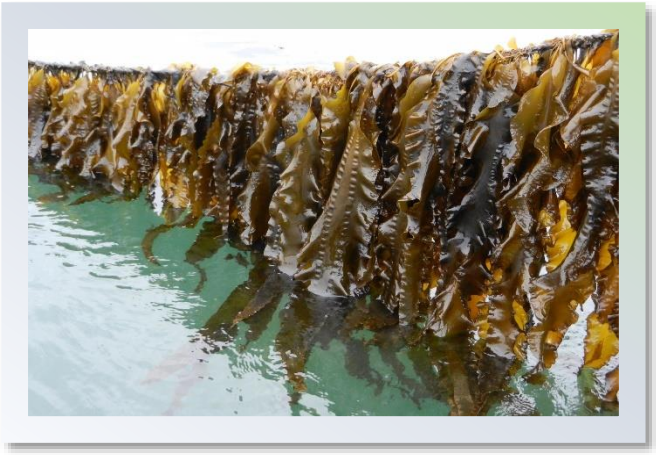
b) Culture au large (*offshore*)



La culture en mer à une certaine distance du rivage est une alternative moins coûteuse à la culture à terre dans des réservoirs. Les diverses méthodes de culture et récolte des algues varient selon l'espèce cultivée. Elles peuvent être soit naturellement fixées au fond de l'océan ou suspendues à des réseaux flottants de cordes ou de filets, technique populaire à cause de son bas coût. Les semences peuvent être attachées directement aux cordes ou transplantées après une période de croissance initiale

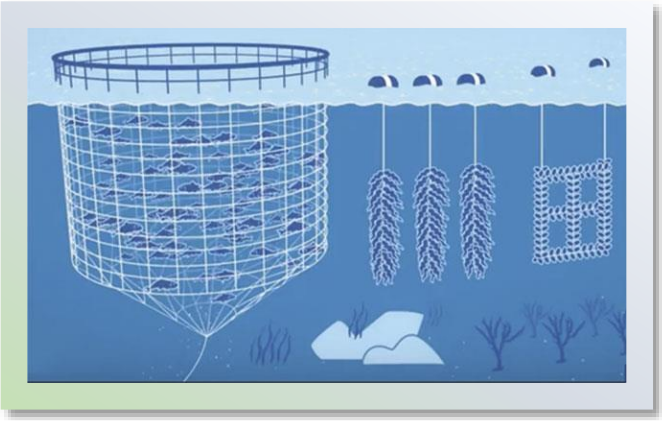
en réservoirs. C'est une technique prometteuse à cause de son coût abordable, mais qui par ailleurs présente des défis importants. En effet, ce type de ferme marine est à la merci des conditions climatiques que l'on peut retrouver en mer et qui peuvent emporter les infrastructures et les algues elles-mêmes. Pour réduire les risques et minimiser les pertes, ce type d'installations doit être à la fois intensif et réparti en différents lieux. On recherche habituellement des lieux où les courants sont suffisamment forts pour transporter des quantités importantes de nutriments. Un autre problème courant de cette technique est la contamination par des organismes, qui viennent se réfugier dans ces grandes laminaires, causant ainsi des pertes de biomasse et obligeant les producteurs dans certains cas à récolter prématurément les algues, avant qu'elles aient atteint leur teneur optimale en polysaccharides, par exemple. Les changements climatiques et les phénomènes comme El Niño, qui peuvent affecter la température et la qualité de l'eau, sont aussi des menaces pour la culture en mer. Il s'agit globalement d'une technique relativement peu coûteuse, mais qui comporte son lot de menaces et de défis. Au Québec, Merinov a réalisé des travaux d'envergure sur l'algoculture dans le cadre d'une chaire industrielle.

c) Culture près du rivage



La culture des algues près du rivage est la technique la plus connue et la plus répandue. Elle est généralement pratiquée dans les estuaires marins et des sites près des côtes. Elle présente les avantages de ne pas être en compétition avec les terres arables et d'être protégées par les terres des fortes marées et tempêtes, principales menaces pour la culture au large. Elle peut aussi permettre la remédiation de certains bassins pollués par des nutriments provenant de l'agriculture. On y utilise en général les mêmes techniques qu'au large, soit des cordes et filets flottants.

d) L’aquaculture multitrophique intégrée



L’aquaculture multitrophique intégrée (ou IMTA pour Integrated Multi-Trophic Aquaculture), fait l’objet de différents travaux de recherche et est appelée à se développer. Elle permet de résoudre certains problèmes environnementaux découlant de l’aquaculture mono-espèce comme l’eutrophisation des cours d’eau, due à l’ajout de nutriments et aux excrétions. Ce système consiste à cultiver de différentes espèces marines à proximité l’une de l’autre, de sorte que les co-produits (résidus organiques et inorganiques) d’une espèce cultivée soient recyclés comme nutriments pour d’autres espèces. De cette façon, il n’est pas nécessaire d’ajouter de fertilisant d’où une économie de coûts. La culture intégrée d’une algue et de mollusques comme des moules est un bon exemple d’IMTA. L’Université du Nouveau-Brunswick se démarque par ses travaux de recherche concernant l’IMTA autant dans des systèmes fermés que dans des systèmes ouverts d’aquaculture.

1.3 Tendances des marchés

1.3.1 Tendances du marché global

La production mondiale des macroalgues a atteint 16,7 millions tonnes de masse humide en 2019. Le ralentissement causé par la pandémie dû à la COVID-19 a diminué considérablement la production. Toutefois, il est prévu qu'en 2022, les volumes produits mondialement atteindront le même tonnage qu'en 2019 et poursuivront une croissance continue pour atteindre 23,8 millions tonnes en 2026, soit un taux de croissance annuel composé de 7,8% (figure 5).

Figure 5. Évolutions de la production et des revenus mondiaux reliés aux macroalgues, 2016-2026 (adapté de Global Market Insights)

En termes de revenus, ce marché avait une valeur de près de 59 G$ en 2019 et on anticipe une valeur supérieure à 85 G$ en 2026, soit un TCAC de 12% sur cette période, ce qui reflèterait une anticipation à la fois des volumes et des prix consécutifs à l'augmentation de la demande.

Les taux de croissance sont estimés encore plus élevés en termes de valeur monétaire. Les marchés des algues rouges et brunes atteindraient des niveaux similaires de l'ordre de 39 G$ en 2026. Globalement, le marché des algues, toutes espèces confondues, dépasserait les 85 G$ avec un TCAC remarquable de 12% sur la période 2020-2026.

1.3.2 Tendances selon les applications commerciales

Les algues peuvent être vendues soit sous forme humide ou sous forme sèche selon l'usage que l'on veut en faire. La figure 6 représente les principales applications des algues en fonction de la forme sèche ou humide au niveau mondial. La quasi-totalité des algues commercialisées sous la forme humide est destinée à l'alimentation humaine directe (94,4%). Pour les algues vendues sous forme sèche, environ un tier est destiné à l'extraction des ingrédients utilisés dans l'industrie alimentaire, un peu plus d'un quart est utilisé dans le secteur pharmaceutique et cosmétique et le reste est destiné à l'alimentation animale, la production des biocarburants et d'environ 10% est destinée à d'autres applications, comme les engrais.

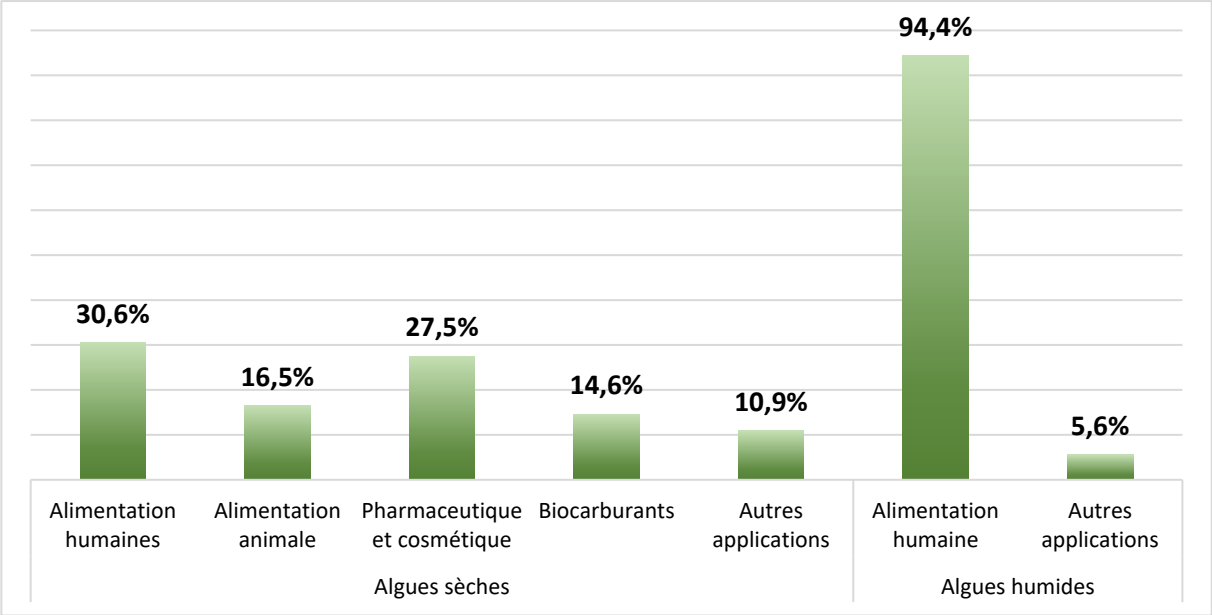


Figure 6: Utilisation des macroalgues selon la forme (sèches ou humides)

On anticipe que la demande pour les algues humides va progresser de 8 % de 2019 à 2026 en volume et de 10,5% en valeur monétaire. Comme on peut le constater dans la figure 6, environ 95% des algues

humides sont dédiées à l'alimentation humaine (consommation directe et extraction des hydrocolloïdes) et cette proportion restera relativement stable dans le temps.

Il a été estimé qu'en 2026, les algues humides pourraient représenter un marché mondial de 16,6 G$ dont 92,6% seraient générés par l'alimentation humaine avec un TCAC de 10,5%. Au cours de la même période, le marché des macroalgues séchées va générer des revenus de 68,9 G$, principalement dans le secteur des produits pharmaceutiques et cosmétiques (75%) suivi de l'alimentation humaine (16%). On anticipe que la croissance de la demande pour la forme sèche (TCAC de 12,4%) sera même supérieure à la forme humide (TCAC de 10,5%)

Le marché global des macroalgues qui était de 16 728 kt en 2019 augmentera à 23 778 kt en 2026, ce qui représente un TCAC de 7,8%. Il est intéressant de noter que même si d'autres applications commerciales sont en développement, la proportion qui sera consacrée à l'alimentation humaine va demeurer stable, soit environ 85%.

L'alimentation animale devrait connaître une expansion notable surtout comme additif alimentaire particulièrement dans les régions côtières. Le produit contient de grandes quantités d'ingrédients essentiels comme le potassium, le phosphore, le calcium, le sodium, le magnésium, le chlore et le soufre.

La biomasse macroalgue peut être convertie en biocarburants par différents procédés comme la fermentation, le traitement thermique et la digestion anaérobie. Les besoins croissants en énergie vont favoriser la demande pour des biocarburants comme substituts aux combustibles fossiles.

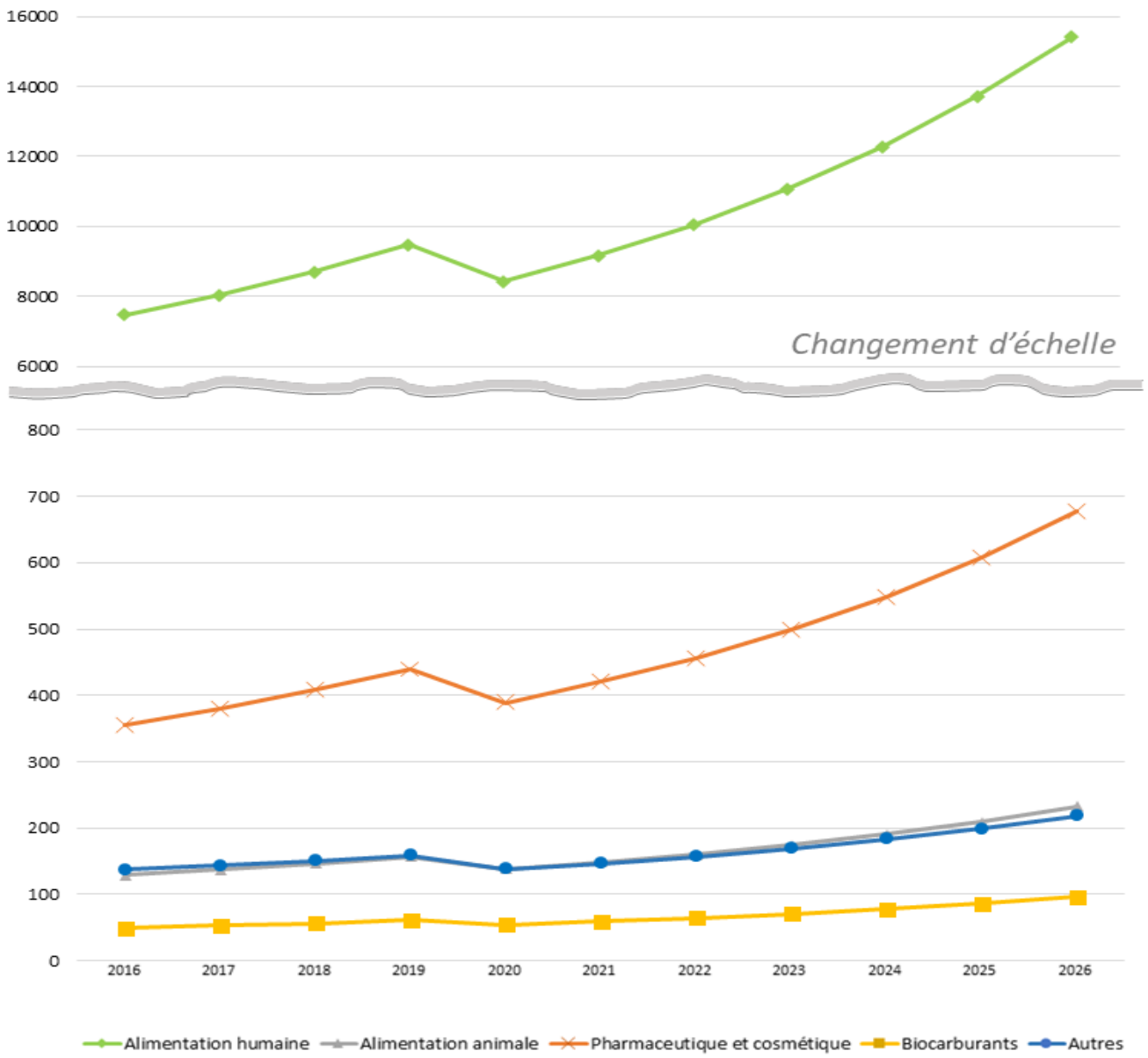


Figure 7. Évolution du marché des algues humides par applications, 2016-2026 (en M$) (adapté de Global Market Insights)

Sur une base monétaire, la croissance sera encore plus notable due à une augmentation des prix consécutive à une augmentation de la demande. Ainsi, le volume global qui était de près de 59 G$ en 2019 devrait dépasser 85 G$ en 2026, soit une croissance annuelle de 12%. Par ailleurs, si le secteur de l'alimentation humaine accapare 85% du tonnage contre environ 5% pour la pharmacie et soins corporels, le portrait est totalement différent sur une base monétaire. Les applications à petits volumes et grande valeur ajoutée que sont la pharmacie et les soins corporels vont continuer de générer environ 60% des revenus comme c'est le cas présentement. L'alimentation humaine arrive en second lieu avec une proportion d'environ 30%, sans grand changement par rapport à la situation actuelle. À noter que

l'ensemble des cinq secteurs connaîtrait des taux de croissance importants et assez similaires (TCAC de 10,6% à 12,4%).

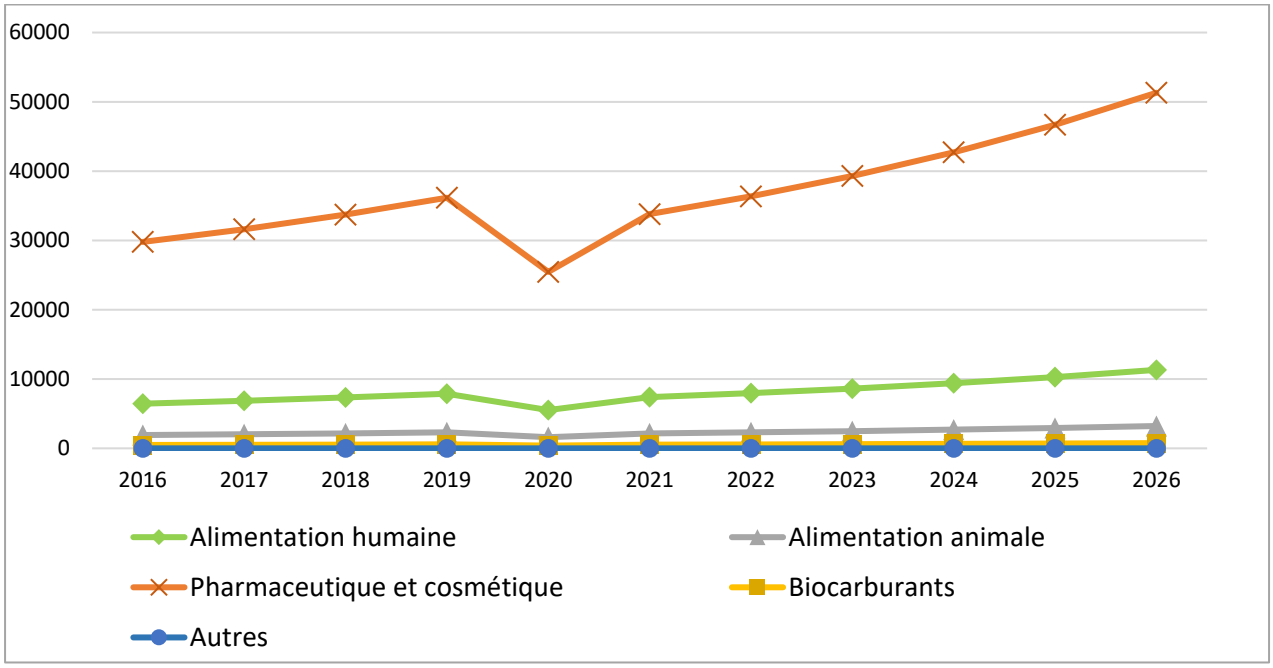


Figure 8. Marché des algues sèches par applications, 2016-2026 (en M$)

(adapté de Global Market Insights)

1.3.3 Tendances régionales

Considérons maintenant l'évolution du marché sur une base régionale. Comme on l'a vu précédemment, l'Asie-Pacifique a historiquement accaparé la plus grosse part du marché, soit 83% sur une base de tonnage en 2019 (figure 9). Pour la période 2020-2026, on estime que le volume global devrait progresser de 16 728 kt à 23 778 kt (TCAC 7,8%). Par ailleurs, on estime que la répartition régionale resterait à peu près la même. La figure 10 indique la répartition géographique, mais cette fois, sur une base de revenus. La part de l'Asie-Pacifique est moins grande que sur une base de tonnage, les prix y étant inférieurs à ceux de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

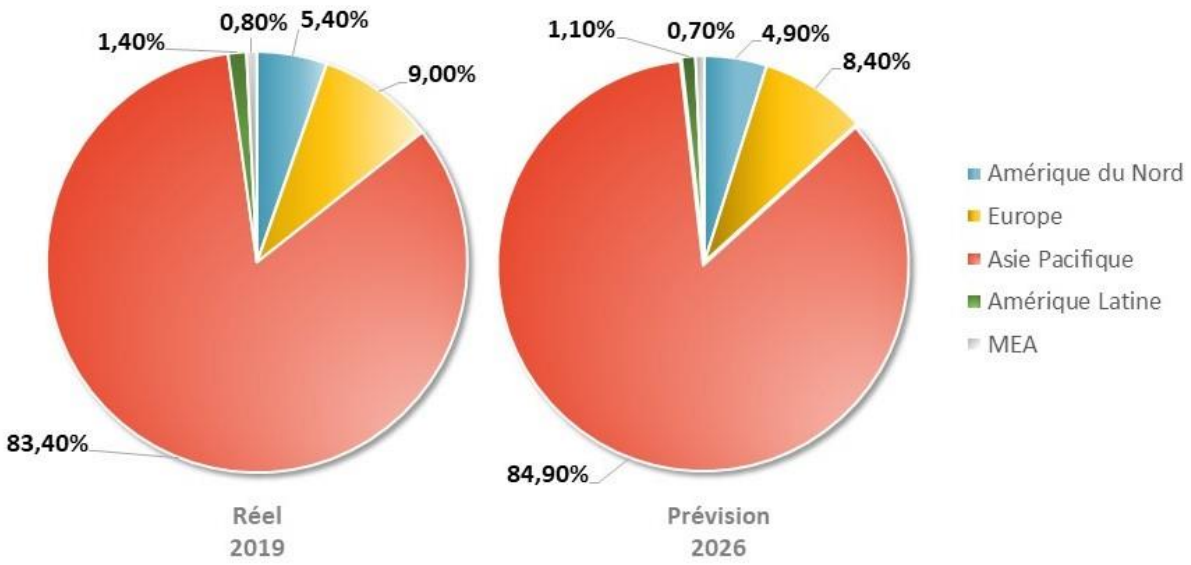


Figure 9 Répartition géographique du marché global des algues selon volume, réel et prévu (adapté de Global Market Insights)

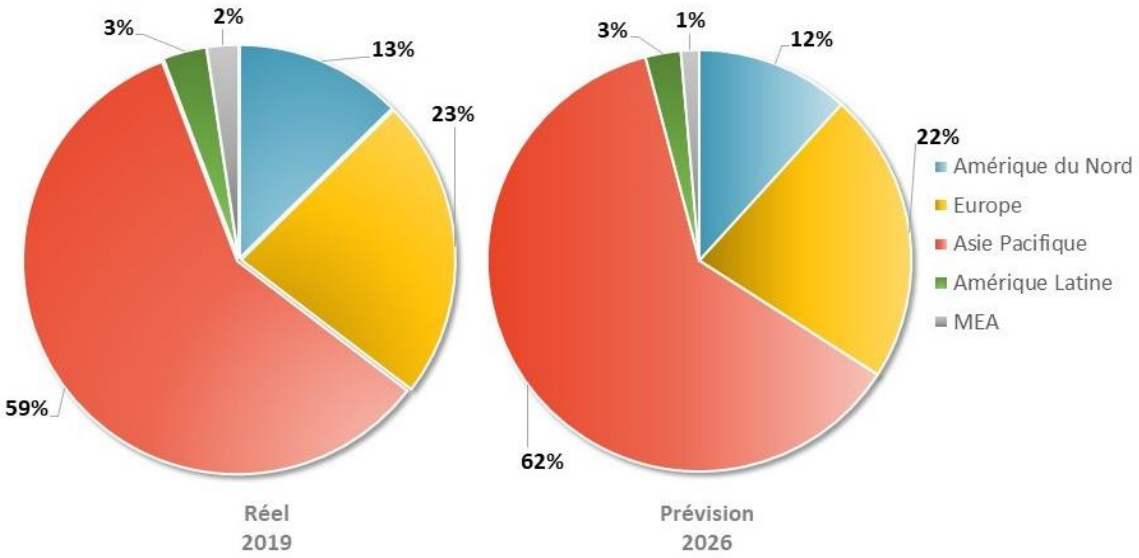


Figure 10 Répartition géographique du marché global des algues selon revenu, réel et prévu (adapté de Global Market Insights)

1.3.4 Tendances du marché canadien

Le marché canadien global des algues était de 185 600 tonnes en 2019 et devrait atteindre environ 226 800 tonnes en 2026, soit un TCAC de 5,5% pendant cette période. En termes de revenus, la valeur du marché canadien en 2019 était de 1,49 G$ en 2019 et on anticipe une valeur de 1,89 G$ en 2026, soit une progression remarquable du TCAC de 9,7% parfaitement en phase avec la croissance mondiale prévue.

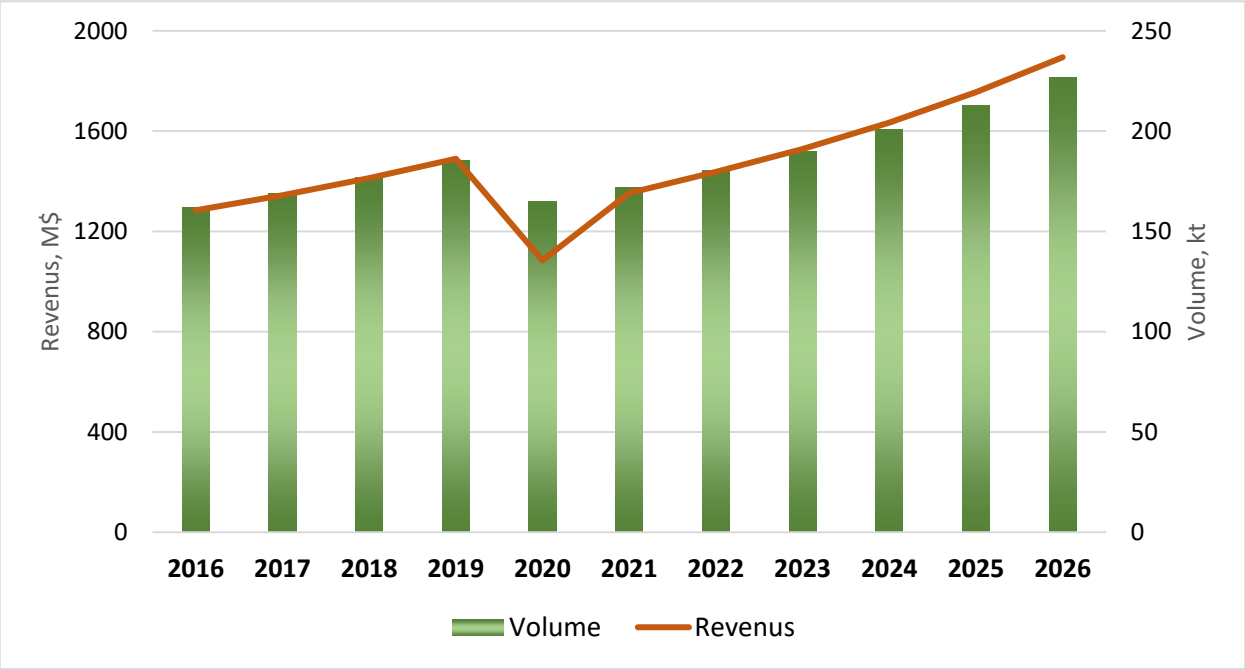


Figure 11. Marché canadien global des macroalgues, estimations et prévisions, 2016-2026 (kt et M$)

Il est possible de consulter l'annexe A pour voir les estimations et prévisions détaillées pour le Canada par espèces, par forme et par applications. À titre comparatif, à l'annexe B nous avons présenté les mêmes estimations et prévisions pour le marché européen. Ce dernier est 8 huit à 10 fois plus important que celui canadien, autant au niveau du volume qu'en matière de revenus. Certainement, cela peut être expliqué par le fait que la population européenne est environ 11 fois plus importante que celle canadienne, toutefois pour des fins d'exportation et de développement du secteur du bioproduits, le Canada aurait plus de perspectives de développement par rapport à l'état actuel, vu le potentiel maritime existant.

1.3.5 Tendances des prix

L'Asie-Pacifique a les prix les plus bas par rapport aux autres régions du globe. Cela est dû à la présence de nombreux petits, moyens et grands fabricants et à la forte demande de produits provenant de divers secteurs d'utilisation. La Chine, l'Indonésie, le Japon et la Corée du Sud sont parmi les principaux pays en

termes de culture d'algues dans le monde. En outre, il y a une grande disponibilité de main-d'œuvre à faibles coûts dans cette région. Tous ces facteurs contribuent à réduire les coûts des algues commerciales.

Les algues commerciales sont devenues rapidement populaires dans les régions de l'Amérique du Nord et de l'Europe au cours des dernières années. Toutefois, l'offre est limitée et n'est pas conforme à la hausse de la demande dans ces régions, ce qui entraîne des prix élevés de la bioressource et des produits dérivés. Comme le montre le graphique, la crise du coronavirus a considérablement affecté la dynamique de la demande d'approvisionnement pour des algues commerciales. En raison de l'arrêt des installations de production, des interdictions de transport et des pénuries de main-d'œuvre, les prix des matières premières nécessaires à la production d'algues commerciales ont chuté rapidement. Cela s'est traduit par une baisse globale des prix des algues commerciales pour l'année 2020.

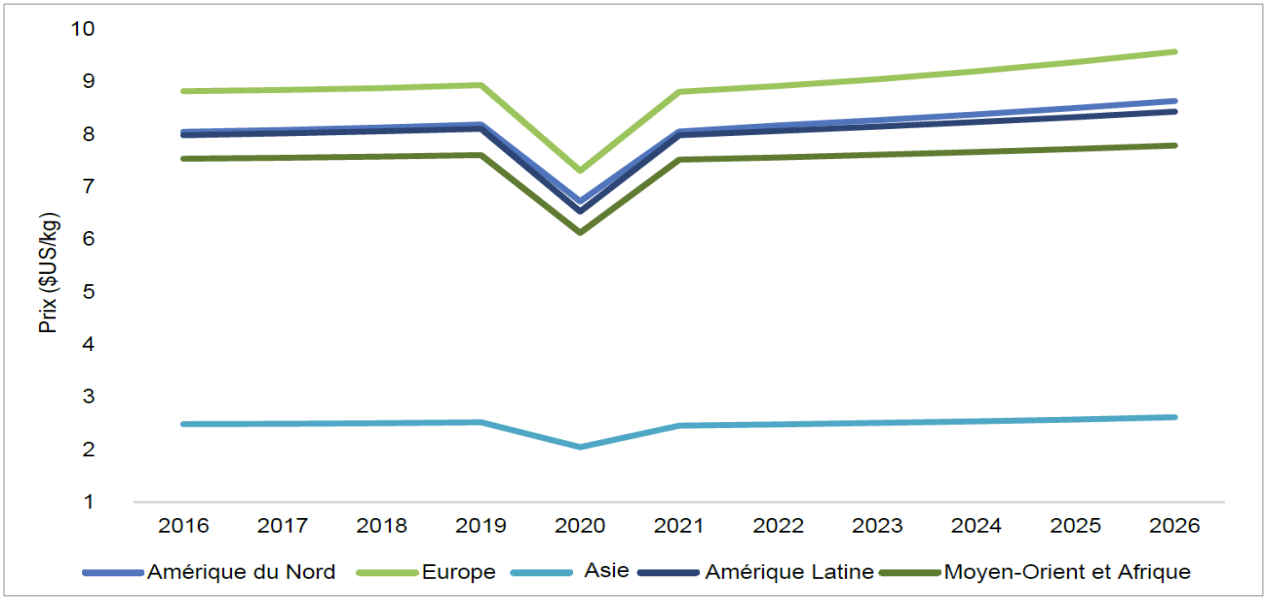


Figure 12. Évolution du prix des macroalgues selon la région (adapté de Global Market Insights)

1.3.6 Analyse de coûts

Le coût de la culture des algues est le principal facteur de coût représentant une part moyenne d'environ 32 à 34 % de l'ensemble de la structure des coûts du marché mondial des algues commerciales. Cet aspect comprend le travail sur le site maritime, les bateaux de travail, le système d'amarrage, le laboratoire, les sacs, les cordes, etc.

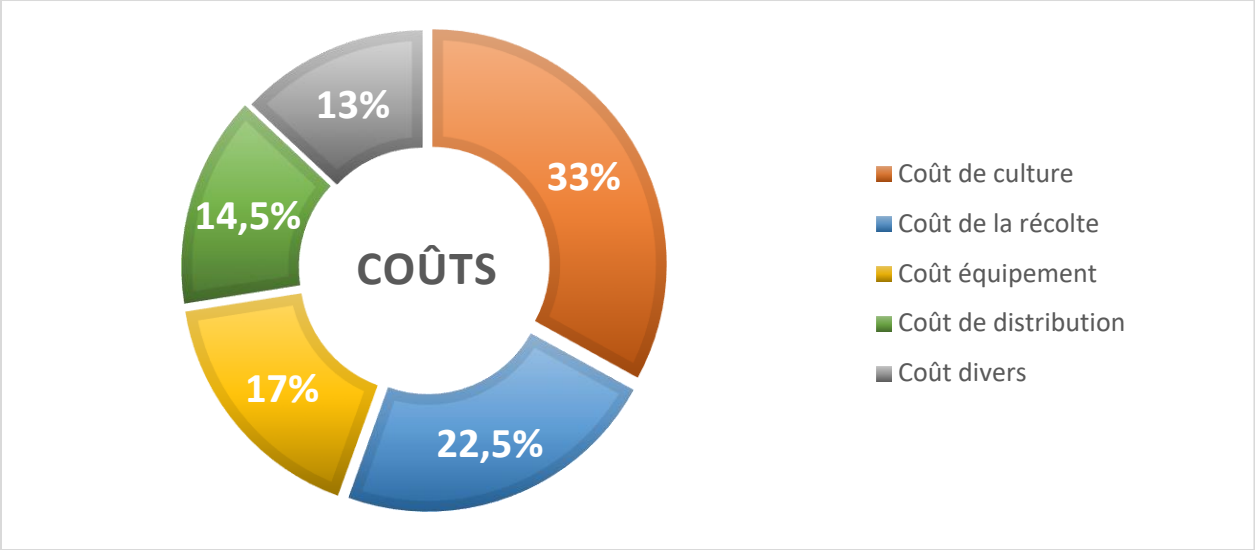


Figure 13. Répartition des coûts de production en mer pour les algues cultivées

Le coût de récolte représente une part moyenne de 21 à 24 % de l'ensemble de la structure des coûts du marché mondial des algues commerciales. Il comprend la main-d'œuvre, les bateaux de travail, l'emballage, la plate-forme de séchage, le coût de l'énergie, etc.

Le coût de l'équipement représentait une part moyenne de 16 à 18 % de l'ensemble de la structure des coûts du marché mondial des algues commerciales. Il comprend des machines agricoles, des machines de séchage, des outils et de l'équipement, etc.

Le coût de distribution représentait une part moyenne de 13 à 16 % de l'ensemble de la structure des coûts du marché mondial des algues commerciales. Il comprend les taxes directes et indirectes, les coûts de transport, l'emballage, etc.

Les coûts divers représentaient une part moyenne de 12 à 14 % de l'ensemble de la structure des coûts du marché mondial des algues commerciales. Il comprend les coûts environnementaux, les taxes, les droits de permis, etc.

1.4 Transformation

La transformation des algues après la récolte doit se faire assez rapidement, vu leur contenu élevé en eau (environ 80%), ce qui en fait un produit facilement dégradable. On distingue deux types de transformation, la transformation primaire et la transformation secondaire (voir figure 14). La transformation primaire post récolte comprend le traitement des algues en plusieurs étapes à savoir : le lavage, le broyage, le séchage et le contrôle de qualité. On retrouve un certain niveau d'intégration entre les entreprises de récolte et les producteurs d'algues déshydratées. Il est important de souligner que seulement une quantité très petite, voir infime d'algues est transformée à l'état frais. Pour cette raison, cette voie de transformation ne sera pas détaillée dans la présente étude.

Le séchage des algues peut être fait soit à l'air libre (séchage passif), soit dans des séchoirs avec un apport additionnel de chaleur. Plusieurs facteurs vont contribuer au choix du type de séchage, on peut nommer entre autres : le type de produit souhaité, le type d'algues, la qualité du produit, etc. La figure 14 illustre l'écosystème industriel où les macroalgues fraichement récoltées vont subir des étapes de transformation plus ou moins poussées, selon les applications finales ciblées. Les algues ainsi déshydratées, pourront ensuite être transformées selon l'une ou l'autre des trois voies suivantes :

Traitement additionnel pour des applications directes

Ce type de traitement est appliqué aux algues destinées à l'alimentation humaine, la nourriture animale, les produits agricoles, etc. Généralement, pour l'alimentation animale, les algues séchées sont broyées et sont intégrées directement à la moulée. Pour les engrais, les algues peuvent être utilisées telles quelles, mais aussi d'autres procédés biotechnologiques peuvent être appliqués, comme l'hydrolyse ou la fermentation, afin d'obtenir des fertilisants de plus haute valeur commerciale.

Fabrication de phycocolloïdes

Les phycocolloïdes (hydrocolloïdes issus des algues) tels que la carraghénane est utilisée comme additifs alimentaires de même que l'alginate et l'agar-agar utilisés comme additifs dans des produits alimentaires, pharmaceutiques, etc. Plusieurs procédés peuvent être appliqués qui varient en fonction du type d'hydrocolloïde qu'on souhaite obtenir ou de l'algue utilisée comme matière première. Parmi les procédés utilisés on peut énumérer, sans se limiter : la lyophilisation, l'extraction à l'aide des bases et/ou des acides, la distillation, etc.

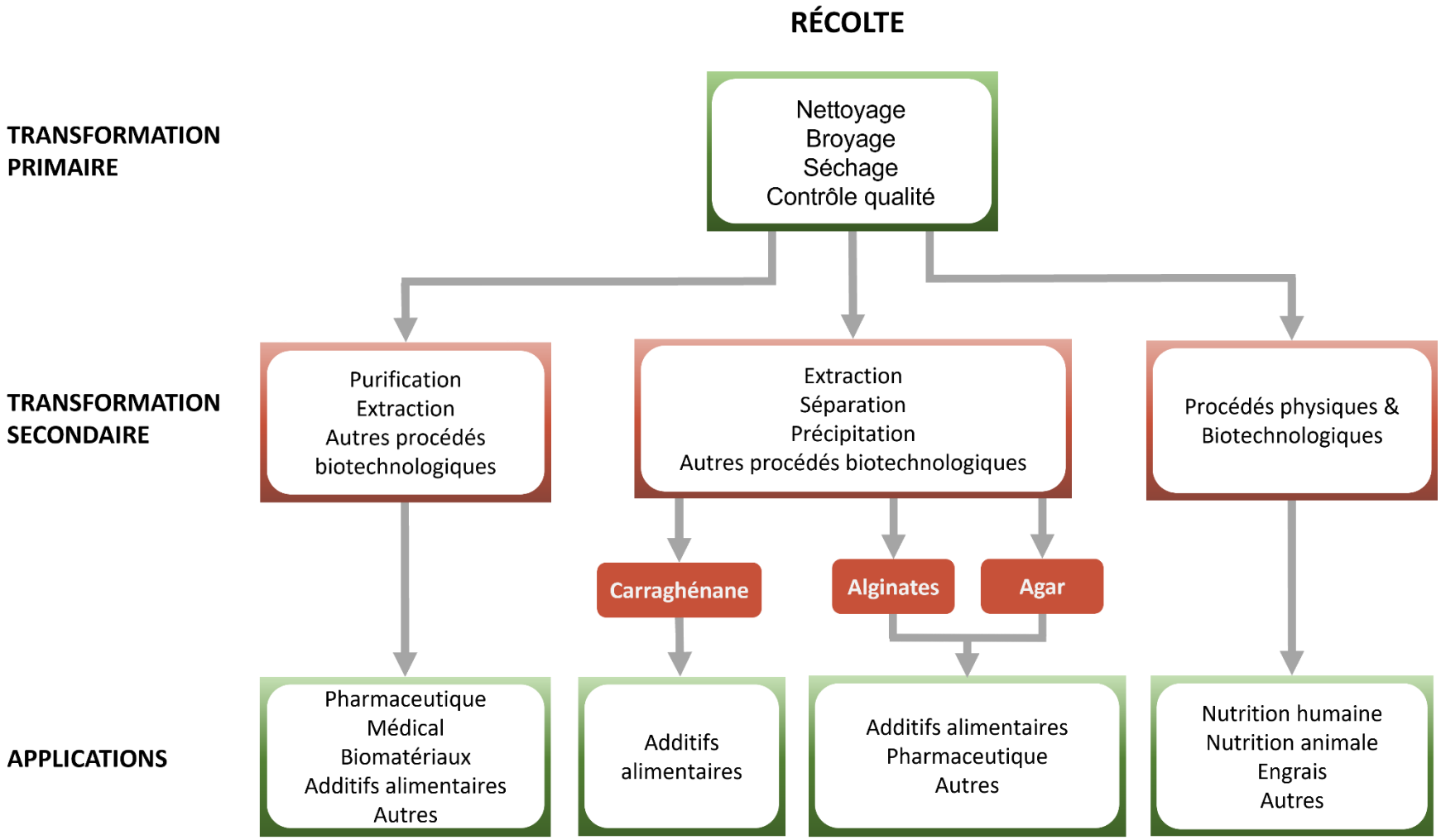


Figure 14. Aperçu des principales étapes de transformation des macroalgues (adapté de Global Market Insights)

Fabrication de produits pour l'extraction des substances à haute valeur commerciale

Parmi les substances à haute valeur commerciale, on peut citer les substances bioactives destinés pour les secteurs pharmaceutique, cosmétique, cosméceutique, biomatériaux, etc. Les macroalgues sont, entre autres, riches en astaxanthine, fucoxanthine, polyphénols, acides polyinsaturés, minéraux, etc. Afin d'assurer une extraction optimale tout en gardant les propriétés bioactives souhaitées, des procédés biotechnologiques plus avancés doivent être appliqués (ex. extraction enzymatique, application des micro-ondes et des ultrasons, extraction supercritique, etc.).

La marge de profit des entreprises varie selon le niveau de valeur ajoutée qu'elles produisent. Ainsi pour celles qui font la récolte des algues, la marge est de l'ordre de 15%-17%, plutôt faible, alors que celle des transformateurs est plutôt de l'ordre de 25%-28%. Celle des distributeurs est comparable à celle d'autres catégories de produits, soit 12%-13%.

1.5 Utilisations commerciales

Les macroalgues sont utilisées depuis des siècles à divers endroits dans le monde notamment comme source de nourriture dans les régions côtières. Elles sont omniprésentes dans la cuisine traditionnelle asiatique. En Amérique du Nord et en Europe, trois quarts de la production totale est utilisés pour l'extraction des hydrocolloïdes, environ 24% sont utilisés en agriculture, cosmétiques, pharmaceutique, etc. et seulement 1% est destinée à la consommation humaine directe.

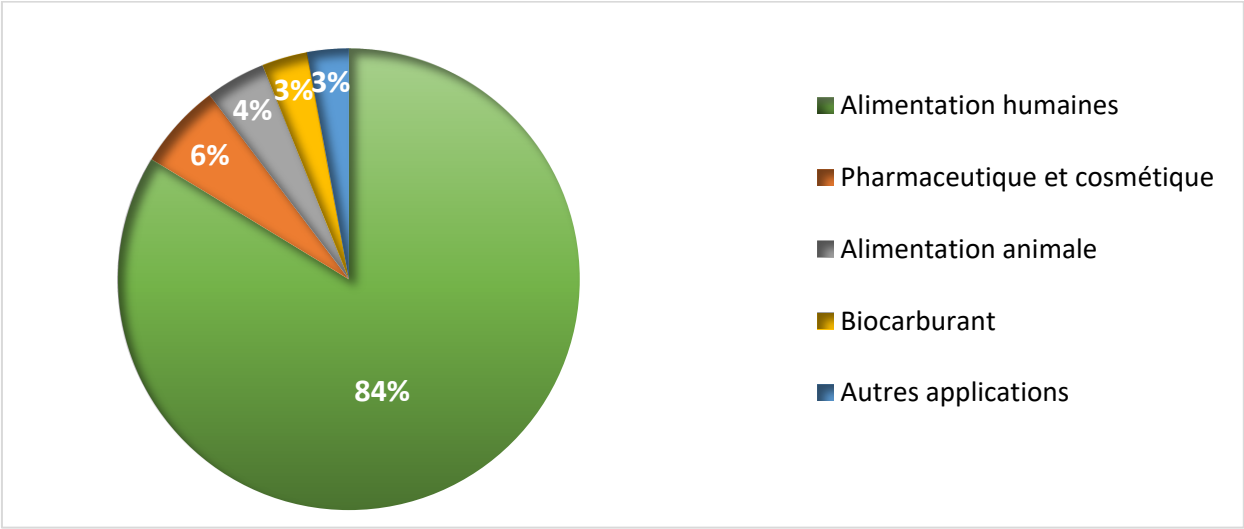


Figure 15 Utilisations commerciales des algues marines formes humides et sèches combinées

L'utilisation commerciale des macroalgues prend de l'ampleur chaque année et d'autres applications s'ajoutent au fur et à mesure que les découvertes scientifiques avancent. Dans les prochaines sous-sections, un aperçu des différentes applications des macroalgues est présenté.

Elles sont largement utilisées dans le secteur des aliments et boissons à cause de leurs propriétés hydrocolloïdales et ont aussi de nombreuses applications commerciales en pharmacie, dans les produits agricoles, les aliments et additifs pour animaux, les cosmétiques et produits de soins personnels.

1.5.1 Alimentation humaine

Consommation directe

La production d'algues au niveau mondial a principalement une vocation alimentaire et pour cause elles regorgent de plusieurs types de macro et micronutriments incluant du magnésium, du sodium, du cuivre, du zinc, du calcium, du soufre, du phosphore, du chlore, etc. De plus, les macroalgues constituent une source inestimable de substances bioactives tel que le laminaran, fucoidan, les alginates, etc.

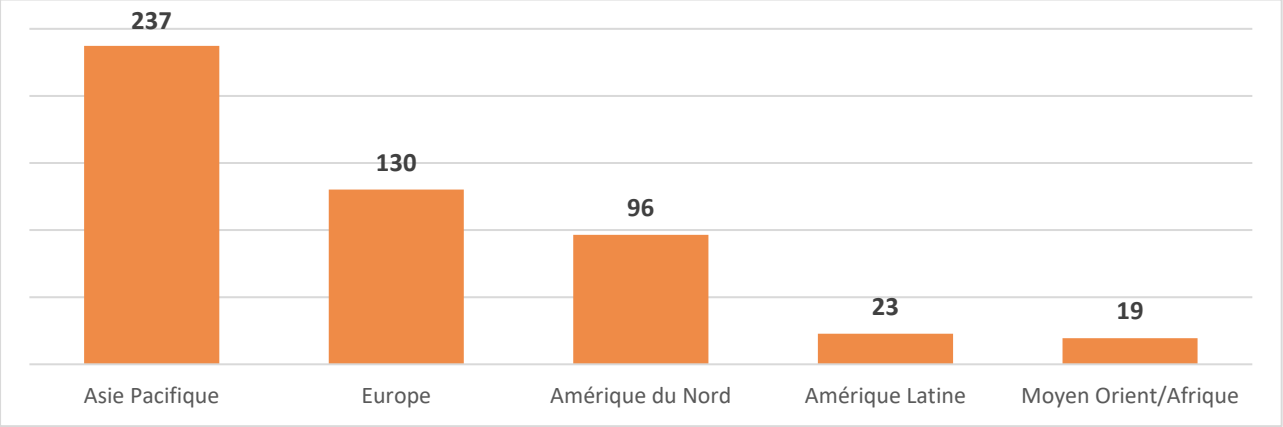


Figure 16. Consommation d'algues marines selon le continent, tonnes/100 000 habitants

La figure 5 illustre bien la consommation d'algues par 100 000 habitants. Les pays asiatiques, qui consomment cette ressource depuis des siècles (depuis le VIe siècle au Japon) sont les principaux producteurs-consommateurs d'algues alimentaires dans le monde (85 % de la consommation mondiale). La Chine en particulier en est le plus gros producteur avec près de 5 millions de tonnes fraîches par an *(Saccharina, Laminaria japonica, Undaria pinnatifida,* etc.). Le Japon produit près de 600 000 tonnes d'algues fraîches par an, principalement représentées par l'espèce *Porphyra* (algue enveloppant les Sushis).

Les algues sont aujourd'hui considérées comme des légumes à part entière et font partie de la catégorie des aliments dits « santé », notamment grâce à leur faible taux en gras et à leur forte teneur en fibres, vitamines, minéraux, oligoéléments et autres composés considérés comme bénéfiques pour la santé humaine.

Elles peuvent être consommées, entre autres, en salades, en soupes, en condiments ou en légumes d'accompagnement. En plus de posséder une texture et un goût unique, les algues peuvent servir de rehausseur de goût pour les aliments avec lesquels elles sont cuisinées. Les produits alimentaires contenant des algues sont de plus en plus populaires en Europe et en Amérique du Nord, et plusieurs centaines de nouveaux produits sont mis en marché chaque année.

Additifs alimentaires

Les macroalgues représentent un intérêt technologique et commercial grâce aux propriétés de leurs principaux constituants, les phycocolloïdes. Les phycocolloïdes représentent presque 40% du marché mondial des hydrocolloïdes. D'autres additifs à base d'algues sont utilisés dans l'industrie alimentaire. Une description plus exhaustive est présentée à la section 2.2.

1.5.2 Alimentation animale

Contrairement à l'alimentation humaine, les algues marines ne sont pas ou peu utilisées telles qu'elles (consommation directe) dans l'alimentation des animaux de ferme. Les macroalgues contribuent peu aux besoins énergétiques des animaux à cause de la faible teneur en lipides, leur haute teneur en fibres et la faible digestibilité des polysaccharides. Par ailleurs, des ingrédients extraits d'algues sont de premier intérêt pour l'alimentation des animaux et des poissons domestiques.

On incorpore des algues sous forme de farine ou d'extrait dans les aliments destinés aux animaux, mais aussi dans des compléments alimentaires pour les poules, les lapins, les chats et le bétail. Les algues sont alors considérées comme un apport naturel de minéraux (magnésium), d'acides aminés (taurine), d'antioxydants, d'immunostimulants et de prébiotiques. Les algues et leurs extraits permettent d'améliorer la santé générale et la performance des animaux grâce à leurs fibres, protéines, vitamines et molécules bioactives. Les carraghénanes sont aussi des épaississants et stabilisateurs de suspension couramment employés dans les aliments des animaux de compagnie, tandis que les alginates donnent une forme aux granules animales. De plus, les pigments caroténoïdes des algues peuvent contribuer à améliorer la coloration du jaune des œufs de poules et de la chair des poissons d'aquaculture. La nourriture animale à base de macroalgues est un

secteur en émergence, mais elle apporte une forte valeur ajoutée aux produits, par exemple en ajoutant au goût et à la valeur de revente de la viande d'agneau biologique. Des compagnies importantes comme Ocean Harvest Technology en Irlande et Acadian Seaplant au Canada ont développé une large gamme d'ingrédients et de suppléments alimentaires pour les animaux d'élevage.

1.5.3 Agriculture et horticulture

Les algues sont utilisées comme source d'engrais naturels et de biostimulants dans l'agriculture depuis des siècles. Par ailleurs, il a fallu attendre l'arrivée d'outils de recherche moderne comme le séquençage pour comprendre leurs effets sur le microbiote des racines du sol et des cultures. Par exemple, les travaux de l'équipe du professeur Hijri, de l'Université de Montréal, avec un extrait *d'Ascophyllum nodosum* ANE) fourni par Acadian Seaplant ont permis de tester son effet sur les communautés bactériennes et fongiques des sols rhizosphériques et des racines des plants de poivrons et de tomates dans les essais en serre. Ils ont constaté que les paramètres de productivité de la biomasse des racines, des pousses et des fruits ont été influencés positivement et de façon significative par la modification de l'ANE.

L'ajout d'algues au sol agricole augmente la rétention d'eau et apporte des éléments minéraux et éléments traces intéressants pour l'enrichissement des sols. Les algues brunes sont de nos jours largement utilisées pour produire des fertilisants et des engrais pour les terres agricoles, les gazons, les plantes de serre, d'intérieur ou d'extérieur, l'horticulture, etc. Le marché des phytostimulants à base d'algues favorise la nutrition, la croissance et le développement des plantes cultivées, un marché en pleine croissance lié au développement de l'agriculture biologique pour lequel les fabricants peuvent obtenir des certifications spécifiques.

1.5.4 Nutraceutique

La teneur élevée en protéines de qualité et fibres alimentaires, solubles et insolubles, avec un contenu plutôt faible en lipides rendent les algues comestibles intéressantes du point de vue nutritionnel. Leur teneur élevée en minéraux, composés phénoliques anti-oxydants et vitamines sont aussi d'intérêt. Elles peuvent aussi être une source intéressante d'acides gras essentiels et polyinsaturés, omega-3 et omega-6.

On retrouve ainsi sur le marché des suppléments alimentaires ou produits de santé naturels contenant des extraits d'algues vendus pour des fonctions diverses comme réduire l'index glycémique des aliments, maintenir un poids santé, réduire l'acidité gastrique, la constipation et l'hypercholestérolémie et soigner l'hypothyroïdie.

1.5.5 Pharmaceutique

Il est bien connu qu'il existe sur le marché, très peu d'applications pharmaceutiques issues de macroalgues en comparaison avec tout le potentiel des molécules qu'elles renferment. Cela s'explique principalement par le long chemin entre la découverte et l'homologation que doit suivre un produit pharmaceutique. Toutefois, les applications pharmaceutiques représentent un secteur d'avenir prometteur pour les macroalgues bien que relativement peu de produits aient atteint le stade commercial. Les composés bioactifs des algues ont fait l'objet et font toujours l'objet de travaux de recherche sur leurs propriétés pharmacologiques. On a ainsi identifié des propriétés anticancer, antivirales, antifongiques, antidiabétiques, antihypertensives, antibiotiques, antiparasites, antioxydantes, anti-ulcères et même neuroprotectrices contre certaines démences comme l'Alzheimer. En plus d'être utilisés comme additifs ou excipients dans des produits pharmaceutiques, certains extraits d'algues ont aussi un potentiel d'applications biomédicales, notamment la carraghénane et les alginates. Il est possible de citer des composés comme les fucanes et les ulvanes, des

polysaccharides avec des propriétés bioactives intéressantes pour le marché pharmaceutique. On leur accorde entre autres de propriétés antioxydantes et immunostimulatoires.

1.5.6 Cosmétique/Cosméceutique

Dans le domaine cosmétique, les macroalgues sont une source d'agents colorant, texturisant, stabilisant et émulsifiant de même que de molécules bioactives pour les soins de la peau. Certains extraits d'algues sont des sources de tensio-actifs naturels et d'ingrédients actifs tels que des osmo-protecteurs ou les oligo-alginates (action antipollution, anti-acné et antivieillissement) et les fucoïdanes (action antivieillissement et de croissance capillaire). Étant des organismes photosynthétiques, elles génèrent des composés qui absorbent les rayons UV tels que des caroténoïdes, des terpènes, des acides aminés et des composés phénoliques qui peuvent servir à formuler des écrans solaires. L'utilisation des extraits d'algues dans les produits cosmétiques est une autre application à valeur ajoutée particulièrement développée en France notamment.

Les algues sont de plus en plus utilisées dans les produits cosméceutiques. Un cosméceutique (composé des mots « cosmétique » et « pharmaceutique ») est une formule cosmétique innovante qui contient une substance active pour une action ciblée. Plusieurs substances extraites de macroalgues (substances phénoliques, polysacharides, peptides, acides gras, stérols, etc) ont démontré des propriétés bioactives intéressantes pour ce qui est la santé et la régénération de la peau.

1.5.7 Bioproduits industriels et énergie

L'amélioration des techniques de culture permettant d'assurer une fourniture en quantité importante et d'une qualité constante rendrait intéressante l'utilisation de macroalgues comme matière première pour la production de produits chimiques et d'énergie. Ceci pourrait déboucher sur de nouveaux produits issus de fractions non encore valorisées.

La composition biochimique d'une algue diffère de celle de la cellulose et les procédés de fractionnement ne sont pas les mêmes. Par ailleurs, avec une approche de bioraffinerie similaire à celle développée pour la cellulose, il serait possible de valoriser la totalité de la biomasse algale. Les applications potentielles incluent les sucres et polysaccharides comme sources de molécules chimiques de base et comme substrat pour des procédés de fermentation (éthanol, butanol, acétone), les minéraux comme fertilisants, les protéines pour des usages non-alimentaires (molécules de base pour la production de polymères et de résines) et les autres résidus comme source d'énergie. Par ailleurs, même si certains travaux de recherche en ont démontré le potentiel, la bioraffinerie de macroalgues n'a pas atteint le niveau de maturité industrielle requis pour en assurer la rentabilité.

Certaines fractions de macroalgues peuvent aussi être utilisées pour produire des biomatériaux. Ainsi, les fibres d'alginate de calcium ont permis de produire des vêtements résistants au feu, des textiles médicaux antibactériens et des textiles qui protègent contre les rayonnements électromagnétiques. Certaines fibres algales peuvent aussi être substituées aux fibres de bois dans des produits comme des papiers d'art et décoratifs, des cartons et contenants, des boîtes à œufs et des pots horticoles.

1.6 Principaux acteurs à échelle mondiale

Il s'agit d'un marché extrêmement fragmenté où l'on retrouve quelques grandes entreprises, mais surtout une multitude de petites entreprises surtout en Asie. Voici au tableau ci-dessous les entreprises citées par Global Market Insights comme étant les principaux acteurs de cette industrie. Il s'agit d'entreprises plus ou moins intégrées verticalement qui fabriquent et commercialisent des produits très variés : additifs alimentaires (humains et animaux), produits pharmaceutiques et cosmétiques, fertilisants, etc. À noter qu'à cette liste, on pourrait ajouter de grandes entreprises comme Dupont qui vont, entre autres activités industrielles, fabriquer des produits finis à base d'algues.

Tableau 1. Principales entreprises actives dans la transformation des algues (*Source: Global Market Insights*)

Compagnie	Siège social	Année de création	Revenus	Principaux marchés
CP Kelco	É.U.	1929	**1,3 G$**	Alimentaire et industriel
Acadian Seaplants	Canada	1981	**144 M$**	Santé humaine, animale et plantes
Biostadt Indis	Inde	1990	**103 M$**	Biostimulants et pesticides
Pacific Harvest	Nouvelle Zélande	1990	**93 M$**	Produits alimentaires
W. Hyrocolloids	Philippines	2003	**40 M$**	Produits alimentaires
Quingdao Seaweed	Chine	2000	**39 M$**	Fertilisants
Seasol International	Australie	1984	**22 M$**	Fertilisants
Algae AS	Norvège	1937	**20 M$**	Nutrition animale et des plantes
Aquatic Chemicals	Inde	1991	**4,8 M$**	Fertilisants et conditionneurs agricoles
Indigrow	UK	ND	**4,1 M$**	Fertilisants
Yang Cheng Hairui Food	Chine	2005	**1,1 M$**	Alimentation humaine
Chase Organics	UK	1912	**0.9 M$**	Fertilisants
Mara Seaweed	UK	2011	**ND**	Ingrédients alimentaires
Marcel Carrageenan	Philippines	1969	**ND**	Algues séchées
Seaweed Energy Solutions	Norvège	2009	**0,3 M$**	Plusieurs secteurs

Comme le montre le tableau 1, on ne retrouve dans cette industrie qu'une seule entreprise ayant un chiffre d'affaires supérieur à 1 G$, soit l'entreprise américaine CP Kelco établie depuis 1929 et qui est présente dans plus de 100 pays. Elle produit et commercialise principalement une gamme de produits dérivés de la carraghénane extraite des algues rouges qui agit comme un agent épaississant, stabilisateur et gélifiant. Elle a de larges applications dans les industries des soins personnels, des produits ménagers et de l'alimentation en tant qu'agent texturisant et gélifiant. Elle est commercialisée sous différents noms : GENULACTA est un produit standardisé pour les applications du lait, GENUGEL est utilisé dans l'eau et la viande et dans les produits de soins personnels, GENUTINE c'est une allitérative de gélatine, GENUVISCO est principalement utilisé comme agent épaississant, gélifiant, texturant et stabilisateur.

L'exemple canadien: Acadian Seaplants Ltd.

À noter qu'au second rang de cette liste, on retrouve l'entreprise canadienne Acadian Seaplants. Établie en 1981, elle a déjà un chiffre d'affaires de près de 150 M$. Il s'agit d'une entreprise innovante qui mise beaucoup sur la R D. Elle fabrique des produits uniques à base d'algues pour les marchés de la biochimie, de l'alimentation et de l'agriculture. Il s'agit d'une entreprise de biotechnologie parfaitement intégrée, réalisant des opérations diversifiées : la culture, la récolte, transformation et mise en marché de produits finis.

Basée au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, employant au-delà de 350 personnes, la compagnie est structurée en 2 divisions, soit celle de la Santé des plantes qui développe, produit et vend des biostimulants pour l'agriculture et l'horticulture et, celle du Bien-être humain et animal qui œuvre dans la science de l'alimentation humaine, la science animale et les ingrédients spécialisés. Comme le montre le tableau ci-dessous, elle exploite le potentiel d'une demi-douzaine d'algues rouges et brunes.

Tableau 2 Produits d'Acadien Seaplants (*Source: Global Market Insights*)

Algue/Service	Fonctions/Applications
Ascophyllum nodosum	• Algue brune sauvage ; • Riche en anti-oxydants et métabolites marins tels que fucoxanthine, iode organique ; • Amélioration du système immunitaire, prévention de l'obésité, amélioration de la santé buccale ;
Fucus vesiculosus	• Algue brune sauvage contenant du fucoïdane et des composés bioactifs ; • Propriétés antioxydantes, activités antivirales, effets antiinflammatoires, anti-obésité effets et stimulation du système immunitaire ; • Applications dans des produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques.
Palmaria palmata	• Algue rouge riche en composés nutritifs, antioxydants et agents protecteurs de la peau ; • Applications variées dans des produits alimentaires, cosmétiques et nutraceutiques.
Laminaria digitata	• Algue brune riche en alginate, fucoïdane, iode organique, polyphénols et fibres alimentaires ; • Aide à réduire le cholestérol, possède des propriétés antibactériennes et antioxydantes et stimule le système immunitaire ; • Applications dans des produits alimentaires et cosmétiques.
Furcellaria lumbricalis	• Algue brune riche en antioxydants ; • Stimulation du système immunitaire, activité antivirale, propriétés gélifiantes et stabilisatrices ; • Applications dans des produits alimentaires et cosmétiques.
Tasco	• Extraits d'algues utilisés comme ingrédients dans la nourriture animale.
Suppléments Botaniques	• Extraits d'algues brunes et rouges utilisés comme suppléments botaniques.

Conclusions

- L'industrie des macroalgues connaît depuis quelques décennies un essor important et on anticipe un TCAC de l'ordre de 12% pour la période 2020-2026. Si la demande du marché provient encore principalement de la consommation humaine directe d'algues alimentaires principalement en Asie, les multiples autres applications des composés actifs qu'on peut extraire des macroalgues ont un impact de plus en plus important sur la demande.
- L'augmentation de la demande mondiale crée une pression sur l'approvisionnement. Jadis basé sur la cueillette ou la récolte de populations naturelles d'algues marines dans les régions côtières surtout en Asie, l'approvisionnement des marchés mondiaux dépend aujourd'hui à 95% de l'algoculture. En fait, la culture des macroalgues représente environ le quart de toutes les espèces aquatiques cultivées.
- L'originalité de la production des algues, par rapport à l'agriculture « conventionnelle », tient à ses modes de production. En effet, se juxtaposent, y compris au Japon, des aquacultures très traditionnelles (récolte par des plongeurs, séchage sur claies de bois...) et d'autres, comme pour les grandes algues brunes, avec une récolte très mécanisées (bateaux modernes, séchage par des machines, etc.)
- L'algoculture a l'avantage de ne pas compétitionner avec les terres arables, l'eau potable et les fertilisants. Par ailleurs, elle doit faire face à un certain nombre de défis et menaces inhérents au milieu marin tels les tempêtes, les fortes vagues, les espèces nuisibles, les marées noires, etc. De plus, elle peut entrer en compétition avec d'autres usages aquatiques.
- Face aux défis de nourrir l'humanité et d'évoluer vers une économie carboneutre, les macroalgues représentent une ressource de base renouvelable présentant un large éventail d'applications encore peu exploitées dans le domaine de matériaux et de l'énergie sans oublier le domaine médical où les algues comme les plantes terrestres représentent un réservoir de composés actifs potentiels contre un certain nombre de pathologies.
- À l'instar de la biomasse lignocellulosique qu'il est possible de valoriser dans son entièreté avec une approche de bioraffinerie, il serait possible et souhaitable d'appliquer la même stratégie à la valorisation complète des macroalgues pour des usages alimentaires et non alimentaires. Les procédés de transformation ne sont pas les mêmes, mais il serait possible avec une telle approche d'en tirer le maximum de co-produits à valeur ajoutée.
- On retrouve dans la nature des milliers d'espèces d'algues rouges, brunes ou vertes. Par ailleurs, un nombre très restreint d'espèces sont cultivées et transformées. Il s'agit d'un gisement d'une grande diversité et encore méconnu. Que ce soit pour en optimiser le rendement de la culture ou celui de la transformation en produits à valeur ajoutée, il est impératif d'investir davantage dans la recherche multidisciplinaire et le développement technologique. L'exemple canadien d'Acadian Seaplants qui a su miser sur l'innovation pour développer et commercialiser en quelques années une gamme complète de produits pour la santé humaine, animale et végétale est un exemple éloquent de ce potentiel économique.

2. Cartographie de l'innovation

Les algues constituent une bioressource marine considérable qui reste sous-utilisée encore de nos jours, autant au niveau de la quantité, qu'au niveau du potentiel technologique important. Il est bien connu qu'à échelle mondiale, 76% des macroalgues sont utilisées pour alimentation humaine directe, en ayant un impact direct sur la réduction de l'insécurité alimentaire dans le monde. D'un autre côté, les macroalgues sont extrêmement riches en minéraux, acides gras polyinsaturés, polyphénols et glucides qui présentent des propriétés nutritionnelles et technologiques intéressantes. Dans les dernières années, les recherches scientifiques ont permis de mettre en évidence la production de biocarburants durables à partir des algues. Le présent chapitre permet de mettre en évidence les principaux avancements scientifiques et technologiques concernant l'utilisation actuelle et potentielle des macroalgues. Les recherches ont été menées surtout sur douze espèces de macroalgues qui présentent un potentiel de développement pour les pays nordiques semblables au Québec.

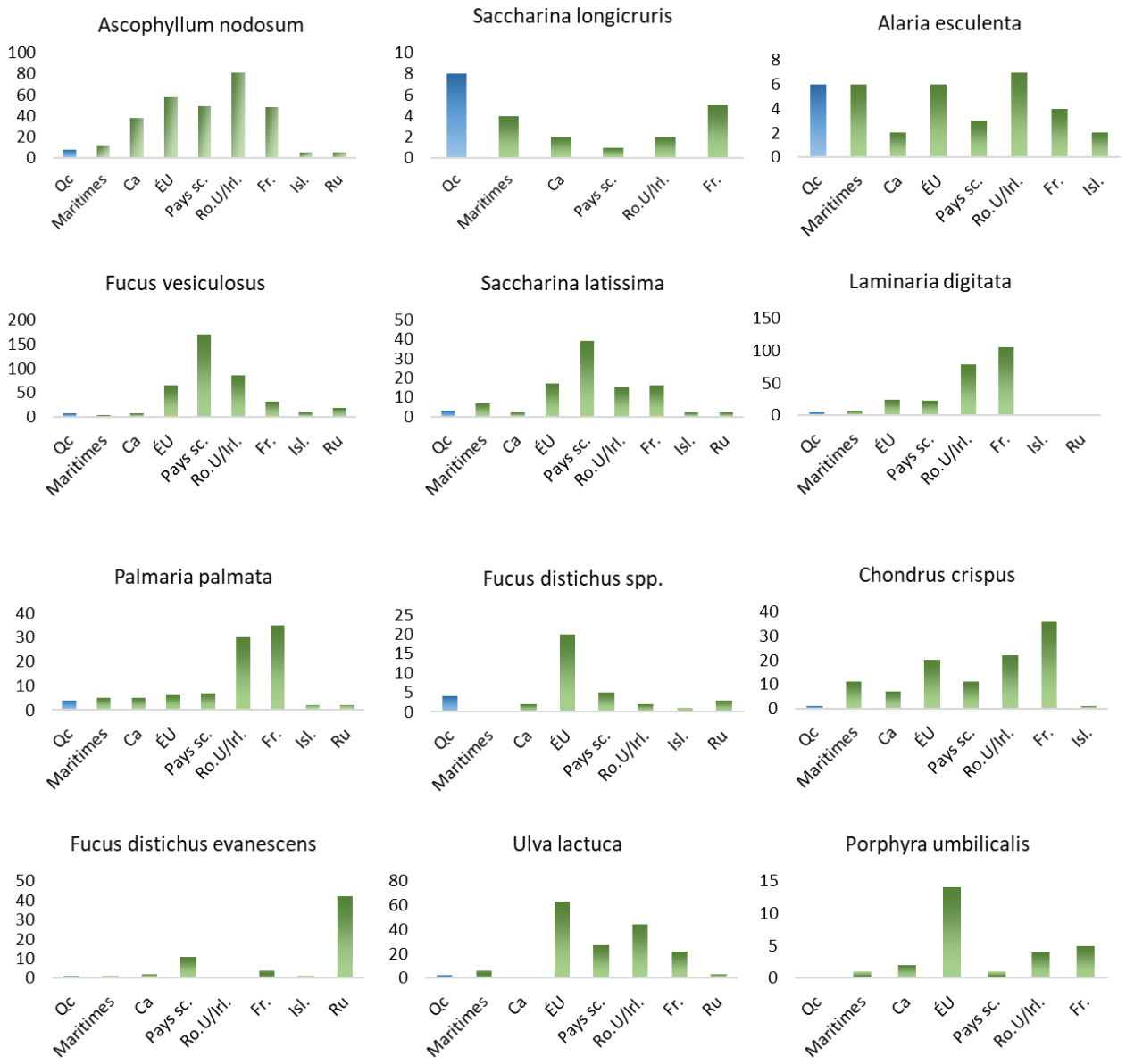
2.1 Innovations reliées à la production et la transformation des macroalgues

Contrairement au marché asiatique, en Europe et en Amérique du Nord, les macroalgues sont surtout destinées au marché des phycocolloïdes (environ 75%). Seulement 1% sert à l'alimentation humaine directe et le restant soit environ 24% est destiné à la production des ingrédients pour le marché des cosmétiques, à l'extraction de molécules de haute valeur ajoutée et à des divers produits chimiques dérivés. Chaque application nouvelle ou potentielle demande un énorme investissement de temps et d'argent en recherche et en développement.

2.1.1 Recherche et développement

La figure 17 illustre l'évolution de l'écosystème en matière de recherche dans les principales régions et pays nordiques qui exploitent commercialement des algues. Le Québec se distingue par la recherche au niveau des algues *Saccharina longicruris* et *Alaria esculenta.* Cependant, les travaux publiés par les chercheurs des pays européens nordiques concernent plus les algues du genre *Fucus vesiculosus* et *Ascophyllum nodosu*m. Il est important de mentionner que les travaux de recherche publiés par des chercheurs québécois, traitent surtout des substances d'intérêt issus à partir de macroalgues. À ce sujet, il est possible de mentionner des travaux de purification d'alginates pour la micro-encapsulation ou des essais cliniques sur l'effet de certains composés d'algues sur la santé métabolique des différents groupes de population.

L'entreprise InnoVactiv se démarque au Québec par les investissements dans la recherche clinique concernant l'effet de différents extraits d'algues brunes sur la réponse glycémique entre autres, mais aussi pour l'effet cosméceutique des algues.



Figures 17. Publications scientifiques 2000-2020

De toutes les espèces qui présentent un potentiel commercial au Québec, la *Ascophyllum nodosu*m et la *Sacchrina longicruris* sont les plus étudiés (figure 17). Les études portent autant sur des applications cosmétiques et pharmaceutiques, que sur différentes applications alimentaires en mettant en valeur la caractéristique et les utilisations potentielles de algues brunes. Il est important de mentionner que si une étude comporte plusieurs algues, celle-ci est énumérée deux fois. Une liste détaillée des articles scientifiques publiés par des centres de recherche québécois est représentée à l'Annexe C.

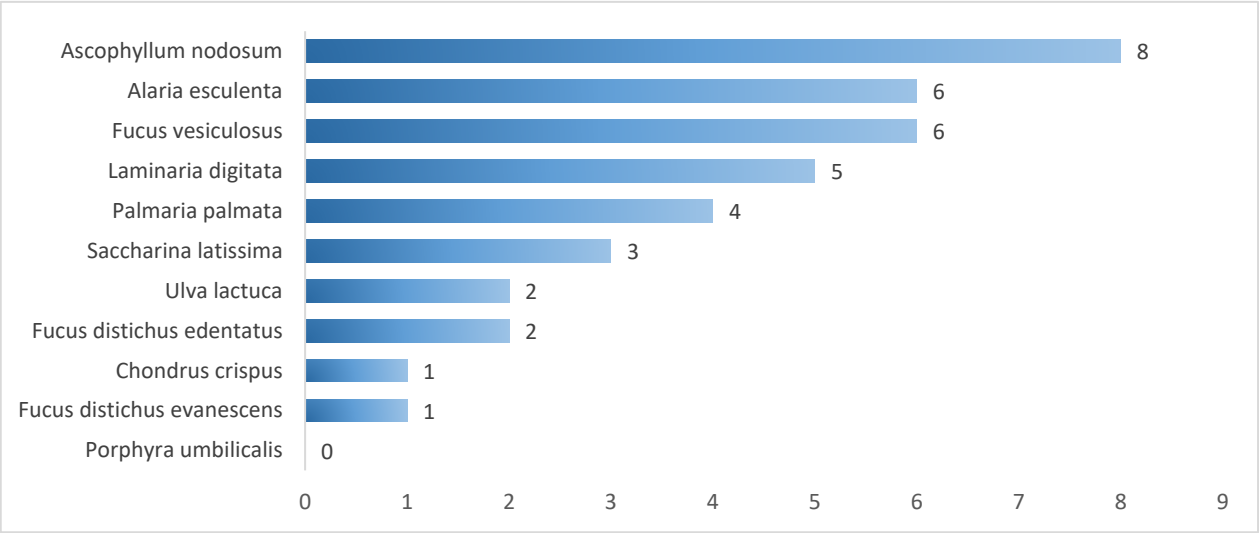


Figure 18. Nombres d'études par espèce d'algue au Québec (2000-2020)

Sur la figure 19, les publications scientifiques du Québec sont classifiées selon le domaine de recherche. En tête de file se trouvent les études qui traitent l'environnement ou l'écologie.

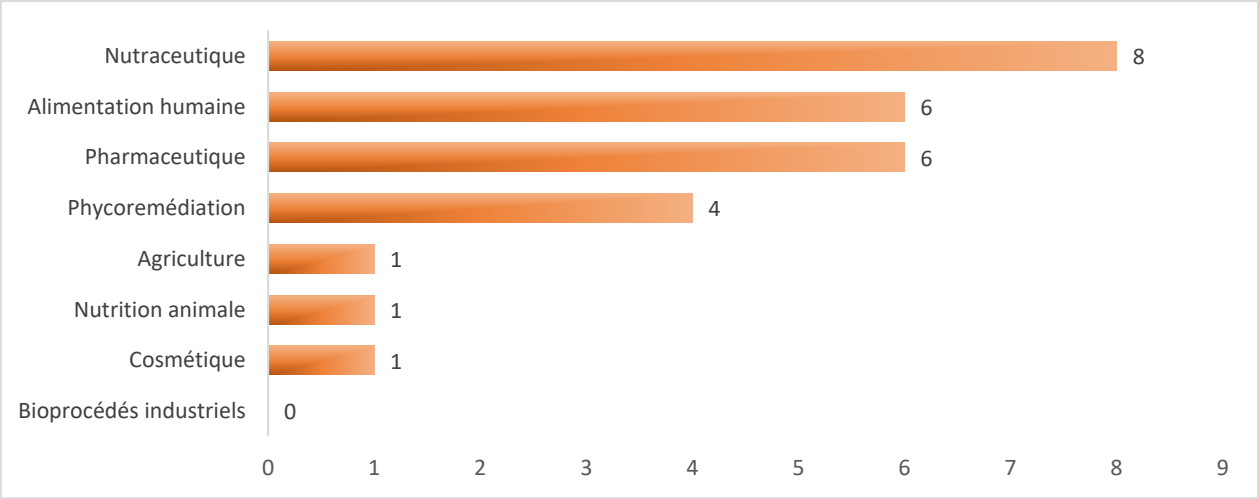


Figure 19. Nombres d'études par domaine au Québec (2000-2020)

2.1.2 Brevets

La pandémie provoquée par la COVID-19 qui a touché profondément tout le secteur industriel a eu un impact important sur l'état de l'innovation également. La figure illustre très bien l'évolution des brevets d'invention en lien avec les 12 espèces de macroalgues qui présentent un potentiel intéressant pour le Québec au cours des 20 dernières années. Il est intéressant de remarquer que cette croissance a été fulgurante entre 2014 et 2018 et qu'elle décline par la suite après 2019.

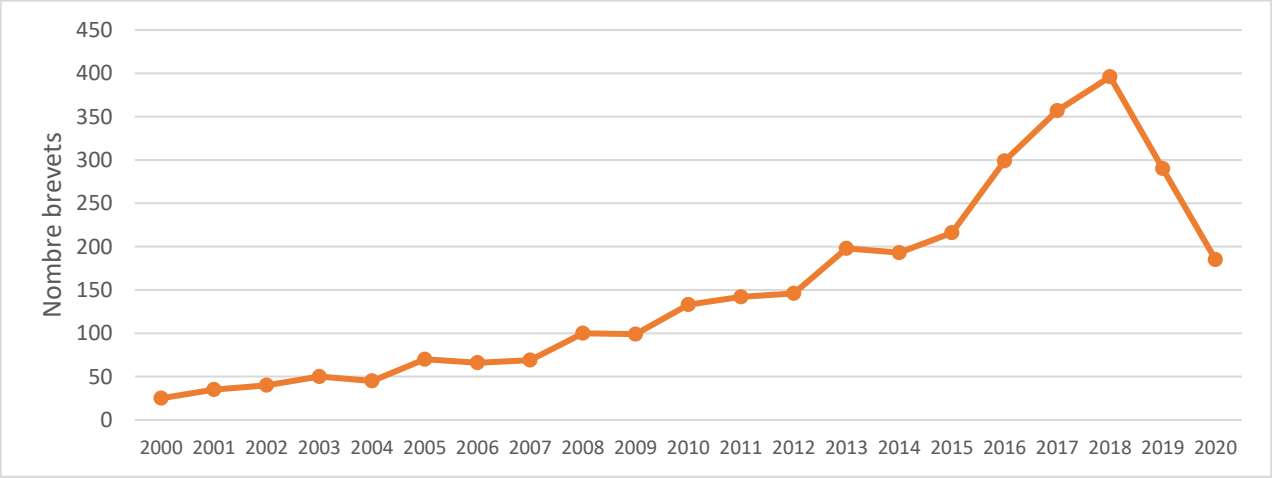


Figure 20. Évolution du nombre de brevets par pour les 12 espèces de 2000 à 2020

Malgré cette évolution, il est attendu que la tendance de croissance sera reprise vers la fin de 2021, début 2022. Les applications des différents composés issus de macroalgues ne cesseront pas de croître.

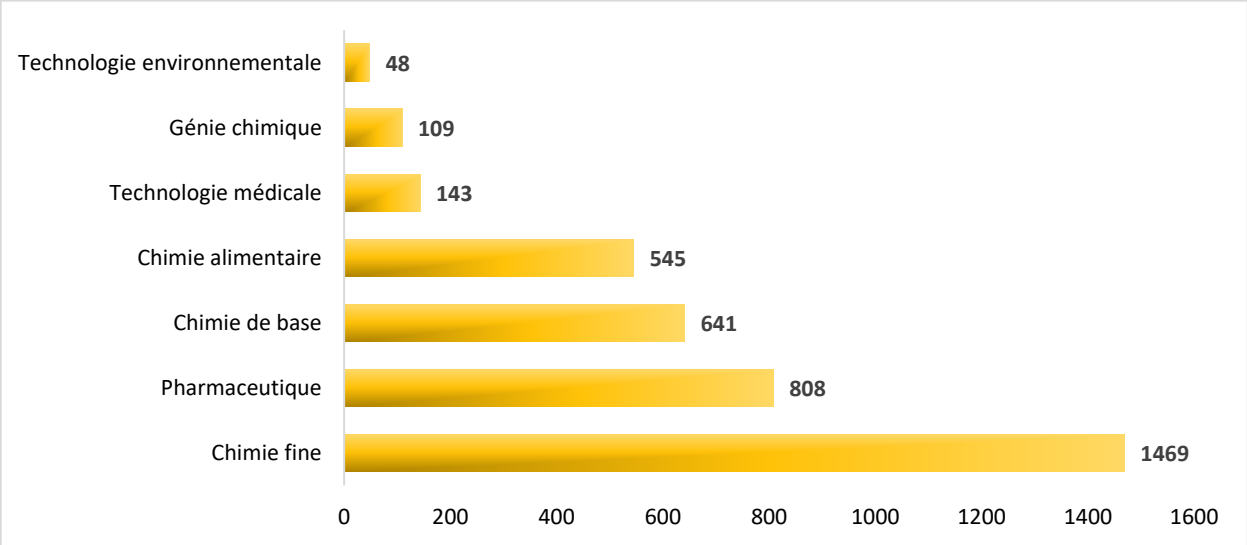


Figure 21. Nombre de brevets par domaine pour les 12 espèces de 2000 à 2020

Cette croissance s'explique principalement par la nécessité du secteur des macroalgues de trouver de nouvelles applications qui offrent une valeur ajoutée beaucoup plus importante que la vente des algues brutes. La figure 21 quant à elle représente la répartition du nombre des brevets d'invention en fonction des applications principales. La chimie fine et le secteur pharmaceutique occupent plus de la moitié de toutes les autres applications pour lesquelles un brevet a été déposé.

2.2 Produits d'intérêt issus des macroalgues

2.2.1 Carraghénane (ou carragahénine)

De tous les produits issus des macroalgues, les phycocolloïdes ont la plus grande utilisation dans les pays d'Europe et de l'Amérique du Nord. Elles sont utilisées dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et en agriculture pour leurs propriétés gélifiantes, émulsifiantes et de rétention d'eau.

Un des plus importants phycocolloide extraits d'algues est le carraghénane (ou carraghénine). Il s'agit d'un polysaccharide (galactane) extrait principalement **d'algues rouges** servant d'agent d'épaississement et de stabilisation dans l'industrie alimentaire. Les carraghénanes permettent de former des gels à chaud (jusqu'à 60 °C) et présentent donc un intérêt par rapport aux gélatines animales traditionnelles. Certaines algues de l'Amérique du Sud sont de plus en plus prisées par les producteurs de carraghénane pour diversifier les sources d'algues disponibles et pour extraire des carraghénanes de qualité distincte. *Gigartina skottsbergii*, *Sarcothalia crispata* et *Mazzaella laminaroides* sont les espèces aujourd'hui ayant le plus de valeur, toutes sont cueillies au Chili.

Trois grandes catégories de carraghénanes sont commercialisées aujourd'hui : iota, kappa et lambda. Chacune de ces catégories présente une structure et des propriétés distinctes dues à des différences au niveau de leur structure moléculaire. La viscosité dépend de la nature du composé : plus le degré de substitution sur le squelette de galactose est faible, plus les gels formés seront durs et résistants. Entre les trois types de carraghénanes mentionnés ci-dessus, c'est le kappa-carraghénane qui possède le moins de groupements sulfates. Le kappa-carraghénane va donc être à l'origine d'un gel fort. L'iota-carraghénane a un niveau intermédiaire de substitution et a donc un pouvoir gélifiant plus faible que le kappa-carraghénane. Cependant, l'iota-carraghénane est capable de former un gel très flexible qui possède aussi la capacité de contrôler la synérèse. Le lambda-carraghénane, quant à lui, ne possède pas de propriétés gélifiantes.

Du fait de leurs propriétés gélifiantes, les carraghénanes sont utilisés dans une grande gamme de produits, notamment comme alternatives à la gélatine pour les végétariens et végétaliens. Le tableau X présente une liste non exhaustive des applications actuelles des carraghénanes.

Tableau 3 Applications des carraghénanes

Alimentation	▪ Desserts, crèmes glaces, crèmes, *milkshakes*, lait concentré, lait au chocolat, sauces, etc. –augmentation de la viscosité; ▪ Bière - clarification (enlever l'écume créé par les protéines); ▪ Dans les pâtés et viandes industriels (jambon, etc.): c'est un substitut du gras ; augmente la rétention en eau et le volume, et améliore la facilité de coupe; ▪ Boissons - amélioration de la texture et maintien des exhausteurs de goût en suspension dans les boissons; ▪ Boisson de soja - gélifiant, afin de simuler la consistance du lait entier; ▪ Agent gélifiant dans les friandises aux fruits; ▪ Additif dans l'alimentation pour animaux. ▪ Additif dans le lygomme, un substitut de fromage.
Produits ménagers	▪ Aide à stabiliser pour empêcher la séparation des constituants dans les dentifrices; ▪ Augmentation la viscosité et rend la mousse plus collante dans les extincteurs; ▪ En tant que gélifiant dans les shampooings et crèmes cosmétiques; ▪ Dans les gels désodorisants; ▪ Dans le cirage pour chaussures: en gel pour augmenter la viscosité;
Autres applications	▪ Dans les lubrifiants; ▪ Dans les produits pharmaceutiques: utilisé comme excipient inactif dans les pilules et tablettes; ▪ En biotechnologie: en gel pour immobiliser les cellules et enzymes.

La carraghénane a fait aussi l'objet de multiples travaux de recherche médicale notamment sur ses propriétés microbicides contre différentes infections. Une étude clinique suggère que le carraghénane serait une substance efficace contre le rhume (en diminuant les symptômes et le taux de virus des sécrétions nasales). Marinomed Biotechnologie Gmb, une compagnie autrichienne, a fait une étude en 2010 suggérant que leur spray nasal, contenant du carraghénane, pouvait être efficace comme traitement contre les virus du rhume. En se basant sur ces propriétés, une étude à l'Université Swansea aux Royaume-Uni est en cours afin de déterminer si le carraghénane-iota serait efficace contre l'infection de COVID-19.

2.2.2 Alginates

L'acide alginique et ses dérivés (bases conjuguées, sels et esters) les alginates sont des polysaccharides obtenus à partir **d'algues brunes** : les laminaires ou les fucus. De couleur variant du blanc au brun jaunâtre, il est vendu sous forme filamenteuse, granulaire ou en poudre.

L'alginate de sodium est un sel extrait à partir du liquide visqueux issu de la paroi cellulaire d'algues brunes. Sa fonction naturelle consiste à augmenter la flexibilité de l'algue. Les algues se développant en eaux agitées comportent généralement un contenu en alginate plus important que celles croissant en eaux calmes.

Bien que l'ensemble des algues brunes puisse être une source d'alginate, des variations dans leur structure chimique influencent les propriétés du produit final qui en est extrait. Différentes espèces sont donc récoltées en fonction des usages auxquels elles sont destinées. Les algues les plus appréciées sont *Macrocystis pyrifera* (Californie) et *Ascophyllum nodosum*, qui se retrouvent surtout dans l'Atlantique Nord.

Les alginates peuvent former des gels durs et thermostables utilisés comme additifs alimentaires permettant la reconstruction des aliments (jambon, cordons bleus, poisson pané, etc.). Les alginates donnent une texture onctueuse à nombre d'aliments tels que les crèmes glacées.

Les alginates sont utilisés comme épaississants, gélifiants, émulsifiants et stabilisants de produits industriels les plus variés depuis les gelées alimentaires, les produits de beauté, jusqu'aux peintures et aux encres d'imprimerie. Les laits gélifiés le sont par des alginates et carraghénanes, qui produisent des desserts lactés pasteurisés.

Des billes d'alginates peuvent également être utilisées en médecine pour encapsuler des médicaments ou des substances biologiques fragiles (enzymes, microorganismes, cellules animales ou humaines). L'alginate peut aussi être utilisé dans la confection de certains pansements et à des fins d'usages biomédicaux.

Un exemple prometteur d'utilisation des alginates dans le domaine médical est l'encapsulation de cellules du pancréas : les îlots de Langerhans. Ces cellules permettent la sécrétion d'une hormone qui intervient dans la régulation de la glycémie : l'insuline.

Cette idée d'encapsuler ce type de cellules provient de la volonté de trouver une alternative aux greffes de pancréas, ce type de greffe nécessitant en parallèle un lourd traitement immunosuppresseur afin d'éviter tout risque de rejet. De plus, les traitements de ce genre sont souvent la cause de différents effets secondaires.

L'alginate est également utilisé pour réaliser des moulages sur le corps humain grâce à ses qualités hypoallergéniques. C'est souvent le produit utilisé par les dentistes pour les prises d'empreintes dentaires. Sa couleur varie du blanc crème à l'ivoire foncé. Sa granulométrie très fine permet de produire des empreintes très fidèles.

2.2.3 Agar-agar

L'agar-agar est un polymère de galactose (galactane) contenu dans la paroi cellulaire de certaines espèces **d'algues rouges** appartenant aux familles des *Gelidiacées* (*Gelidium* et *Pterocladia*) et des *Gracilariacées* (*Gracilaria*)[6]. Le mucilage extrait à chaud de ces algues donne après purification, déshydratation et broyage la poudre d'agar-agar utilisée essentiellement pour gélifier un grand nombre de produits alimentaires, mais aussi les milieux nécessaires à la culture *in vitro* des micro-organismes[7]. Il est alors commercialisé sous forme de longues barres transparentes ou en poudre. Cette substance s'utilise en très petites quantités. Elle n'a pratiquement ni goût ni couleur. C'est un liant et gélifiant végétal parfait pour remplacer la gélatine animale. Il existe une multitude de recettes dans lesquelles l'agar-agar peut être utilisé : confitures, gelées de fruits, flans… La gelée se forme à condition que l'agar-agar dilué dans l'eau soit chauffé à 90°C puis refroidi à une température de 40°C environ. L'agar-agar permet de servir des mousses chaudes. L'agar-agar entre aussi dans la composition d'un aérogel appelé SEAgel qui est semblable à de l'aérogel organique, avec un goût et une consistance rappelant les gâteaux de riz.

L'agar-agar purifié, débarrassé de tous ses éléments minéraux s'appelle l'agarose, utilisable selon son niveau de pureté dans diverses applications de biologie moléculaire.

Les utilisations de l'agar-agar découlent de ses propriétés de gélification des solutions aqueuses. C'est le gélifiant naturel le plus puissant, son action est perceptible à partir de 0,1 %.

- Gélifiant alimentaire, il possède l'avantage d'être acalorique. Il n'est pas digéré dans l'estomac et l'intestin, et il est peu fermentescible.

- L'agar-agar constitue la principale alternative végétarienne et naturelle à la gélatine animale, avec un résultat différent, plus ferme[8].
- Ses propriétés laxatives sont utilisées en présence de troubles intestinaux.
- À forte dose, il provoquerait des flatulences.
- L'agar-agar sert également à réaliser des prises d'empreintes dans différents domaines allant de l'archéologie à la dentisterie, car c'est un matériau précis qui se liquéfie au-dessus de 80°C et gélifie en refroidissant. Mais il est peu utilisé, car il nécessite beaucoup de matériel (pour chauffer, maintenir à température et refroidir), et d'organisation.
- Il sert de gélifiant des milieux de culture en microbiologie.
- Il sert de gélifiant pour les cultures in vitro de tissus végétaux ou animaux.
- Il est également utilisé en chimie pour la création de jonctions électrolytiques (ou «ponts ioniques») dans les piles d'étude de couple rédox. Ce support gélifié est baigné le plus souvent par une solution de chlorure de potassium (KCl), cessions n'interférant qu'avec peu de couples rédox. Il peut aussi servir de milieu de croissance de cristaux nécessitant très peu de perturbation.

2.2.4 Fucoïdanes

Les fucoïdanes représentent un groupe de polysaccharides sulfatés extraits des algues brunes qui ont des propriétés bioactives intéressantes et qui sont utilisés dans différents secteurs, comme les aliments fonctionnels, le pharmaceutique et en cosméceutique. Les fucoïdanes ont attiré l'attention des chercheurs lorsqu'ils ont découvert qu'ils sont en mesure de protéger les algues contre différents microorganismes. Depuis, plusieurs propriétés bioactives intéressantes leur ont été attribuées, comme des propriétés antitumorales, anticoagulantes, antioxydantes et anti-inflammatoires. Malgré la multitude de possibilités d'application des fucoïdanes, deux articles scientifiques ont été identifiés au Québec à ce sujet.

2.2.5 Protéines

Les protéines représentent un secteur en pleine expansion à l'échelle mondiale. Que ce soit pour leur valeur nutritionnelle tout simplement ou pour leurs propriétés fonctionnelles, les protéines des macroalgues sont des plus en plus étudiées. Les protéines issues de macroalgues contiennent tous les acides aminés, mais se démarque surtout par un taux élevé en glycine, alanine, arginine, proline, acide glutamique et aspartique.

Le contenu en protéines des macroalgues varie entre 10 et 40% de masse sèche de protéines. Cette variation dépend de l'espèce, mais aussi des conditions de croissance. De toutes les espèces, les algues rouges sont celles qui se démarquent davantage par leur contenu en protéines. Il est supposé que les propriétés fonctionnelles et nutraceutiques des protéines issues des macroalgues sont nombreuses, toutefois la recherche à ce sujet se trouve à un stade embryonnaire.

B. ÉTAT ACTUEL DE LA VALORISATION INDUSTRIELLE DES MACROALGUES AU QUÉBEC

1. La filière des macroalgues au Québec

Les contours de la filière des macroalgues au Québec englobent un grand nombre d'entreprises. Certaines sont situées à proximité d'une source d'approvisionnement ou sont elles-mêmes fournisseuses (cueillette, culture), d'autres, spécialisées, dans une transformation à haute valeur ajoutée (extraction d'ingrédients actifs, produits horticoles spécialement formulés). Des entreprises peuvent être simplement acheteuses et importatrices de macroalgues pour les incorporer à un produit destiné à un marché spécifique comme l'alimentation animale et d'autres encore sont récoltantes pour la consommation humaine en frais ou séchée.

1.2 Vue d'ensemble

En fait, il n'est pas possible de reconstituer la totalité de la filière macroalgues, définie comme étant des entreprises situées au Québec récoltant ou utilisant des macroalgues, en se basant uniquement sur des sources d'approvisionnement situées au Québec. Le CRIBIQ a fait réaliser une étude sur la filière des macroalgues au Québec1. Initialement, une liste de 37 entreprises a été dressée. Il s'agit d'entreprises reconnues pour leur implication actuelle dans la filière soit en tant que producteur, récoltant, transformateur, importateur ou encore d'entreprises ayant manifesté un intérêt à utiliser des macroalgues. Au total, 26 entreprises ont répondu en partie ou à la totalité du questionnaire. Compte tenu d'un engagement à la confidentialité, seules les données agrégées seront présentées. Cependant, pour au moins une entreprise, des informations intéressantes peuvent être obtenues de sources publiques et ainsi servir à illustrer l'importance de l'importation de farine de macroalgues et son utilisation.

[1] Laflamme, J. et P. Schmidmayer. 2021.Enquête sur la chaine de valeur des macroalgues au Québec. Rapport sur les résultats. Présenté au Cribiq. mars. 30p.

1.2.1 Taille des organisations

La très grande majorité de ces entreprises sont de petites ou très petites tailles, c'est-à-dire ayant moins de 25 employés et souvent même moins de 5, selon le Registre des entreprises du Québec. Ces emplois se répartissent en emplois fixes ou permanents et en emplois saisonniers.

Le tableau suivant donne la proportion d'entreprises déclarant au moins un emploi permanent ou saisonnier pour chaque catégorie.

Tableau 4. Proportions d'entreprises déclarant au moins un emploi permanent ou saisonnier

Catégorie d'Emplois	Emplois Fixes (%)	Emplois Saisonniers (%)
Administration	69,2	25,0
Chercheurs	34,6	20,0
Techniciens spécialisés	14,3	25,0
Ouvriers	53,8	25,0
Vendeurs	7,7	5,0
Chef cuisinier	3,8	0,0
Resp. contrôle qualité	3,8	0,0
Cueilleur d'algues	3,8	5,0
Employé journalier	3,8	0,0

Les 26 entreprises ont répondu à la question concernant les emplois fixes. Mais seulement 20 d'entre elles ont répondu pour les emplois saisonniers. Le pourcentage de chaque colonne est calculé sur le nombre de répondants (26 pour les emplois fixes et 20 pour les autres). Cependant, on peut constater qu'environ 31% des entreprises n'ont aucun employé permanent dans l'administration ce qui pourrait impliquer que le volume d'activités n'est pas suffisant pour justifier un poste d'employé administratif à temps plein, ce qui est en cohérence avec le fait qu'il y a un nombre relativement élevé de très petites entreprises. Par ailleurs, on peut aussi noter que, près d'un tiers (35%) des entreprises emploient des chercheurs à temps plein, ce qui s'avère aussi cohérent avec l'idée qu'on est en présence d'entreprises innovantes.

Le tableau suivant montre que dans la majorité des cas, les entreprises déclarant au moins un emploi dans chaque catégorie ont moins de 3 employés par catégorie

Tableau 5. Pourcentage d'entreprises déclarant emplois fixes et saisonnières ayant trois employés ou moins par catégorie

Catégorie d'Emplois	Emplois Fixes (%)	Emplois Saisonniers (%)
Administration	83,3	100,0
Chercheurs	77,7	100,0
Techniciens spécialisés	81,8	100,0
Ouvriers	90,9	66,7
Vendeurs	100,0	0,0
Chef cuisinier	100,0	0,0
Contrôle qualité	100,0	0,0
Cueilleur d'algues	100,0	100,0
Employé journalier	0,0	0,0

Ces données nous révèlent que pour les quatre catégories d'emplois les plus répandues (administrations, chercheurs, techniciens spécialisés et ouvriers), la très grande majorité des entreprises déclarant ces catégories embauche trois personnes ou moins par catégorie et ce aussi bien à temps plein qu'à temps partiel.

1.2.2 Secteurs d'activité et marchés

Malgré leur petite taille, il s'agit d'entreprises dynamiques, intervenant à plusieurs niveaux ou sur plusieurs maillons de la chaîne de valeur. Seuls 30% des répondants sont impliqués dans un seul secteur d'activité. Lorsque les entreprises ont été interrogées sur leur domaine ou secteur d'activité, la plupart en ont identifié plusieurs comme le montre le tableau 6. Le revers de la médaille de cette action sur plusieurs niveaux, est qu'aucun de ces secteurs d'activité ne semble suffisamment important pour permettre leur spécialisation. Il reste à voir si une meilleure coordination entre ces entreprises pourrait favoriser la spécialisation et éventuellement un gain de productivité.

Tableau 6. Domaines d'activités déclarés par les entreprises

Secteurs d'activités liés aux macroalgues	Entreprises (%)
Transformation	69,2
Valorisation d'ingrédients actifs	46,2
Vente au détail	42,3
Récolte de macroalgues	34,6
Culture de macroalgues	15,4
Vente à l'état frais	15,4
Recherche et développement	3,8
Business to business	26,9
Business to consumer	19,2

Les quatre premiers secteurs d'activités sont la transformation, la valorisation d'ingrédients actifs, la vente au détail et la récolte de macroalgues. Le nombre d'entreprises déclarant pratiquer la récolte de macroalgues correspond au nombre de permis de récolte émis dans le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine

et la Côte Nord, soit neuf. Il ne semble pas y avoir d'entreprise sans permis et ne récoltant que des algues échouées ou dérivantes.

Lorsque les vingt-six entreprises ont été invitées à évaluer l'importance des activités entourant les macroalgues pour leur entreprise, deux entreprises ont refusé de répondre. Le classement suivant est donc donné pour les vingt-quatre répondants.

Tableau 7. Importance des macroalgues dans l'activité globale des entreprises

% des activités attribuées aux macroalgues	Pourcentage de déclarants
30% ou moins	62,5
De 31 à 50%à	16,7
De 51 à 60%	0,0
Plus de 60%	20,8

Pour une proportion relativement élevée des entreprises qui ont répondu, environ 80%, le secteur des macroalgues ne représente que moins de 50% de leurs activités. Même en ajoutant les deux entreprises qui n'ont pas répondu parmi les entreprises déclarant plus de 60%, la proportion des entreprises déclarant moins de 50% baisse de 80% à 73%. **Autrement dit, le secteur des macroalgues n'est la principale activité que de 20 à 30% des entreprises qui ont été enquêtées, soit entre 5 et 7 entreprises.**

La majorité des entreprises (un peu plus de 50%) visent plusieurs marchés simultanément. L'alimentation humaine et les cosmétiques sont visés par plus de la moitié des entreprises. En ordre décroissant d'importance, les secteurs suivants sont les nutraceutiques, les produits de santé naturelle, l'alimentation animale, l'horticulture, le compostage et la pharmacologie.

Tableau 8. Marchés ciblés par les entreprises québécoises

Marchés ciblés	Entreprises (%)
Alimentation humaine	56,0
Cosmétiques	52,0
Nutraceutiques	44,0
Produits de santé naturelle	44,0
Alimentation animale	36,0
Horticulture	15,4
Compostage	12,0
Autres : pharmacologie	4,0

1.2.3 Profil de commercialisation

40% des entreprises sont présentes sur le marché de gros uniquement, un pourcentage identique sur le marché de détail uniquement et 20% sur les marchés de gros et de détail. En termes de marché géographique, une seule entreprise vise uniquement le marché québécois. La plupart des autres visent plusieurs marchés.

Tableau 9. Régions ciblées par les entreprises québécoises

Régions ciblées	Entreprises (%)
Québec	92
Canada (hors Québec)	65
Amérique du nord (hors Canada)	46
Europe	31
Asie	31
Amérique du sud	24
Autre : ensemble du marché international	4

Les entreprises ont aussi été interrogées pour savoir si elles vendaient leurs produits sous leur propre marque de commerce ou sous licence. Une proportion élevée des entreprises, 35% estiment que cette question ne s'applique pas à eux. 54% des autres qui ont répondu, vendent sous leur propre marque de commerce, une faible proportion (4%) sous licence exclusivement et 8% à la fois sous licence et marque de commerce.

1.2.4 Macroalgues utilisées

Les informations suivantes sont à prendre avec précaution. Elles donnent en quelque sorte un « indice de popularité » des espèces d'algues auprès des entreprises. Mais cette proportion d'entreprises déclarant utiliser ou être intéressée par une espèce ne reflète pas l'importance en volume d'une espèce.

Tableau 10. Algues utilisées par les entreprises québécoises

Macroalgues du Québec	Entreprises (%)
Ascophylle noueuse ou goémon noir	52
Fucus vésiculeux ou varech	28
Fucus distichus distichus	0
Fucus évanescent	4
Fucus denté	0
Fucus	11
Laminaire sucrée ou Kombu royal ou Baudrier de Neptune	52
Laminaire à long stipe	48
Alarie succulente ou Wakamé atlantique ou Fougère de mer	14
Laminaire digitée ou Kombu	4
Porphyre ombiliqué ou Nori	9
Porphyre	0
Mousse d'Irlande	9
Main-de-mer palmée ou petit goémon	19
Laitue de mer	4
Ulve	0
Inconnu	9
Autres	4

De plus, lorsqu'interrogées sur leur utilisation ou transformation des macroalgues du Québec, seules 11 entreprises ont répondu, soit 42%. Les deux algues les plus utilisées auprès de ces entreprises, sont l'ascophylle noueuse et la laminaire sucrée, suivie de près par la laminaire à long stipe.

Quinze entreprises (58% des entreprises) ont répondu à la question à savoir quelle espèce présenterait un intérêt pour la valorisation des ingrédients actifs. Les algues citées par la proportion la plus élevée d'entreprises sont l'ascophylle, la laminaire sucrée et la main-de-mer palmée.

Il est à noter que l'équivalent de 30 tonnes d'algues sèches, toutes espèces confondues, sont récoltées au Québec, et que plus de 90% de ces algues sont des ascophylles noueuses. Par ailleurs, les entreprises du Québec importent environ 500 tonnes d'algues, dont une bonne partie d'ascophylle noueuse. Ces importations proviennent de Nouvelle-Écosse, mais surtout d'autres pays (États-Unis, Irlande et Viêt Nam). Une entreprise comme Premix Goliath est considérée comme un des plus importants importateurs de macroalgues à des fins non alimentaires au Canada. Cette entreprise appartient à Nutrition Athena, qui fait partie du Groupe Cérès. Groupe Cérès est un intervenant important dans la production porcine au Québec. Ce sont environ 350 000 porcs qui sont transigés vers les abattoirs du Québec. Groupe Cérès travaille avec plusieurs éleveurs à forfait. Selon des connaissements repérés sur internet, Premix Goliath fait des prémélanges à partir d'algues importées. L'entreprise importe mensuellement 25 tonnes d'algues.[2]

Parmi les principaux critères motivant le choix de la source d'approvisionnement, les deux principaux, à égalité, sont la disponibilité en volume et le respect du rythme de production. Ensuite viennent la qualité des algues et le lien de confiance avec le fournisseur, à égalité. La question du prix n'arrive qu'après ces critères.

Lorsqu'elles ont été interrogées sur les obstacles qui peuvent rendre difficiles l'approvisionnement en macroalgues au Québec, 45% ont mentionné la faible quantité disponible, 22% la distance par rapport à l'approvisionnement et 17% la qualité du produit et la réglementation en vigueur.

Environ la moitié des entreprises s'approvisionnent en totalité ou en partie à l'extérieur du Québec. La majorité des entreprises qui s'approvisionnent hors Québec s'approvisionnent dans les provinces maritimes (58%), en Europe (42%) ou aux États-Unis (25%). L'Asie devrait figurer parmi ces fournisseurs. Toutefois, les connaissements mentionnés plus haut indiquent 25 tonnes de farine d'algues importées du Viêt Nam via une

[2] La version anglaise du connaissement parle de "seaweed". La version française parle de varech. Au Québec, on considère que le varech est le nom vernaculaire du fucus vésiculeux. D'autres considèrent que varech est un terme générique qui peut s'appliquer à diverses espèces d'algues.

entreprise localisée en Irlande, ont transité par un port européen avant d'être livrée au port de New York, ce qui pourrait entraîner une certaine confusion sur l'origine exacte de la farine d'algues.

Tableau 11. Critères motivant le choix de la source d'approvisionnement des entreprises québécoises

Critères	(%)
Disponibilité en volume	64
Prix de vente (prix d'achat)	36
Qualité des algues	59
Respecte votre rythme de production	64
Lien de confiance avec votre fournisseur	59
Ne s'applique pas	9

Les espèces les plus recherchées hors Québec sont l'ascophylle noueuse (pour 44 % des entreprises) et les fucus (22 %). Toutes les autres espèces sont déclarées être recherchées par 11 % ou moins des entreprises. Il faut noter que seulement 76 % des entreprises déclarant acheter des algues à l'extérieur du Québec ont répondu à cette question.

2. La production des macroalgues au Québec

Les macroalgues proviennent des trois régions maritimes soient : la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. De ces trois régions, la production provenant du Bas-Saint-Laurent représente en volume la plus importante. Il s'agit surtout de l'espèce ascophylle noueuse. Toutefois, la région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine présente la plus grande variété d'algues récoltées commercialement, certains secteurs supportant la récolte d'une douzaine d'espèces différentes. La région de la Côte-Nord ne compte qu'un permis de récolte commercial actif. Elle demeure donc une région au potentiel global sinon inconnu tout au moins méconnu.

Trois méthodes de production sont actuellement utilisées au Québec:

- la récolte d'algues échouées ou dérivantes ;
- l'algoculture ;
- la récolte à pied ou en plongée.

Seule la dernière méthode permet d'obtenir des données sur plusieurs années par espèce. La récolte d'algues échouées ou dérivantes se pratique également, mais elle n'est pas soumise à l'obtention de permis ni à la déclaration de récolte comme la précédente. Elle permet une valorisation de macroalgues souvent en l'incorporant à des engrais pour l'agriculture. Quant à l'algoculture, le procédé semble en bonne partie à un stade expérimental avancé permettant quand même une activité commerciale, quoique modeste. Elle se pratique essentiellement dans la région Gaspésie-Îles–de-la-Madeleine.

2.2 Les conditions de récolte des macroalgues

Pour avoir le droit de récolter des macroalgues, même pour des fins de consommation personnelle, il faut détenir un permis annuel de Pêches et Océans Canada. Ce permis indique le nom du titulaire du permis ainsi que celui de toutes les personnes autorisées à récolter dans le secteur géographique et pour les espèces permises. Les méthodes de récolte excluent toute forme d'arrachage du substrat et privilégient l'usage d'un instrument coupant pour détacher l'algue de son crampon. Le titulaire du permis est tenu de déclarer les quantités récoltées. Il est aussi interdit d'exploiter plus d'une fois un même secteur durant la période de validité du permis pour la plupart des espèces. Cette période de fermeture à l'exploitation s'étend à trois ans pour l'ascophylle et le fucus. Les exploitants sont tenus de compléter et de remettre un registre indiquant le secteur de la récolte, le nom de la personne ayant récoltée, le nombre d'heures consacrées à cette activité durant cette journée, à quelle profondeur s'est fait cette récolte et le poids de chaque espèce récoltée.

2.3 Les secteurs géographiques

Le littoral du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie est divisé en neuf secteurs géographiques d'une longueur pouvant varier de 1,4 à 83 kilomètres chacun. Pour des raisons de confidentialité des données personnelles, Pêches et Océans Canada ne donne pas le nom des exploitants par secteur ni par espèce. La Côte-Nord n'est pas soumise à un découpage géographique de ce type ni à la déclaration des volumes récoltés. Un seul permis actif y a été déclaré et les volumes récoltés sont de l'ordre de 500 kg dont 55 kg d'ascophylle et 155 kg de divers fucus.

2.4 Principales réglementations qui s'appliquent au Québec

La récolte et la culture des algues en milieu marin sont soumises à un encadrement réglementaire très serré, faisant intervenir deux ministères provinciaux et deux ministères fédéraux. Le MAPAQ joue le rôle de guichet unique pour la mariculture. Les deux encadrés suivants résument les principaux règlements pour la récolte et l'algoculture respectivement.

Récolte des algues

- Permis octroyé annuellement par le MPO pour les algues fixées sur le fond;
- Aucun permis nécessaire pour les algues échouées;
- Zones interdites : parcs nationaux, réserves nationales, secteurs contaminés (ports);
- Un seul permis/secteur.

Algoculture

- Permis d'aquaculture en milieu aquatique octroyé par le MAPAQ;
- Autorisation faunique pour les projets aquacoles qui peuvent avoir un impact sur la faune et ses habitats (MFPP, Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune);
- Certificat d'autorisation pour des projets qui peuvent avoir un impact sur l'environnement (MELCC, Loi sur la qualité de l'environnement)
    - Bail aquacole pour l'occupation du domaine hydrique de l'État (MELCC)
    - Approbation en vertu de la Loi sur la protection de la navigation (Transport Canada), et
- Autorisation de détruire, perturber ou détériorer l'habitat du poisson ou avis en vertu de la pêche (MPO).

Une fois les algues récoltées ou ramassées, la règlementation agissante diffère en fonction de l'application. Par exemple, si les algues sont utilisées en alimentation humaine, la loi sur les produits alimentaires s'applique (RLRQ, c- P-29).

2.5 Les espèces récoltées

Le MPO autorise la récolte de 25 espèces d'algues et de plantes différentes. Le tableau suivant énumère les algues et les classe selon qu'il s'agit d'une algue brune (la plus récoltée), rouge ou verte.

Algues Brunes	Algues Rouges	Algues Vertes	Autres
▪ Agarum clathratum	▪ Chondrus crispus	• Enteromorpha sp.	• Spartina alterniflora
▪ Agarum cribosum	▪ Devaleraea ramentacea	• Ulva lactuca	• Zostera marina
▪ Alaria esculenta	▪ Palmaria palmata	• Ulva spp.	
▪ Ascophyllum nodosum	▪ Porphyra miniata		
▪ Chorda filum	▪ Porphyra sp.		
▪ Chordaria flagelliformis	▪ Porphyra umbilicus		
▪ Fucus distichus distichus			
▪ Fucus distichus evanescens			
▪ Fucus distichus ssp.			
▪ Fucus spiralis			
▪ Fucus vesiculosus			
▪ Laminaria digitata			
▪ Laminaria longicruris			
▪ Saccharina latissima			
▪ Sacchoriza dematodea			

Figure 22 Liste des algues et plantes aquatiques pour lesquelles le ministère des Pêches et Océans Canada accorde un quota de récolte au Québec, source CRBM

L'ascophylle est la principale espèce récoltée en volume au Québec (Tableau 12). Elle représente environ 90% du volume total récolté. Même si l'information par secteur de récolte est confidentielle, des recoupements nous permettent d'avancer qu'elle est principalement récoltée dans la région du Bas-Saint-Laurent. *Saccharina latissima* est la deuxième algue brune en importance récoltée au Québec. Elle est principalement récoltée en Gaspésie (de l'ordre de 85% du total de cette espèce), mais elle ne représente que 5% environ du total des algues récoltées. Actuellement, nous n'avons pas d'information sur les algues récoltées sur la Côte-Nord. Un quota de 425 kg de macroalgues est alloué à un exploitant sur la Côte Nord.

De ce quota 60% (260kg) sont alloués pour les diverses espèces d'algues brunes, 20% pour les algues rouges et un autre 20% pour les algues vertes et autres plantes marines.

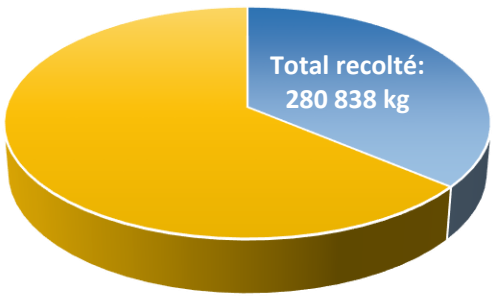
Il est important de mentionner qu'il est tout à fait normal que seulement un tiers du total du quota qui sont récoltés annuellement. Selon l'espèce visée, il y a un taux maximal de récolte par années que les cueilleurs d'algues doivent respecter. Ce taux permet surtout la régénération de la biomasse algale dans son milieu naturel

Tableau 12. Quantités récoltées et quotas par espèce pour 2018

Algues brunes	Quotas, kg	Quantité récoltée, kg
Agarum clathratum	50	0
Agarum cribosum	100	0
Alaria esculenta	5 100	2 718
Ascophyllum nodosum	651 810	260 942
Chorda filum	250	0
Chordaria flagelliformis	100	10
Fucus distichus distichus	500	0
Fucus distichus evanescens	500	0
Fucus distichus ssp.	6 000	0
Fucus spiralis	1 000	0
Fucus vesiculosus	25 710	2 468
Laminaria digitata	4 650	11
Laminaria longicruris	0	0
Saccharina latissima	75 200	14 354
Sacchoriza dematodea	1 100	0
Total	**772 070**	**280 503**

Algues rouges	Quotas, kg	Quantité récoltée, kg
Chondrus crispus	600	0,5
Devaleraea ramentacea	600	6
Palmaria palmata	2 250	30
Porphyra miniata	0	0
Porphyra sp.	0	0
Porphyra umbilicus	0	0
Total	**3 450**	**36**

Algues vertes	Quotas, kg	Quantité récoltée, kg
Enteromorpha sp.	10	0
Ulva lactuca	25	0
Ulva spp.	1 150	19
Total	**1185**	**19**



Total quota autorisé:

778 825 kg

2.6 Évolution de la production totale au Québec entre 2014 et 2018

Actuellement, il est possible d'évaluer la quantité d'algues récoltées au Québec seulement selon la déclaration des détenteurs de permis de récolte. D'un total de 24 espèces autorisées, seulement huit espèces sont récoltés au Québec sur une base régulière. Pour certains, le quota permis ne permet pas de réaliser une exploitation commerciale, pour d'autres il n'y a pas d'intérêt économique vu les dépenses importantes reliées à la cueillette.

La figure 23 illustre l'évolution de la récolte des algues au Québec, en basant toujours sur les données auto-rapportées des entreprises détentrices de permis. Malgré un petit recul en 2015, la récolte d'algues a doublé de 2015 à 2018.

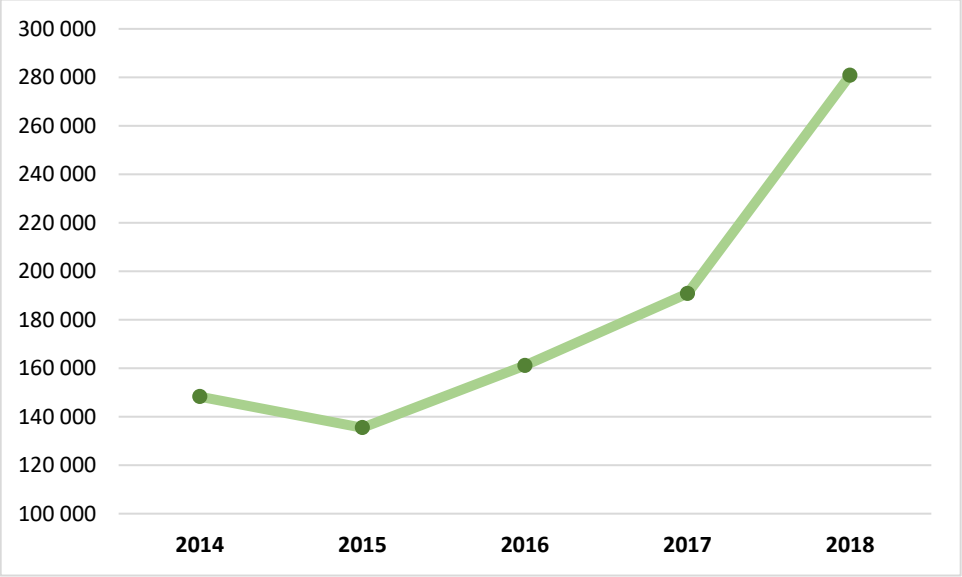


Figure 23. Évolution de la quantité récoltée d'algues au Québec de 2014 à 2018, en kg

De toutes les espèces récoltées, seules quatre espèces ont des niveaux de production supérieurs à 1000 kg : *Ascophyllum nodosum, Saccharina latissima, Alaria esculenta* et *Fucus vesiculosus*. Ces quatre espèces d'algues brunes représentent à elles seules entre 98% et 99,9% du total récolté.

Tableau 13. Proportion de quatre espèces d'algues avec un niveau de production de plus de 1000 kg récoltés au Québec, par année et par espèce, % de la quantité totale de production

Espèces	2014	2015	2016	2017	2018
Alaria esculenta	0,35	0,36	1,46	0,99	0,97
Ascophyllum nodosum	99,13	96,32	90,78	94,59	92,91
Fucus vesiculosus	0,01	2,06	0,99	2,53	0,88
Saccharina latissima	0,09	0,73	5,05	1,58	5,11
Total	**99,58**	**99,47**	**98,28**	**99,69**	**99,87**

Ascophyllum nodosum est un cas à part, représentant au minimum 90% de la récolte totale et toujours plus de 100 000 kg en frais.

En fait, on peut regrouper les espèces, en termes des niveaux de production, en trois catégories :

- *Ascophyllum nodosum* est une catégorie à elle seule ;
- Les espèces dont le volume est compris entre 1 tonne et 15 tonnes : *Alaria esculenta*, *Fucus vesiculosus* et *Saccharina latissima* ;
- Toutes les autres espèces (moins de 1 tonne chacune).

On peut voir la nette prédominance de la catégorie I (*Ascophyllum nodosum*) avec une légère remontée des espèces de la catégorie II. Toutes les autres espèces semblent stagner.

On peut donc faire un certain nombre de constats à cette étape :

- La prédominance de l'ascophylle dans la production locale ;
- L'importance du Bas-Saint-Laurent dans la production de l'espèce la plus récoltée ;
- La grande majorité des espèces utilisées sont des algues brunes.

2.7 L'algoculture au Québec

Sous l'impulsion de la Chaire de recherche industrielle CRSNG (2012-2017) en valorisation des macroalgues marines, de l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (EPAC) et de Merinov, des essais de culture de macroalgues, tant en laboratoire qu'en situation réelle, sont menés depuis environ une dizaine d'années.

L'ensemble des étapes pour faire l'algoculture a été présenté dans le guide 13-01 de Merinov intitulé : *Protocoles pour la culture de la laminaire à long stipe (Saccharina longicruris) et de la laminaire sucrée (Saccharina latissima) dans le contexte du Québec (juin 2013).* Il permet de caractériser les principales étapes, de la récolte de géniteurs à la récolte d'algues prête à être commercialisée.

Le document en énumère au total huit (8) avec des variations selon certaines circonstances, par exemple si les plants récoltés sont fertiles ou non. La première étape consiste dans tous les cas à recueillir les plants géniteurs ou à partir desquels il faudra induire une sporogénèse dans le milieu naturel. Sur le plan réglementaire, cette étape demande aussi un permis de récolte du MPO. Les étapes suivantes consistent à préparer les supports de culture (cordelettes), les milieux de culture (récipient, eau de mer stérile), forcer la sporulation, ensemencer les supports de culture, en faire une préculture en bassin, transférer en mer en octobre (installation des cordelettes sur les filières horizontales dans la plupart des cas), couler les filières à une certaine profondeur (en dessous des glaces), à les remonter au printemps, suivi d'une récolte d'éclaircissement et d'une récolte finale en juillet.

La production actuelle du secteur algocole est centrée sur la laminaire sucrée (*Saccharina latissima*). On estime la production annuelle actuelle à environ 4 à 5 tonnes fraîches. Elle est principalement destinée à être incorporée à diverses préparations/condiments destinées à la consommation humaine.

Par ailleurs, en plus des laminaires, il semblerait que certaines espèces pourraient aussi se prêter à la culture, notamment : alarie succulente (*Alaria esculenta*), lacet de mer (*Chorda filum*), dulse (*Palmaria palmata*) et laitue de mer (*Ulva lactuca*).

2.8 Importations d'algues

Des entreprises québécoises importent des algues provenant d'autres provinces canadiennes (Nouvelle-Écosse) ou d'autres pays (États-Unis, Chine, Royaume-Uni, etc.).

Par exemple, des entreprises situées dans le Québec maritime importent des algues. On estime à environ 200 tonnes d'*Ascophyllum nodosum* et à environ 5 à 10 tonnes de *Fucus vesiculosus* en produit sec, les quantités importées par ces entreprises. Il s'agit ici d'importations à des fins autres qu'alimentaires. En tenant compte de l'information obtenue lors de l'enquête auprès des entreprises ainsi que des données des connaissements, on peut ajouter à ces importations à des fins autres que l'alimentation humaine, environ 300 tonnes d'algues brunes.

Actuellement il n'existe pas de séries statistiques sur le commerce interprovincial et encore moins sur le commerce interprovincial des algues. Statistique Canada compile annuellement les données sur les

importations et exportations d'algues sous toutes ses formes (fraîches, réfrigérées, congelées, séchées, pulvérisées) à des fins de consommation humaine ou non et selon le pays d'origine ou le pays de destination. De plus, le ministère Innovation, Sciences et Développement économique Canada communique des informations sur les principaux importateurs de ces produits au Canada.

Les échanges internationaux du Canada représentaient une valeur de 37 millions $ en 2019. Les exportations représentaient 64% de cette valeur. Environ 58% de ces exportations étaient composés d'algues non destinées à la consommation humaine. Par ailleurs, 74% des algues importées étaient destinées à la consommation humaine.

En 2019, le Canada exportait pour une valeur de 23,5 millions $ d'algues sous ses diverses formes. La majeure partie (13,7 millions $ ou 58%) de ces algues n'était pas destinée à l'alimentation humaine. Cette dernière représentait une valeur de 9,8 millions $ (42%). Le principal pays de destination était les États-Unis, pour une proportion de 93% pour les algues destinées à la consommation humaine et 86% pour les autres. Au total, les États-Unis achètent 89% des algues exportées par les entreprises canadiennes.

Pour la même année, les entreprises canadiennes ont importé pour 13,6 millions $ d'algues. Environ les trois quarts (74%) ou 10,1 millions $ de ces algues étaient destinées au secteur de l'alimentation humaine. La Chine est le principal fournisseur de ces algues avec 32% des importations, la Corée du Sud 17% et les États-Unis 16%. Le Royaume-Uni est le seul pays européen figurant parmi ces fournisseurs, à hauteur de 11%. Le principal fournisseur d'algues non alimentaires était les États-Unis (33%) suivi du Viêt Nam (18%). La Chine fournissant pour moins de 1% de ces importations. L'Irlande, la France, l'Islande et les Pays-Bas fournissent ensemble 21% de ces importations.

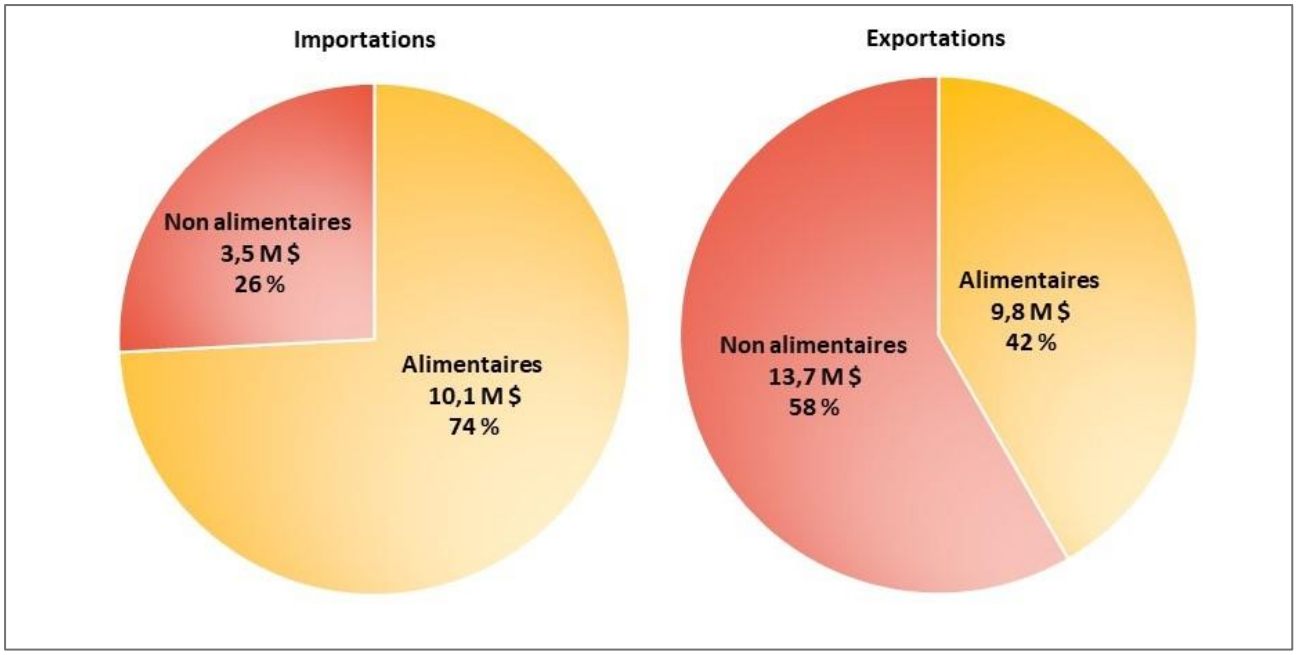


Figure 24. Importation et exportation des algues au Canada en 2019 (adapté de Global Market Insights)

Une autre information intéressante qu'on peut extraire de la base de données du ministère Innovation, Sciences et Développement économique Canada, provient de la liste des principales entreprises qui importent des algues ainsi que le pays d'origine de ces importations. Pour les importations d'algues à des fins alimentaires, on retrouve 41 entreprises qui représentent au moins ensemble 80% de ces importations.
Les entreprises ayant une adresse au Québec figurent dans la figure suivante. On n'y retrouve que 5 entreprises sur les 41 répondantes.

Au niveau Canadien, on retrouve 14 entreprises qui importent des algues à des fins autres que l'alimentation humaine. Ces 14 entreprises représentent 80% de ces importations. Ils n'existent pas des données spécifiques à l'importation des algues spécifiques à la province du Québec.

Constats :

- La valeur des exportations canadiennes d'algues est supérieure à la valeur des importations;
- La grande majorité de ces exportations est constituée d'algues à des fins autres que l'alimentation humaine;
- Le principal pays de destination de ces exportations est les États-Unis;
- Les trois quarts des importations sont des algues destinées à la consommation humaine;
- Les deux principaux pays fournisseurs d'algues à des fins non alimentaires sont les États-Unis et le Viêt Nam;
- Les principaux fournisseurs d'algues à des fins d'alimentation humaine sont : la Chine (32% de ces importations), la Corée du Sud 17% et les États-Unis 16%.

3. La chaîne de valeur de la filière algale au Québec

Avant de donner un aperçu de la chaîne de valeur de la filière algue, il importe d'avoir une idée plus précise des composantes de cette filière. En fait, une entreprise fait partie de la filière algue si elle répond à au moins un des critères suivants :

- Elle récolte des algues à des fins commerciales. Elle détient un permis de récolte et au moins un quota ou elle cultive des algues.
- Elle produit des plantules à des fins d'algoculture commerciale. Elle récolte les géniteurs et en maîtrise la reproduction.
- Elle transforme au Québec des algues qui peuvent provenir de l'extérieur du Québec et cette activité est sa principale source de revenus.

Dans ce contexte, on retrouve au Québec entre une dizaine et une quinzaine d'entreprises actives dans ce secteur. Ceci pose des problèmes de confidentialité par rapport aux données stratégiques des différentes entreprises. C'est pourquoi les données de nature économique sont agrégées selon le maillon de la chaîne de valeur (primaire, secondaire, tertiaire) et non selon le type ou la destination du produit.

On peut classer ces entreprises selon plusieurs critères :

Selon les volumes récoltés ou traités	• Entreprises de petite ou moyenne taille ; • Entreprises de dimensions plus réduites (moins de 5 employés à temps plein, équivalent annuel).
Selon le type de débouchés	• Entreprises dont la production est destinée à la consommation humaine directement ou indirectement • Entreprises spécialisées dans une transformation faisant appel à des technologies plus avancées (extraction d'ingrédients actifs, incorporation dans une formulation spéciale).
Selon la région	• Bas-Saint-Laurent • Gaspésie-Île-de-la-Madelaine • Côte Nord • Hors région maritime

En combinant ces trois critères, on peut formuler les constats suivants :

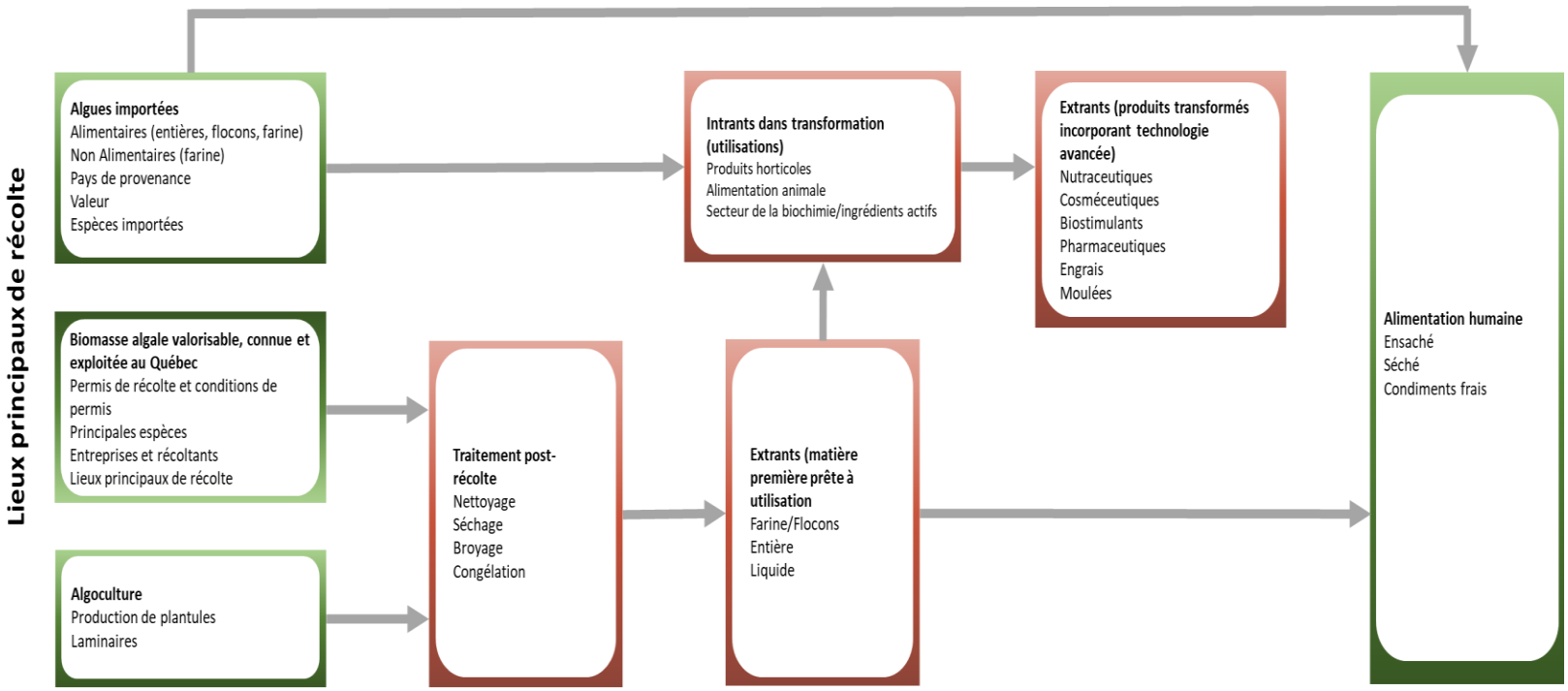
Constats :

- Les plus grandes entreprises, en termes relatifs, à maîtrise technologique plus avancée, se trouvent dans le Bas-Saint-Laurent ou hors région maritime.
- La Gaspésie regroupe les entreprises de plus petites tailles dont la production est destinée à l'alimentation humaine, soit en frais, séchée et emballée en sachets d'une dizaine ou vingtaine de grammes, soit ajoutée à des préparations de types condiments (pesto). C'est aussi en Gaspésie qu'on retrouve le plus d'intérêt pour l'algoculture, incluant la production de plantules.
- Sur la Côte Nord, on ne trouve qu'un seul permis commercial en opération et les quotas attribués sont relativement modestes, quelques kilogrammes, destinés à être ajoutés à une production artisanale de cosmétiques.

La figure suivante présente schématiquement la chaîne de valeur de la filière des macroalgues au Québec telle qu'elle existe aujourd'hui. À gauche on trouve la source de matière première. Les macroalgues utilisées au Québec proviennent pour une partie de la biomasse algale sauvage (on parle de cueillette) et pour une plus faible partie de l'algoculture. L'algoculture au Québec se trouve à un stade de développement embryonnaire, avec deux entreprises productrices et un seul fournisseur de plantules.

La majeure partie des approvisionnements provient de l'extérieur du Québec sous forme de farine d'algues, en ce qui concerne les algues importées à des fins industrielles. Immédiatement à droite de la colonne des approvisionnements on trouve le traitement post-récolte pour les algues récoltées au Québec. Une partie de ces algues sont destinées directement à la consommation humaine, une fois ensachée ou incorporée dans une préparation alimentaire. L'autre partie rejoint sous forme de farine les algues importées pour subir une autre étape de valorisation pour l'agriculture, l'alimentation animale ou pour le secteur de la biochimie/ingrédients actifs. Cette dernière valorisation est destinée aux secteurs des nutraceutiques, cosméceutiques, biostimulants, pharmaceutiques ou à d'autres utilisations à usages à forte valeur ajoutée.

La chaîne de valeur de la filière des macroalgues du Québec



Support au développement de la filière et à la création d'une chaîne de valeur

- En général : recherche et développement – mise au point de procédés, de techniques, mise à l'échelle commerciale; soutien financier au développement.
  A faire ici : bilan des travaux et support de Merinov, Optimum, CRIBIQ, etc. ;
- **Production primaire et algoculture** : évaluation de biomasse exploitable, faisabilité de certaines espèces cultivées ;
- **Traitement post-récolte** : besoin de séchage, technologie;
- **Autres utilisations de la matière première traitée** : alimentation animale (?)autres procédés d'ingrédients actifs ;
- **Produits transformés à haute technologie** : mise à l'échelle commerciale de la production ;
- **Alimentation humaine** : évaluation du marché et rôle de l'approche « maraîcher de la mer ».

3.1 Estimation de la valeur créée par la filière algue au Québec

3.1.1 Valeur ajoutée secteur primaire (récolte, culture, importations)

Au Québec, les détenteurs de permis de récolte de macroalgues font une première transformation et donc les estimations que nous donnent les experts consultés de la valeur des algues sont considérées après cette première transformation. Une première estimation de la valeur ajoutée par la première transformation est d'environ 1,50$/kg pour des algues triées, lavées et séchées. Les algues perdent environ 90% de leur poids dans le processus. La valeur de ces algues est approximativement de 42 150$. Une autre approche consiste à considérer que 10% du volume récolté est constitué d'algues ayant une valeur commerciale plus grande que l'ascophylle. Sur la base du prix de vente des algues destinées à la consommation humaine et en soustrayant la marge brute du secteur de gros et du détail, ainsi que celles liées aux étapes de conditionnement et emballage, on peut trouver que pour 10% des algues récoltées, la valeur au kilogramme est de 8,00$. On obtient donc pour le secteur primaire, une valeur de 37 935$ (90% de 42 150$) plus 22 480$, soit au total 60 415$ pour des algues récoltées au Québec.

Depuis environ 4 ans, on produit aussi des algues de culture, environ 3,5 à 4 tonnes de laminaires. Ces algues sont incorporées à des aliments ou préparations alimentaires destinées à la consommation humaine. On peut estimer leur valeur à 4000$.

On importe aussi des algues au Québec. On peut estimer les volumes importés à des fins non alimentaires à plus ou moins 500 tonnes sèches, constituées pour l'essentiel d'algues brunes. Selon une étude américaine, une livre d'algues sèches se vend 11,60$, soit 35$ en dollars canadiens le kilogramme. En soustrayant la marge du détaillant et du grossiste, ainsi que la marge de la transformation, on arrive à un prix d'environ 2,30$ le kilogramme. Les experts consultés suggèrent plutôt un prix près de 2,00$/kg ou 2000$ la tonne. La valeur des algues importées serait donc de 1 000 000 $. Ce montant équivaut à un peu moins de 30% de la valeur des importations d'algues à des fins non alimentaires au Canada. Les importations du Québec à des fins alimentaires, basées sur un ratio de 25% de la valeur des importations, s'élèveraient à 2,5 millions de dollars.

On peut considérer que les entreprises situées au Québec génèrent une valeur ajoutée d'environ 3,6 millions $ en ce qui concerne le secteur primaire des algues. Une partie seulement de cette valeur est réalisée au Québec, compte tenu des importations.

3.1.2 Valeur ajoutée du secteur secondaire

Le secteur secondaire comprend la transformation l'extraction et la valorisation des produits d'intérêt issus de macroalgues. Les algues récoltées sont lavées, triées, séchées, pulvérisées ou déchiquetées pour une première transformation. Une faible partie de la production est vendue en frais ou séchée pour la consommation humaine. L'extraction de biomolécules et d'ingrédients actifs (biotechnologies) pour le secteur des cosméceutiques, nutraceutiques ou pharmaceutiques, la préparation de biostimulants pour l'agriculture et l'incorporation d'algues dans des moulées ou des produits de santé animale constituent les principales utilisations (en volume et possiblement en valeur) des algues au Québec, incluant les algues importées. Ces différentes opérations constituent une seconde transformation.

Cette seconde transformation concerne les 530 tonnes d'algues sèches, incluant les algues importées à des fins non alimentaires, mais excluant donc les algues (importées ou récoltées localement) alimentaires. La valeur initiale de ces algues est de l'ordre de 1,06 million de dollars. Les algues importées à des fins de consommation humaine ne subissent pas de transformation en tant que telle. C'est plutôt au niveau du secteur tertiaire qu'on peut voir une augmentation de la valeur.

La valeur ajoutée du secteur secondaire dépend pour beaucoup du type de transformation/valorisation effectuée et du marché visé. Une étude américaine sur le marché des algues comestibles dans l'État du Maine fait ressortir que la valeur du produit transformé est de 13 fois la valeur du secteur primaire pour des algues récoltées de manière traditionnelle (de 24 fois pour des algues cultivées) à des fins de consommation humaine.

Une étude sur le développement de l'algoculture en Irlande arrive à peu près aux mêmes valeurs pour la production de farine d'algues en vrac et la vente en gros. Cependant, la valeur ajoutée est encore multipliée par deux si on inclut la vente au détail. Au Québec, on nous suggère plutôt une valeur de 10 comme multiple de la valeur initiale.

On peut estimer la valeur ajoutée par le secteur de la transformation/valorisation à l'intérieur d'une fourchette variant entre 10,6 M $ et 13,78 M $. Il s'agit d'une approximation, car une partie des algues transformées au Québec vont servir à l'extraction de composés d'intérêt (voir le tableau suivant). Cependant, il faudrait connaître plus en détail les procédés d'extraction pour avoir une meilleure idée de la quantité et la qualité précise de chacun des ingrédients qu'il est possible d'obtenir à partir d'un kilogramme d'algues. Le tableau 14 indique quelles sont les algues qui semblent avoir fait l'objet d'un traitement pour l'extraction de ces ingrédients et le pourcentage de chacun des ingrédients. Le tableau 15 donne quant à lui un ordre de

grandeur des prix au kilogramme pour des volumes importants (en général au minimum 1000 kg) sur le marché international. On peut voir que le prix au kilogramme de l'ingrédient peut représenter de 4 à 12 fois (8,50$ à 25$) le prix du kilogramme de la matière première utilisée pour ce qui est de l'ascophylle. Une simulation de la valeur extraite de chaque kilogramme d'algues et en considérant qu'environ 130 à 135 tonnes comprenant majoritairement de l'ascophylle, du fucus vésiculeux et dans une moindre mesure de la laminaire sucrée donnent un résultat assez semblable au total.

Tableau 14. Principaux composés d'intérêt de certaines algues du Québec (source-CRBM)

Espèces (noms vernaculaires)	Composés d'intérêt (base sèche en % de la masse)
Ascophyllum noueuse	Mannitol: 7,5%
	Polyphénols : 1,4% / 9-14%
	Alginate : 28 %
	Laminarane/Laminarine : 4,5%
	Fucoxanthin : 0,017-0,066
Fucus vésiculeux	Phlorotanin : 6%
	Fucoidan : 3,4-25,7%
	Alginate : 8,4-58,8%
	Laminaran : 0,6-0,7%
	Fucoxanthin : 0,7%
Laminaire sucrée ou Kombu royal	Alginates : 28,5%
	Laminaran : 8,2%
	Manitol : 18,6%
	Polyphénols : 0,41%
	Fucoxanthin : 0,018-0,047%
Main-de-mer palmée	Phycobiliprotéine : 0,1
	Polyphénols : 0,48
	Acides aminés analogues de la mycosporine : 0,04

Tableau 15. Quelques exemples de prix pour des extraits d'algues

Extrait	Prix de vente en gros payé par l'industrie, $US/kg	Commentaire
Mannitol	35 $	Qualité alimentaire
Fucoidan	60 à 135 $	Qualité cosmétique
Alginate	8,50 $	Qualité alimentaire FOB
Laminarane/Laminarine	25 $	Qualité pharmaceutique
Fucoxanthin	25 $	Qualité alimentaire

2.1.3 Valeur ajoutée par le secteur tertiaire

Le secteur tertiaire comprend plusieurs étapes comme le transport, l'entreposage, la commercialisation et la distribution. Les principaux transformateurs écoulent leurs productions à des clients qui sont essentiellement des entreprises qui vont l'incorporer dans leurs produits ou encore en faire la distribution auprès d'autres entreprises.

Pour le domaine alimentaire, la vente et la distribution des algues récoltées au Québec se fait pour beaucoup par la vente directe au client/consommateur final ou par un réseau de distribution local. Les algues importées à des fins alimentaires sont distribuées par le biais des différents canaux de distribution des produits alimentaires (épicerie, restauration, etc.).

On peut estimer la marge de ce secteur à 40% de la valeur du produit transformé, soit 40% de la valeur des algues à des fins alimentaires (2,6 M $) et des algues transformées. Cela donnerait une valeur ajoutée de 5,3 M $ à 6,5 M $.

Valeur ajoutée totale

La valeur ajoutée totale par le secteur des algues au Québec se situe entre 19,5 millions $ et 23,9 millions $. Il importe de se rappeler qu'une partie de la valeur ajoutée par le secteur primaire et par le secteur tertiaire n'est pas nécessairement réalisée au Québec.

3.2 Estimation du nombre d'emplois créés par la filière algue au Québec.

En nombre de personnes, le secteur primaire et celui de la transformation comptent le plus grand nombre d'employés, mesuré en équivalent annuel. En saison et tous secteurs géographiques confondus, on pourrait compter plus d'une soixantaine de personnes différentes travaillant à l'exploitation (récolte d'algues sauvages, algoculture, première transformation). Ramenés en années-personnes, cela ferait jusqu'à une vingtaine d'emplois annuels pour ce travail saisonnier.

À ce travail saisonnier, on peut ajouter de 60 à 70 emplois annuels, à temps plein. Environ les deux tiers se trouvent liés directement à la transformation et la valorisation des algues.

La filière algue telle qu'elle existe aujourd'hui au Québec supporte de 80 à 90 emplois dans différents secteurs d'activités.

3.3 Considérations spéciales en ce qui concerne l'algoculture.

Comme mentionné auparavant, le secteur de l'algoculture revêt un caractère expérimental important. La principale espèce cultivée est la laminaire sucrée. Sur la base des résultats obtenus en laboratoire et par extrapolation, Merinov a estimé en 2014 que le coût de production d'un kg d'algues séchées avec un rendement moyen en matière sèche de 20%, à 17,65$/kg (compte tenu du coût de la production de plantules en écloserie, de l'ensemencement en mer tôt à l'automne, de la récolte après 8 mois de croissance en mai-juin et du séchage). Ce coût de production est réparti entre les coûts fixes liés à la location d'équipements (16,49%) et les coûts variables (83,51%). La majeure partie de ces coûts variables sont attribuables à l'acquisition de laminaires (82,25%) et le reste essentiellement à la main d'œuvre.

En fait, lorsque ce même procédé de production a été reproduit en milieu naturel, il semble que même pour une production à petite échelle, environ 18 tonnes, les coûts de production du kg en frais s'élèvent à 17$. D'autres analyses ont démontré qu'avec des rendements de culture de 15kg du mètre de cordelettes, une augmentation de l'échelle de production à 75 tonnes d'algues fraîches (ce qui représente 50 filières de 100 mètres ou 5 km de filières) et une augmentation de la capacité de transport du bateau au moment de la récolte (plus de 400 kg par voyage), tout en considérant une période d'amortissement sur 10 ans, il était possible d'atteindre le seuil de rentabilité à un prix de 1,65$/kg en frais.

Si on prend en compte les paramètres donnés plus haut sur le rendement en matière sèche de 20%, les 75 tonnes fraîches deviennent 15 tonnes sèches. Ce qui donne aussi un prix de 8,25$ du kg d'algues sèches. Bien que ce ne soit pas nécessairement réaliste de le concevoir ainsi, ce prix représente environ 4 fois le prix des algues importées. Ce qu'il faut retenir ici, c'est que la laminaire sucrée ne peut être un proche substitut à l'ascophylle noueuse, mais que sa culture pourrait être intéressante pour d'autres raisons et d'autres fins, notamment sa composition en ingrédients actifs.

Une étude récente[3] concernant l'algoculture de *Saccharina latissima* dans l'état du Maine aux États-Unis peut servir de point de comparaison. Pour les besoins d'explication, les livres ont été converties en kilogrammes, les dollars américains en dollars canadiens au taux de change de 1 $US=1,30 $ CDN et les pieds en mètre linéaires. Les algoculteurs déboursent environ 215 $ pour 100 mètres de cordelettes avec plantules. Le rendement au mètre de cordelettes se situe entre 4,5 kg et 9 kg du mètre de cordelettes. Cela équivaut à un coût de production par mètre variant entre 0,28 $ et 0,48 $ le kg d'algues fraîches. Le volume total récolté en 2019 est de 325 000 livres d'algues fraîches pour une valeur de 195 000$ US. Convertis en dollars canadiens et en kilogramme, on obtient une valeur au kilogramme d'algues fraîches de 1,70 $ (entre 1,60 $ pour un taux de change de 1,20 $ (ou 0,80 $US pour 1 $ canadien) et 1,70 $ pour un taux de change de 1,30 $. On peut considérer que ces chiffres correspondent à la valeur à la ferme d'algues fraîches cultivées à des fins de consommation humaine. Certes, les conditions environnementales, notamment, ne sont pas les mêmes qu'au Québec, mais la durée de la période de croissance est sensiblement la même, soit entre 5 et 7 mois entre la mise à l'eau à l'automne et la récolte au printemps, ainsi que les méthodes de culture. De plus, près de 60% de la production totale d'algues dans l'état du Maine provient de l'algoculture.

On comprend l'ampleur de la tâche à accomplir pour mieux maîtriser la culture des algues surtout que les estimations actuelles de production donnent un ordre de grandeur de 3 à 5 tonnes par année pour la laminaire sucrée.

Néanmoins, il apparaît possible d'améliorer la performance financière des fermes d'algoculture de laminaires sucrées. Éventuellement d'autres espèces peuvent présenter un intérêt (voir la partie suivante sur les lignes directrices) et on peut entrevoir d'autres usages de ces algues que l'algoculture à des fins de consommation humaine.

[3] Piconi, P., R. Verdenheimer et B. Chase (2020) Edible Seaweed Market Analysis, Island Institute. 60p.

Il importera aussi de prendre en considération deux aspects importants : le choix des sites d'algoculture en relation avec d'autres usages possibles de ces espaces et l'impact potentiel d'une production à grande échelle destinée à la consommation humaine sur les petits producteurs locaux qui récoltent des algues sauvages.

3.4 Support au développement de la filière et au renforcement de la chaîne de valeurs

Le volet support au développement de la filière et au renforcement de la chaîne de valeur concerne les partenariats et accords de contribution publics-privés ou privés-privés. Il se manifeste sous différentes formes : transfert et acquisition d'expertises, prêts, subventions ou investissements financiers, notamment. L'enquête sur la chaîne de valeur du CRIBIQ mentionnée plus haut permet d'avoir un aperçu du genre de support recherché et obtenu par les intervenants dans la filière.

Le tableau suivant présente quelques informations intéressantes sur les partenariats en R et D que peuvent entretenir les entreprises ayant répondu aux questions. Soulignons que 17 entreprises sur 26 (65%) ont accepté de répondre à la question sur le nombre de partenariats selon le partenaire et 16 entreprises (61%) ont répondu à celle sur le caractère régulier ou occasionnel de ces partenariats. On peut constater que le partenariat le plus répandu est avec un consultant (71%), mais qu'il est celui le moins souvent renouvelé. De toutes les entreprises questionnées, 65% collaborent avec des universités. Dans la majorité des cas (82%) cette collaboration se limitait à moins de 3 partenariats et ce sur une base régulière. Une proportion un peu moindre d'entreprises collabore avec les Cégeps et les CCTT affiliés.

Tableau 16. Pourcentage d'entreprises déclarant au moins une collaboration selon la fréquence et la régularité

Partenaires	Au moins une collaboration	1-3	Plus de 3	Régulier	Occasionnel
Université	65	82	18	70	30
Cegep	59	60	40	66	34
Consultant	71	100	0	42	58
Entreprise	59	60	40	60	40
Hors Québec	41	86	14	0	100

Ces partenariats sont un peu plus fréquents (40% plus de 3) et se font aussi régulièrement dans une proportion de 66%. 59% des entreprises enquêtées ont un partenaire en R et D qui est une entreprise. Cette

collaboration est régulière (60%) et pour moins de 3 ententes de collaboration dans 60% des cas. Enfin, 41% ont déclaré un partenaire hors Québec pour moins de 3 collaborations dans la grande majorité des cas. Il s'agit d'une collaboration très occasionnelle.

Entre 2015 et 2020, le Cégep de la Gaspésie (Merinov, ÉPAQ) en collaboration avec diverses organisations, dont le CRSNG et d'autres, CCTT, a réalisé une cinquantaine de projets de recherche, dont certains sont en cours de réalisation (date de fin 2021 ou 2022). En tout, 7 projets ont démarré avant 2015 et 7 autres se prolongent après 2020. Sur la base de l'information fournie, on peut les classer selon les grands secteurs suivants :

Secteur primaire :

- Récolte d'algues sauvages : 4 projets ont trait à des inventaires dans certains secteurs et 2 se rapportent aux méthodes de récolte mécanisée.
- Algoculture (incluant la récolte de géniteurs, la génétique, la production de plantules, le transfert en mer et la récolte d'algues cultivées, contrôle des protozoaires, les essais de culture de différentes espèces) ; on peut dénombrer une vingtaine de projets. **En gros, 40% des projets de recherche ont porté sur un aspect ou l'autre de l'algoculture.**

Secteur secondaire :

- Transformation (alimentaire et autres que biomolécules) : 6 projets ;
- Biomolécules : 8 projets ;
- Bio-réacteur et bioremédiation : 5 projets.

Secteur tertiaire :

- Commercialisation (stratégie, jury d'analyse sensorielle) : 2 projets ;
- Autres secteurs :
- Crédits environnementaux : 1 ;
- Protection des moules contre les prédateurs par des algues : 2.

Le CRIBIQ a quant à lui financé cinq projets de recherche en biotechnologies portant spécifiquement sur les macroalgues brunes entre 2015 et 2020 :

- Amélioration d'un procédé d'hydrolyse pour l'enrichissement d'un fertilisant à base d'algues marines Pro-Algue marine Inc. ;
- Développement de préservatifs alimentaires antimicrobiens à partir de biomasse algale-(Inovactiv) ;
- Création d'une symbiose moléculaire commercialisable à partir d'extraits d'algues marines (SiliCycle) ;

- Valorisation de coproduits de la transformation d'algues brunes comme prébiotiques TransBiotech ;
- Développement d'une nouvelle bioéconomie en Basse-Côte-Nord du Québec : nouveaux coproduits à partir d'algues (traduction d'une étude rédigée en anglais - Plan Basse Côte-Nord – volet 2). S. Barnabé, UQTR.

Les entreprises ont aussi été invitées à évaluer la proportion de leur chiffre d'affaires que chacune consacrait à la R et D et au développement de marché pour chacune des années comprises entre 2016 et 2020. Sur les 26 entreprises ayant répondu au questionnaire, 69% ont accepté de donner une réponse pour la R et D et 65% pour le développement de marchés. La figure suivante présente la proportion des répondants pour chaque grande catégorie. Le pourcentage de répondants est la moyenne des quatre années de référence.

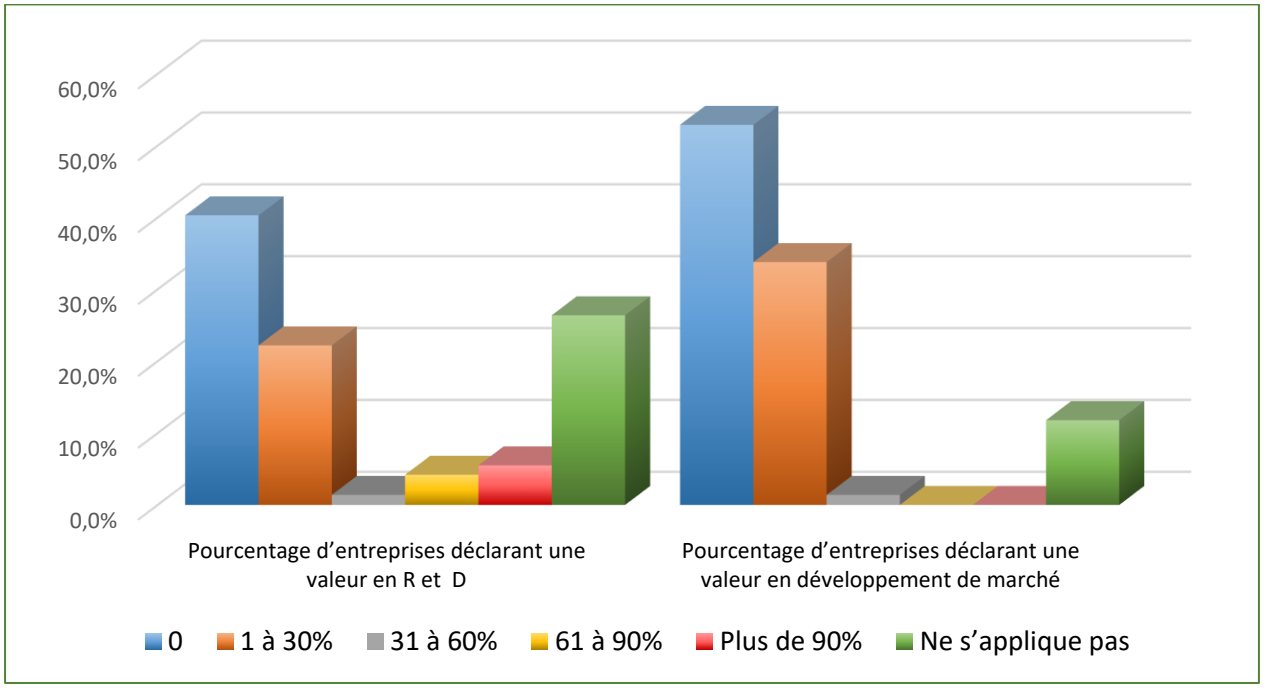


Figure 25. Proportion du chiffre d'affaires des entreprises consacré à la R et D et au développement de marché

En ce qui concerne la R et D, on peut constater qu'au moins 40% n'y consacrent aucune somme. Ce taux pourrait même atteindre les 67% si on tient compte des entreprises déclarant ne pas être concernées par cette dépense. La majorité des entreprises déclarant une dépense en R et D y consacre de 1 à 30% de leur chiffre d'affaires.

Une même observation peut être faite pour ce qui est des dépenses en développement de marchés. Entre 53% et 65% des entreprises ne consacrent aucune somme au développement de marchés et la majorité de celles en effectuant y consacre entre 1 et 30% de leur chiffre d'affaires.

Les entreprises ont aussi été enquêtées sur la possibilité d'avoir bénéficié d'une contribution financière publique au cours des dix dernières années. La moitié des 26 entreprises ont déclaré une contribution financière provenant d'un organisme public ou parapublic. Et pour 23% d'entre elles, le projet pour lequel cette contribution était toujours en cours. Un peu plus de la moitié d'entre elles ont bénéficié d'une contribution financière avait été obtenue du MAPAQ. Presque toutes les entreprises ont bénéficié de la contribution d'un autre organisme que ceux mentionnés dans la figure suivante. Chacune des entreprises ayant mentionné une contribution de ce genre l'a attribué à une source différente.

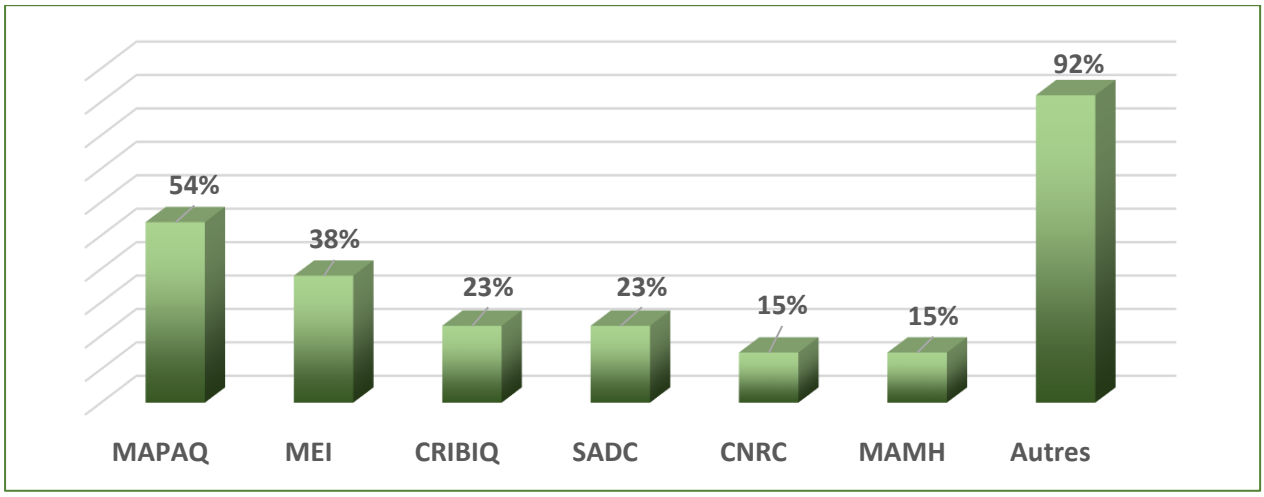


Figure 26. Contributions publiques, % des entreprises ayant déclaré au moins une contribution

C. Nos observations pour le développement d'une filière macroalgues Québécoise performante

I. Défis à relever

Bien que la récolte et l'utilisation des algues au Québec puissent remonter à plusieurs décennies, on peut considérer que ce secteur économique comme une industrie naissante ayant un fort potentiel d'expansion. Une étude attentive des tendances dans différentes régions du monde (État du Maine, Nouvelle-Écosse, Europe du nord) révèle des préoccupations de nature semblable à celles rencontrées au Québec.

La principale espèce d'algue récoltée au Québec demeure l'ascophylle noueuse surtout destinée à une transformation industrielle. Diverses espèces d'algues brunes (surtout), rouges (mousse d'Irlande) et vertes sont également cueillies. Celles-ci sont principalement destinées à la consommation humaine. Des initiatives d'algoculture sont aussi menées dans ces différentes régions du Québec maritime. Elles concernent pour beaucoup les laminaires en mer ainsi que quelques autres espèces en plus faible volume. Il n'existe pas dans ces régions d'algoculture dont la production est destinée à la valorisation industrielle. Les espèces récoltées le sont à des fins alimentaires. La Nouvelle-Écosse est le seul endroit où se fait la culture de la mousse d'Irlande en bassin.

I.1 Besoin de développer une filière macroalgues au Québec

La figure suivante présente les résultats quant aux éléments prioritaires à considérer dans l'éventualité que le gouvernement du Québec soit ouvert à supporter le développement d'une filière des macroalgues pour l'ensemble du territoire québécois. Parmi les critères suggérés, ceux identifiés par les répondants comme étant les plus importants sont l'identification de la disponibilité de la ressource et le support au développement de l'algoculture, par 87% des répondants chacun. Par la suite, le support au développement de nouveaux produits ou marchés est mentionné comme élément à considérer pour 69% des entreprises et au développement du secteur des biotechnologies par 65%. Au-delà des choix de réponses proposées, un répondant indique que la considération d'autres sources d'approvisionnement de macroalgues, notamment les algues dérivantes, devrait être envisagée.

Éléments à considérer dans le développement d'une filière de macroalgues selon les entreprises :

- Supporter le développement de l'algoculture – 87%
- Identifier la disponibilité de la ressource – 87%
- Supporter le développement de nouveaux produits ou marchés – 69%
- Contribuer au développement du secteur des biotechnologies marines – 65%
- Favoriser le développement de partenariats – 52%
- Développer une connaissance de la génétique des macroalgues au Québec – 26%
- Autres : Considérer d'autres sources d'approvisionnement (algues dérivantes) – 4%

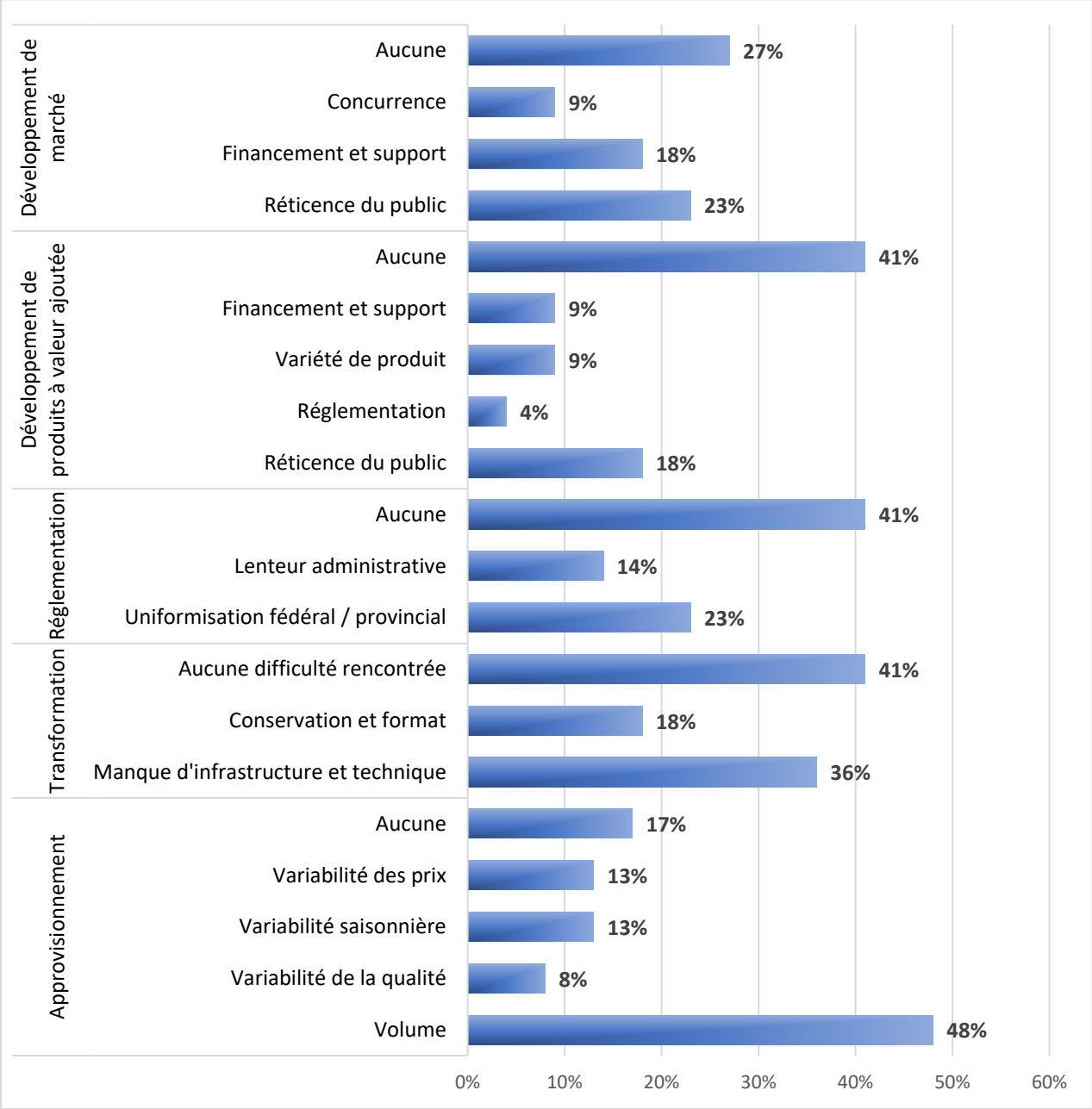


Figure 27. Difficultés rencontrées, % d'entreprises

Les entreprises ont affronté divers problèmes de mise en valeur des macroalgues au Québec. Ils concernent l'approvisionnement, la transformation, la réglementation, le développement de produits à valeur ajoutée ou le développement de marché. Pour chacune des catégories, certaines entreprises ont pu faire ou font face à plusieurs enjeux simultanément. Au niveau de l'approvisionnement, le principal obstacle se situe dans les volumes produits au Québec qui sont insuffisants pour subvenir à la demande provinciale. Pour la transformation, les répondants évoquent le manque d'infrastructures et de techniques, mais aussi des problèmes de conservation et de format des macroalgues. Le principal enjeu au sujet de la réglementation résiderait dans le manque d'uniformisation entre la législation provinciale et fédérale. Enfin, au niveau du développement de produits à valeur ajoutée et du développement de marché, la réticence des consommateurs face aux macroalgues semble être une barrière considérable rencontrée par les entreprises. **Il convient aussi de remarquer que pour la transformation, la réglementation et le développement de produits, une proportion significative (41%) ne semble rencontrer aucune difficulté ni enjeu méritant d'être souligné.**

I.2 Nécessité d'optimisation de la biomasse algale connue et à explorer

La filière actuelle comporte un nombre réduit d'entreprises de taille relativement petite et très petite. À ces entreprises s'ajoutent d'autres entreprises utilisant des algues en bonne partie importées principalement pour l'alimentation animale. Les entreprises de plus grandes tailles valorisent les algues par des procédés de transformation plus avancés. Celles de plus petites tailles valorisent à des fins de consommation humaine, s'inspirant d'une approche de production de proximité rencontrée en agriculture. On pourrait les considérer comme les maraîchers de la mer. Par ailleurs, le secteur de l'algoculture est fragile vu le très petit nombre d'entreprises impliquées dans ce secteur (production de plantules pour ensemencement, ensemencement et récolte). Des efforts importants ont été consentis pour favoriser l'essor de l'algoculture dans le cadre de différents projets comme Optimal, la chaire de recherche industrielle du CRSNG, etc. Une petite production de laminaires a pu être développée en laboratoire puis à une petite échelle commerciale, depuis la récolte de géniteurs jusqu'à la commercialisation.

De plus, les connaissances sur les volumes et espèces réellement disponibles dans le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie-Iles-de-la Madeleine et la Côte-Nord sont encore loin d'être complètes. Différentes initiatives sont en cours ou le seront sous peu à ce sujet.

Le CRBM (2021) vient de compléter une étude sur la valorisation de la biomasse algale dérivante dans l'Estuaire et le Golfe Saint-Laurent. De plus, une équipe de l'UQAR sous la direction du professeur Simon Bélanger (projet Alga-Wise) entreprendra une étude sur le potentiel de l'imagerie optique (hyper et multispectrale) pour la détection et la quantification de trois types de biomasses algales marines : le phytoplancton, les macroalgues fixées et les macroalgues dérivantes. Depuis 2018, des chercheurs du ministère des Pêches et Océans réalisent une cartographie des couverts d'algues des côtes du Québec (Côte-Nord, Bas-Saint-Laurent et Gaspésie Îles-de-la-Madeleine) en se servant de photos aériennes et de prises de vue sous-marines.

Préoccupations actuelles de ce secteur concernent :

- Optimisation des techniques de culture et la création d'écloseries dédiées;
- Meilleure connaissance de la diversité génétique des populations;
- Création de banques de souches de différentes espèces et variétés;
- Domestication de nouvelles espèces d'intérêt.

Merinov a réalisé différents travaux en lien avec l'algoculture. Il serait en attente d'une importante subvention pour son projet de Hub d'innovation en production et transformation des macroalgues qui comprendrait, parmi d'autres éléments, un espace écloserie pour les macroalgues.

Défis à relever en mer :

- Identification de nouveaux sites côtiers propices à des activités d'algoculture;
- Mécanisation des opérations, l'amélioration des méthodes de travail et les rendements des cultures;
- Réduction de l'impact des biosalissures marines sur les algues cultivées;
- Développement d'une expertise en phytopathologie.

Même si la filière macroalgues du Québec est surtout composée de petites entreprises, cela n'implique pas que leur performance financière soit faible. Cependant, considérant les différentes initiatives observées dans les régions du monde mentionnées plus haut, il est probable que la concurrence risque d'être assez vive à moyen terme. Les utilisateurs sont préoccupés par la régularité,

la qualité et la quantité des produits. Une optimisation de l'utilisation de la biomasse disponible va contribuer à l'atteinte de ces objectifs.

I.3 Besoin de stimuler le développement de l'algoculture

En gros, on observe trois utilisations principales des algues récoltées au Québec : agriculture/ horticulture / alimentation et santé animale, biotechnologies (extraction d'ingrédients actifs pour différents usages) et l'alimentation humaine. Les deux premières utilisations absorbent plus de 90% des algues récoltées au Québec et justifient l'importation d'un volume plusieurs fois supérieur à partir des États-Unis et du Viêt Nam, surtout. Le Québec importe des algues pour la consommation humaine en provenance de Chine. Certaines entreprises actives dans le secteur de l'alimentation animale importent des algues de l'étranger également.

Globalement, la chaîne de valeur des algues repose sur une combinaison d'algues importées et d'algues récoltées localement. Dans les conditions actuelles, le secteur de l'algoculture au Québec, en bonne partie quasi expérimental, est loin de pouvoir combler ces besoins. Toutefois, le secteur géographique de la Côte-Nord demeure un secteur méconnu pour ce qui est du potentiel algal. Il en est de même pour le potentiel des algues échouées et dérivantes.

En se référant à la même enquête du CRIBIQ mentionnée précédemment, il peut être intéressant de voir comment les entreprises entrevoient l'avenir de la filière macroalgues.

Une **proportion élevée (80%)** des entreprises ont mentionné un intérêt pour le développement de la **culture des macroalgues**. Les répondants mentionnent que le développement de sites de culture de macroalgues au Québec permettrait d'accroître le nombre de fournisseurs rendant ainsi la concurrence plus importante, et donc les prix plus accessibles. Cet accroissement du nombre de fournisseurs devrait également engendrer une plus grande variété d'espèces de macroalgues disponibles sur le marché et une constance dans l'offre. Ceci permettrait un approvisionnement qui respecte les rythmes de transformation et/ou de valorisation. D'autres répondants mentionnent que le rapprochement des sources d'approvisionnement et des zones de transformation et de valorisation auraient un impact positif sur la qualité des algues, qui souffriraient moins du transport. De surcroît, la traçabilité serait assurée. Pour certaines entreprises, la culture pourrait représenter une occasion de diversifier leurs activités. En contrepartie, des répondants évoquent des doutes

quant au développement de sites de culture de macroalgues au Québec. Ils craignent que les activités marines déjà en place puissent être perturbées.

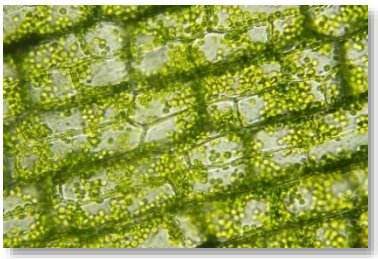
Critères recherchés dans le développement auxquels l'algoculture devrait répondre selon les entreprises :

- Disponibilité en volume – 77%
- Prix de vente (prix d'achat) – 73%
- Qualité des algues – 82%
- Approvisionnement qui respecte le rythme de production – 54%
- Espèces disponibles – 59%
- Lien de confiance avec le fournisseur – 59%
- Certification qualité – 4%
- Investisseurs et financement – 4%

Par ordre d'importance, les critères qui ont obtenu la cote la plus élevée sont la qualité des algues, la disponibilité en volume, le prix de vente, à égalité les espèces disponibles et le lien de confiance avec le fournisseur et, pour plus de la moitié des répondants, la recherche d'un approvisionnement qui respecte le rythme de production. Il convient de préciser que la récolte des macroalgues, tant par la cueillette que par la culture, se fait essentiellement à l'automne. Si le rythme de production dont il est question fait référence à une production également répartie sur douze mois, il faudra envisager une chaîne logistique d'approvisionnement, de transport et d'entreposage.

I.4 Besoin d'instaurer une recherche scientifique plus large sur les macroalgues

Dans l'éventualité de la création d'une structure multidisciplinaire de R et D concernant les macroalgues en partenariat avec des centres de recherche et/ou des partenaires privés, sur 25 répondants à la question, 13 (ou 52%) se disent intéressés à participer financièrement, mais sous certaines conditions. Comme présenté à la figure suivante, des conditions préalables à une telle participation sont évoquées. Parmi les principales se retrouvent la rentabilité et le retour sur



investissement liés à cette participation financière. Il est aussi souhaité que les connaissances soient partagées avec les entreprises et que ces dernières puissent par la suite les utiliser pour leurs propres activités.

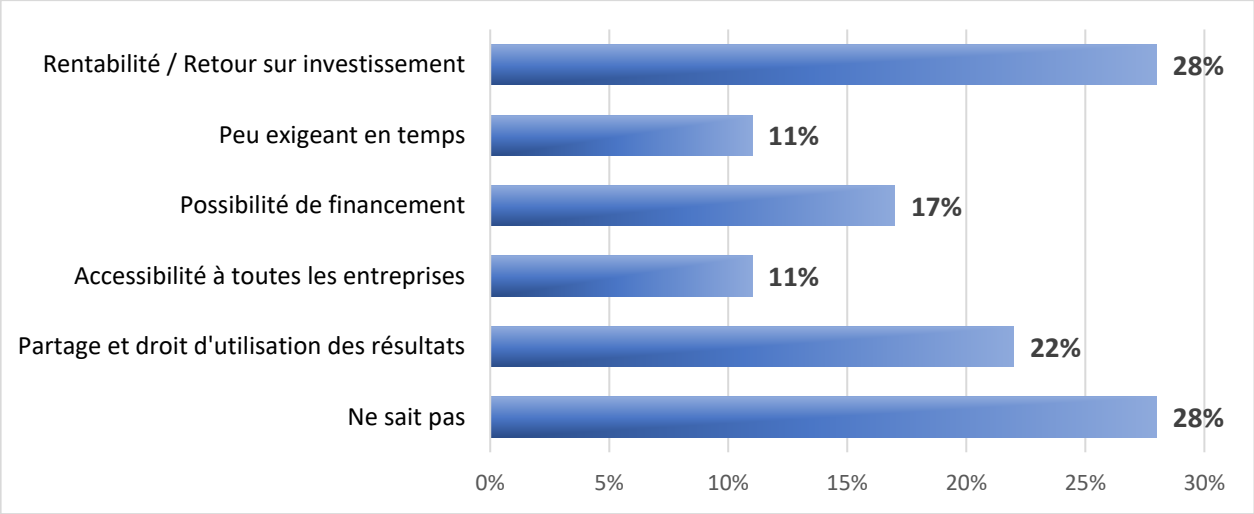


Figure 28. Conditions de participation à une structure de R et D

Éléments à considérer dans le développement d'une filière de macroalgues selon les entreprises :

- Supporter le développement de l'algoculture – 87%
- Identifier la disponibilité de la ressource – 87%
- Supporter le développement de nouveaux produits ou marchés – 69%
- Contribuer au développement du secteur des biotechnologies marines – 65%
- Favoriser le développement de partenariats – 52%
- Développer une connaissance de la génétique des macroalgues au Québec – 26%
- Autres : Considérer d'autres sources d'approvisionnement (algues dérivantes) – 4%

Le projet Innovalgue regroupant Merinov, le CRBM, Kemitek, TransBiotech, l'INAF et la Station biologique de Roscoff est actuellement à l'étude et vise la valorisation des macroalgues par la biotechnologie et la chimie verte. Ce projet contribuera aussi à mieux utiliser la biomasse. Une meilleure connaissance de la biomasse disponible à l'état sauvage et cultivée, une meilleure valorisation de celle-ci par la biotechnologie et la chimie verte et le renforcement des entreprises actives dans ce secteur, autant de facteurs s'avèrent favorables à la prolongation du programme BTM propulsion du CRIBIQ au-delà de l'horizon 2024.

Du côté de la production à des fins de consommation humaine, pour les maraîchers de la mer, une contrainte rencontrée semble être la capacité de transformation/séchage au moment de la récolte. Des efforts pourraient être consacrés à une meilleure utilisation de la capacité de séchage actuelle et à une évaluation des besoins pour des capacités additionnelles à un coût raisonnable. La production commerciale de plantules devrait être favorisée. Par ailleurs, une analyse stratégique du développement de la production d'algues de culture sur une échelle plus grande à des fins commerciales doit aussi prendre en compte l'impact sur les entreprises existantes.

I.5 Besoin d'un support soutenu et durable à la filière macroalgues

L'éventualité de la création d'une stratégie gouvernementale concernant le développement d'une filière des macroalgues sur un horizon de 10 ans (2021-2031) est accueillie favorablement pour 23 entreprises ayant participé à l'enquête. En revanche, les répondants exigent certaines conditions afin de prendre part à un tel projet (figure 29). L'exigence la plus importante est d'obtenir davantage de support et de financement de la part du gouvernement du Québec afin d'aider les organisations à se développer et à développer le marché des macroalgues.

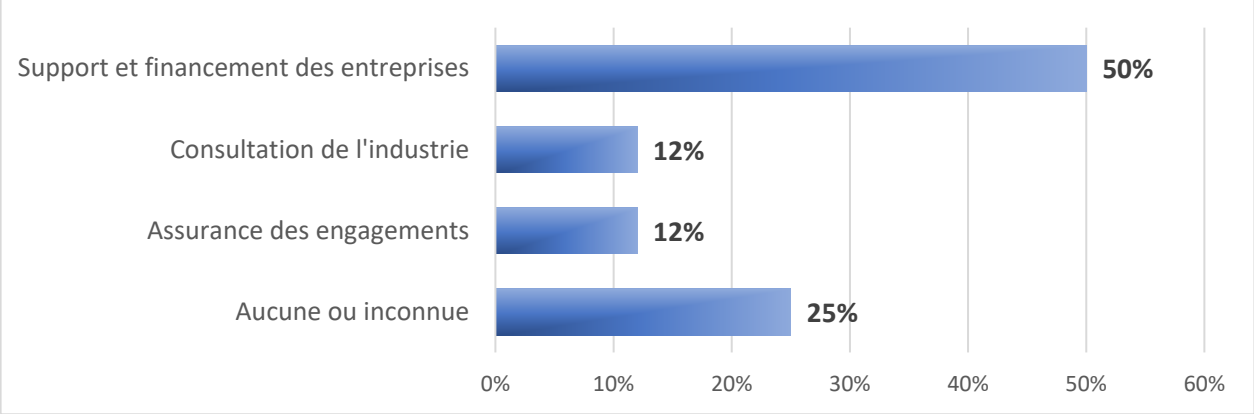


Figure 29. Exigences pour participer à une stratégie gouvernementale

À la lumière de l'analyse de la situation actuelle de la filière, des commentaires recueillis auprès des entreprises participant à l'enquête, des tendances observées à l'échelle mondiale en ce qui concerne la filière des macroalgues principalement en Atlantique Nord, les lignes directrices suivantes nous semblent adéquates et adaptées au niveau de développement actuel de la chaîne de valeur des macroalgues au Québec et à ses perspectives.

Actuellement, **la récolte et la transformation primaire** d'algues au Québec sont localisées principalement dans les régions de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, du Bas-Saint-Laurent et de la Côte-Nord. C'est aussi dans ces régions qu'on retrouve les principales entreprises du Québec maritime dans ce secteur d'activité. Toutefois, des entreprises ailleurs au Québec importent des volumes importants de farine d'algues et l'utilisent pour la production de moulées, entre autres. Ces entreprises, auxquelles on peut ajouter d'autres acteurs plus axés sur les biotechnologies, peuvent être des joueurs importants pour le développement de la chaîne de valeur des macroalgues. Il est nécessaire de tenir à jour une cartographie des acteurs du secteur ainsi que de leurs rôles en tant que récoltants, producteurs, fournisseurs, utilisateurs d'algues (innovateurs), etc. En développant une synergie entre ces intervenants directs et indirects, une meilleure connaissance du rôle de chacun, les chances d'obtenir la masse critique nécessaire pour faire de la filière algale au Québec une chaîne de valeur compétitive seront augmentées.

II. Conclusion

L'ensemble des constats précédents s'avèrent des préalables indispensables qui doivent être prises en compte pour consolider et développer la chaîne de valeur de la filière macroalgues au Québec.

Plusieurs actions devraient être mises en place simultanément afin de renforcer la chaîne de valeurs fonctionnelle des macroalgues au Québec. Mais, le plus indispensable des préalables concerne la nécessité de développer une vision globale et intégrée de la filière, au-delà des considérations régionales ou sectorielles.

Les chances d'avenir pour cette filière reposent sur l'efficacité de la réponse aux besoins très diversifiés des entreprises, du petit producteur récoltant des algues sauvages pour la consommation humaine, s'apparentant plus à un travailleur autonome, à l'entreprise pouvant importer 300 tonnes d'algues pour la fabrication de moulées commerciales en passant à la petite entreprise spécialisée en biotechnologies. Cette vision permettra aussi une meilleure collaboration entre les différents partenaires de la filière et éventuellement même le partage d'équipements et d'installations, permettant de réduire les coûts fixes en algoculture, par exemple.

Un autre préalable qui doit accompagner les différents efforts de recherche, portant tant sur l'algoculture que sur les procédés d'extraction de biomolécules, concerne le transfert de connaissances et de technologies. Lorsque cela s'y prêtera, entre autres, quand la confidentialité tout comme l'adaptation des travaux de recherche ne sera pas un enjeu majeur, le transfert de technologie devra être une composante prévue des résultats attendus et des modalités devront être définies, comme des stages en entreprises, des actions de vulgarisation, etc. Par exemple, des entreprises intéressées par l'ensemencement et la récolte de macroalgues seront accompagnées non seulement pour les initier à ces activités, mais aussi pour s'assurer de leur appropriation des techniques indispensables et du développement d'habiletés à faire face à des situations imprévues.

Deux autres aspects d'un futur plan d'action méritent une attention particulière. Le premier concerne les différentes collaborations avec des partenaires hors-Québec, voire étrangers. Comme nous l'avons souligné plus haut, plusieurs pays de l'Atlantique Nord déploient actuellement des efforts pour développer leur filière macroalgues. Acadian Seaplant de Nouvelle-Écosse est une entreprise présente dans plusieurs de ces pays (États-Unis, Irlande, Écosse). Il y a possiblement une source d'inspiration tant pour les centres de recherche du Québec intéressés par l'avancement des

connaissances en matière de culture, de récolte de transformation et divers moyens de valorisation de macroalgues que pour les entreprises privées. Déjà l'achat de macroalgues hors Québec ainsi que les collaborations en matière de recherche laissent entrevoir une chaîne de valeur québécoise interconnectée et dynamique.

Enfin, plusieurs formules peuvent être envisagées pour animer la chaîne de valeur. Les tables de concertation ont démontré leurs forces et leurs faiblesses dans d'autres secteurs. Une formule plus souple devra être privilégiée, au moins dans un premier temps, pour aller chercher la collaboration de joueurs aussi différents, avec des perspectives et des visions de leur secteur aussi variées. Les premiers efforts de communication, puis ceux de collaboration, ne peuvent pas toujours se faire sur la place publique, à tout le moins au démarrage, ni à grand déploiement.

Bibliographie

1. Barbosa M., Lopes G., Valentão P., Ferreres F., Gil-Izquierdo Á., Pereira DM., Andrade PB. *Edible seaweeds phlorotannins in allergy: A natural multi-target approach.* Food Chem, 2018. 1;265:233-241.
2. Bischof K., Kräbs G., Hanelt D., et al. *Photosynthetic characteristics and mycosporine-like amino acids under UV radiation: a competitive advantage of Mastocarpus stellatus over Chondrus crispus at the Helgoland shoreline?* Helgol Mar Res 54, 47–52, 2000.
3. Brijesh K. Tiwari, Declan J.Troy. *Seaweed sustainability-food and non food applications*. Academic Press, 2015.
4. Burg S.W.K et. al. *A triple P review of the feasibility of the sustainable seaweed production in North Sea*. Wageningen, 2013.
5. Bodiguel Clothilde. *L'algoculture dans le monde et ses contraintes*. Persée, 1996.
6. Centre d'études et de valorisation des algues. *Macroalgues et microalgues alimentaires - Statut règlementaire en France et en Europe*, mise à jour 2020.
7. Condon G. *The seaweed solution. Is seaweed-based packaging the answer to the scourge of ocean plastic?* Canadian Grocer, 2018. Adresse URL: https://canadiangrocer.com/blog/the-seaweed-solution-84372. Page consultée en juillet 2020.
8. Côté-Laurin M.-C., Berger K. et Tamigneaux É. *Manuel pour la récolte commerciale des macroalgues du Québec. Merinov,* 2016.
9. Dupré-Gilbert Ève et Berger Karine. *Stratégie de développement de l'industrie des algues au Québec.* Merinov, 2018.
10. El Boukhari, Mohammed El Mehdi et al. *Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems*. Plants (Basel, Switzerland) vol. 9,3 359, 2020.
11. Ferdouse F., Holdt S. L., Smith E., Murua P., Yang Z. *The global status of seaweed production, trade and utilisation.* FAO, Globefish research programme, 2018.
12. García-Poza S., Leandro A., Cotas C., Cotas J., Marques J. C., Pereira L., et Gonçalves A. M. *The Evolution Road of Seaweed Aquaculture: Cultivation Technologies and the Industry 4.0.* Int. J. Environ. Res. Public Health, 2020, *17*(18), 6528.
13. Khan A.H., Levac E., Van Guelphen L., Pohle G., et Chmura G.L. *The effect of global climate change on the future distribution of economically important macroalgae (seaweeds) in the northwest Atlantic*. FACETS, 2018, 3: 275–286.
14. Lionard M., Tamineaux E., Gendron-Lemieux I. et Berger K. *Présentation du potentiel d'utilisation de la biomasse algale sur la Côte-Nord.* Rapport de recherche-développement N.14-03, 2014.
15. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Permis d'aquaculture en milieu terrestre ou aquatique.
    Adresse URL : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/md/Permis/Pages/Permis-aquaculture-milieu-terrestre-aquatique.aspx Page consultére en janvier 2020.

16. Mooney-McAuley K. M., Edwards M. D., Champenois J., Gorman E. *Best Practice Guidelines for Seaweed Cultivation and Analysis*, Public Output report of the EnAlgae project, 2016.

17. Osorio C., Machado., Peixoto J., Bessada S., Pimentel F. B., Alves R. C., Beatriz M., Oliveira P.P. *Pigments Content (Chlorophylls, Fucoxanthin and Phycobiliproteins) of Different Commercial Dried Algae*. Separations, 7(2), 33, 2020.

18. Pêches et Océans Canada. *Aquaculture multitrophique intégrée.* Adresse URL : https://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sci-res/imta-amti/index-fra.htm. Page consulté en décembre 2020.

19. Pulidindi K., Prakash A. *Commercial Seaweed Market Size By Product, By Form, By End User, Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market &Forecast, 2020 – 2026.* Global Market Insights, 2020.

20. Renaut S., Masse J., Norrie J.P., Blal B., Hijri M. *A commercial seaweed extracts structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield*. Microbial Biotechnology, 2019 12(6), 1346–1358.

21. Researchers develop bioplastic from seaweed-eating microorganisms. Packaging Gateway, 2019. Adresse URL: https://www.packaging-gateway.com/news/researchers-develop-bioplastic-seaweed/. Page consulté en juillet 2020.

22. Roleda M. Y. et. al. *Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications.* Food Control, 121-134, vol. 95, 2019.

23. Qin Ymin. *Bioactive seaweeds for food applications*. 1ère édition. Academic Press, 2018.

24. Sassi J.-F., Person J. *Livre Turquoise - Algues, filières du futur*. Éditions Adebiotech, 2011.

25. Sander W. K., van den Burg, Arie Pieter van Duijn, Heleen Bartelings, Marinus M. van Krimpen & Marnix Poelman. *The economic feasibility of seaweed production in the North Sea*. Aquaculture Economics & Management, 2016, 20:3, 235-252.

26. Schiener P., Black K.D., Stanley M.S. et al. *The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species Laminaria digitata, Laminaria hyperborea, Saccharina latissima and Alaria esculenta*. J Appl Phycol 27, 363–373, 2015.

27. Shannon E., Abu-Ghannam N. *Optimisation of fucoxanthin extraction from Irish seaweeds by response surface methodology.* J Appl Phycol 29, 1027–1036, 2017.

28. Shukla P. S., Mantin E. G., Adil M., Bajpai S., Critchley A. T., et Prithiviraj B. *Ascophyllum nodosum-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management*. Frontiers in plant science, 10, 655, 2019.

29. Tamigneaux, É. & Johnson, L. E. *Les macroalgues du Saint-Laurent : une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global*. Le Naturaliste canadien, 2016, *140* (2), 62–73.

30. Valderrama D. et. al. *Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming.* FAO, Fisheries and aquaculture technical paper, 2013.

ANNEXE A

MARCHÉ CANADIEN DES MACROALGUES

ESTIMÉS (2016-2019)
&
PRÉVISIONS (2020-2026)

Tableau 17. Marché canadien global des macroalgues, estimations et prévisions

	Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Volume, kt	161,9	169,0	176,9	185,6	164,7	172,0	180,4	190,0	200,8	213,0	226,8	**5,5%**
Revenus, M$	1 284,5	1 344,5	1 412,6	1 489,8	1 084,4	1 353,3	1 437,8	1 529,0	1 634,1	1 755,2	1 894,7	**9,7%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 18. Marché canadien de macroalgues par espèces

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Algues rouges	Volume, kt	77,9	81,7	85,8	90,4	80,5	84,5	88,9	94,0	99,7	106,2	113,5	**5,9%**
	Revenus, M$	527,9	553,9	583,4	616,8	450,0	563,0	599,6	639,1	684,7	737,2	797,7	**10,0%**
Algues vertes	Volume, kt	15,2	15,7	16,3	16,9	14,8	15,3	15,9	16,5	17,3	18,1	19,0	**4,3%**
	Revenus, M$	93,7	96,9	100,5	104,7	75,3	92,8	97,3	102,1	107,7	114,1	121,5	**8,3%**
Algues brunes	Volume, kt	68,7	71,6	74,8	78,3	69,3	72,3	75,6	79,5	83,8	88,7	94,2	**5,3%**
	Revenus, M$	662,9	693,6	728,7	768,3	559,1	697,6	741,0	787,8	841,7	903,9	975,5	**9,7%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 19. Marché canadien des algues humides selon secteur d'utilisation

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Alimentation humaine	Volume, kt	101,7	106,6	112,0	118,0	105,1	110,2	116,0	122,6	130,0	138,4	148,0	**5,9%**
	Revenus, M$	101,1	106,3	112,3	119,0	104,0	110,4	117,5	125,7	135,1	146,0	158,6	**7,3%**
Alimentation animale	Volume, kt	3,6	3,8	3,9	4,1	3,6	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	**4,4%**
	Revenus, M$	2,7	2,8	2,9	3,0	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3	3,5	**5,3%**
Pharmaceutique et cosmétique	Volume, kt	3,0	3,1	Q	3,4	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	**4,6%**
	Revenus, M$	6,6	6,9	7,2	7,6	6,6	7,0	7,4	7,8	8,4	9,0	9,7	**6,7%**
Biocombustibles	Volume, kt	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	**4,8%**
	Revenus, M$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	**5,9%**
Autres	Volume, kt	3,5	3,6	3,6	3,7	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,9	**3,2%**
	Revenus, M$	2,3	2,4	2,6	2,7	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	**6,6%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 20. Marché canadien des algues humides selon secteur d'utilisation

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Alimentation humaine	Volume, kt	10,4	10,9	11,5	12,1	10,7	11,2	11,8	12,5	13,2	14,1	15,0	**5,7%**
	Revenus, M$	142,0	148,8	156,6	165,3	118,2	150,5	160,1	170,5	182,5	196,2	212,1	**10,2%**
Alimentation animale	Volume, kt	8,7	9,0	9,3	9,6	8,4	8,7	9,0	9,4	9,8	10,2	10,7	**4,1%**
	Revenus, M$	42,8	44,0	45,5	47,2	33,2	41,5	43,3	45,3	47,5	50,1	53,1	**8,2%**
Pharmaceutique et cosmétique	Volume, kt	17,7	18,5	19,4	20,4	18,2	19,0	20,0	21,1	22,4	23,8	25,4	**5,7%**
	Revenus, M$	955,2	1 000,6	1 052,1	1 110,4	793,4	1 009,1	1 073,3	1 142,1	1 221,4	1 312,7	1 417,8	**10,2%**
Biocombustibles	Volume, kt	7,0	7,2	7,4	7,7	6,7	6,9	7,1	7,3	7,6	7,9	8,3	**3,7%**
	Revenus, M$	11,7	12,0	12,4	12,9	9,1	11,3	11,8	12,4	13,0	13,7	14,5	**8,2%**
Autres	Volume, kt	5,5	5,6	5,7	5,9	5,1	5,2	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	**2,8%**
	Revenus, M$	19,7	20,1	20,5	21,0	14,5	17,9	18,4	18,9	19,5	20,2	21,1	**6,4%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

ANNEXE B

MARCHÉ EUROPÉEN DES MACROALGUES

ESTIMÉS (2016-2019)
&
PRÉVISIONS (2020-2026)

Tableau 21. Marché européen global des macroalgues, estimations et prévisions

	Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Volume, kt	1 268,8	1 339,4	1 417,9	1 505,1	1 351,2	1 428,7	1 516,8	1 616,7	1 730,1	1 858,9	2 005,2	**6,8%**
Revenus, M$	11 190,3	11 841,6	12 590,9	13 451,7	9 871,6	12 580,5	13 524,8	14 628,1	15 917,0	17 423,7	19 187,4	**11,7%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 22. Marché européen de macroalgues par espèces

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Algues rouges	Volume, kt	633,2	671,5	714,1	761,5	686,6	729,2	777,5	832,3	894,6	965,3	1 045,7	**7,3%**
	Revenus, M$	5 278,5	5 608,4	5 987,4	6 422,5	4 732,2	6 054,7	6 535,0	7 096,1	7 751,8	8 518,9	9 417,9	**12,2%**
Algues vertes	Volume, kt	126,0	131,6	137,8	144,6	128,4	134,2	140,9	148,5	157,0	166,7	177,7	**5,6%**
	Revenus, M$	861,8	902,7	950,1	1 004,5	730,1	921,3	980,7	1 050,2	1 131,2	1 225,8	1 336,0	**10,6%**
Algues brunes	Volume, kt	509,6	536,3	566,0	599,0	536,2	565,3	598,4	635,9	678,5	726,9	781,8	**6,5%**
	Revenus, M$	5 050,0	5 330,4	5 653,4	6 024,6	4 409,3	5 604,5	6 009,1	6 481,9	7 034,0	7 679,0	8 433,4	**11,4%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 23. Marché européen des algues humides selon secteur d'utilisation

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Alimentation humaine	Volume, kt	813,2	862,2	916,6	977,1	880,9	935,3	997,0	1 067,1	1 146,7	1 237,1	1 339,9	**7,2%**
	Revenus, M$	894,0	951,7	1 018,4	1 095,4	971,6	1 048,0	1 135,5	1 238,3	1 359,0	1 500,9	1 668,3	**9,4%**
Alimentation animale	Volume, kt	32,5	33,9	35,5	37,3	33,1	34,7	36,4	38,4	40,7	43,2	46,1	**5,6%**
	Revenus, M$	28,5	30,0	31,7	33,7	29,5	31,4	33,5	36,1	39,0	42,5	46,6	**7,9%**
Pharmaceutique et cosmétique	Volume, kt	19,3	20,1	21,0	22,0	19,5	20,3	21,3	22,4	23,6	25,0	26,6	**5,3%**
	Revenus, M$	59,3	62,9	67,0	71,7	63,3	68,0	73,3	79,6	87,0	95,6	105,8	**8,9%**
Biocombustibles	Volume, kt	6,2	6,5	6,8	7,2	6,4	6,7	7,1	7,5	8,0	8,5	9,1	**6,2%**
	Revenus, M$	4,9	5,2	5,5	5,8	5,1	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,1	**8,1%**
Autres	Volume, kt	20,8	21,4	22,2	23,0	20,2	20,9	21,6	22,5	23,4	24,5	25,7	**4,1%**
	Revenus, M$	24,8	25,8	27,1	28,5	24,7	26,1	27,6	29,5	31,6	34,1	36,9	**6,9%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

Tableau 24. Marché européen des algues humides selon secteur d'utilisation

		Estimé				Prévisions							TCAC (2020-2026)
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Alimentation humaine	Volume, kt	90,1	95,0	100,4	106,4	95,3	100,6	106,5	113,3	121,0	129,7	139,6	**6,6%**
	Revenus, M$	1 313,1	1 384,7	1 467,2	1 561,9	1 118,9	1 449,0	1 552,0	1 672,3	1 812,7	1 976,6	2 168,1	**11,7%**
Alimentation animale	Volume, kt	57,4	59,8	62,4	65,3	57,7	60,2	62,9	66,1	69,7	73,7	78,3	**5,2%**
	Revenus, M$	365,4	380,5	398,0	418,2	296,1	378,9	400,9	426,6	456,6	491,5	532,1	**10,3%**
Pharmaceutique et cosmétique	Volume, kt	156,3	165,3	175,2	186,2	167,4	177,2	188,3	200,9	215,2	231,4	249,8	**6,9%**
	Revenus, M$	8 263,2	8 754,5	9 319,1	9 967,2	7 173,2	9 333,2	10 043,5	10 872,9	11 841,3	12 973,1	14 297,5	**12,2%**
Biocombustibles	Volume, kt	45,9	47,7	49,7	51,9	45,8	47,6	49,7	52,0	54,7	57,8	61,2	**4,9%**
	Revenus, M$	86,3	90,0	94,3	99,2	70,2	89,9	95,1	101,2	108,2	116,5	126,1	**10,2%**
Autres	Volume, kt	27,0	27,6	28,2	28,8	24,9	25,4	25,9	26,5	27,2	28,0	28,9	**2,5%**
	Revenus, M$	150,7	156,2	162,7	170,0	119,1	150,7	157,5	165,5	174,8	185,5	197,8	**8,8%**

Sources: FAO, WBD, ISA, NETALGAE, Indonesia Seaweed Association, CMFRI, Primary Interviews, Global Market Insights

ANNEXE C

ARTICLES SCIENTIFIQUES PUBLIÉS PAR DES CENTRES DE RECHERCHE QUÉBÉCOIS

Titre	Auteurs	Affiliation chercheur principal	Journal	Année	Application
Evaluation of alginate purification methods: effect on polyphenol, endotoxin, and protein contamination.	Julie Dusseault, Susan K Tam, Martin Ménard, Stefania Polizu, Guillaume Jourdan, L'Hocine Yahia, Jean-Pierre Hallé	Hôpital Maisonneuve-Rosemont	Journal of Biomedical Materials Research	2006	Extraction des molécules
Silver-zeolite combined to polyphenol-rich extracts of ascophyllum nodosum: potential active role in prevention of periodontal diseases.	Zohreh Tamanai-Shacoori, Fatiha Chandad, Amélie Rébillard, Josiane Cillard, Martine Bonnaure-Mallet	Université Laval	PLoS One	2014	Médecine dentaire
Alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibition is differentially modulated by fucoidan obtained from fucus vesiculosus and ascophyllum nodosum.	Kyung-Tae Kim, Laurie-Eve Rioux, Sylvie L Turgeon	Université Laval	Phytochemistry	2014	Ingrédient bioactif
A randomised crossover placebo-controlled trial investigating the effect of brown seaweed (ascophyllum nodosum and fucus vesiculosus) on postchallenge plasma glucose and insulin levels in men and women.	Marie-Eve Paradis, Patrick Couture, Benoît Lamarche	Université Laval	Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme	2011	Ingrédient bioactif
The effect of global climate change on the future distribution of economically important macroalgae (seaweeds) in the northwest Atlantic.	Amina H. Khan, Elisabeth Levac, Lou Van Guelphen, Gerhard Pohle, Gail L. Chmura	Université McGill	FACETS	2018	Changements climatiques
Managing disturbance: the response of a dominant intertidal seaweed ascophyllum nodosum.	Louise Gendron, Anissa Merzouk, Pierre Bergeron, Ladd E. Johnson	Université Laval et Institut Maurice-Lamontagne	Journal of Applied Phycology	2017	Récolte de stocks sauvages
A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield.	Sébastien Renaut, Jacynthe Masse, Jeffrey P Norrie, Bachar Blal, Mohamed Hijri	Université de Montréal	Microbial Technology	2019	Biostimulant
Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds.	L.-E.Rioux, S.L.Turgeon, M.Beaulieu	Université Laval	Carbohydrate Polymers	2007	Transformation alimentaire
A randomised crossover placebo-controlled trial investigating the effect of brown seaweed (ascophyllum nodosum and fucus vesiculosus) on postchallenge plasma glucose and insulin levels in men and women.	Marie-Ève Paradis, Patrick Couture, Benoît Lamarche	Université Laval	Canadian Science Publishing	2011	Ingrédient bioactif

Titre	Auteurs	Affiliation chercheur principal	Journal	Année	Application
Effects of habitat-forming species richness, evenness, identity, and abundance on benthic intertidal community establishment and productivity.	Julie Lemieux, Mathieu Cusson	Université du Québec à Chicoutimi	PLoS One	2014	Habitat Forming Species (HFS)
Kelp distribution in the northwest atlantic ocean under a changing climate.	Anissa Merzouk, Ladd Erik Johnson	Université Laval	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2011	Changements climatiques
Role of seaweed laminaran from saccharina longicruris on matrix deposition during dermal tissue-engineered production.	Akram Ayoub, Jadson Moreira Pereira, Laurie-Eve Rioux, Sylvie L Turgeon, Martin Beaulieu, Véronique J Moulin	Université Laval	Int J Biol Macromol	2015	Dermatologie/Essai pré-clinique (modèle cell)
Bioassay-guided fractionation approach for determination of protein precursors of proteolytic bioactive metabolites from macroalgae.	Stéphanie Bondu, Claudie Bonnet, Julie Gaubert, Éric Deslandes, Sylvie L. Turgeon, Lucie Beaulieu	Université Laval			Antioxydant et antihypertenseur
Effect of season on the composition of bioactive polysaccharides from the brown seaweed *saccharina longicruris.*	Laurie-Eve Rioux, Sylvie L.Turgeon, Martin Beaulieu	Université Laval	Phytochemistry	2009	Composition chimique
Biosorption of metals in brown seaweed biomass.	M.M. Figueira, B. Volesky V.S.T., Ciminelli Felicity A. Roddick	Université McGill	Water Research	2000	Phycoremédiation
Fucoidan in a 3d scaffold interacts with vascular endothelial growth factor and promotes neovascularization in mice.	Agung Purnama, Rachida Aid-Launais, Oualid Haddad, Muriel Maire, Diego Mantovani, Didier Letourneur, Hanna Hlawaty, Catherine Le Visage	Université Laval	Drug Delivery and Translational Research	2013	Néovascularisation
Temporal variation in community interfaces: kelp-bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens.	P. Gagnon, J. H. Himmelman, L. E. Johnson	Université Laval	Marine Biology	2004	Broutage
Macroalgal canopies: distribution and diversity of associated invertebrates and effects on the recruitment and growth of mussels.	Chantale Bégin, Ladd E. Johnson, John H. Himmelman	Université Laval	MEPS	2004	Diversité des invertébrés marins et croissance des moules

Titre	Auteurs	Affiliation chercheur principal	Journal	Année	Application
Green urchin as a significant source of fecal particulate organic matter within nearshore benthic ecosystems.	Jean Mamelona, Émilien Pelletier	Université du Québec à Rimouski (ISMER)	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2004	Alimentation des oursins
Butyltins biomagnification from macroalgae to green sea urchin: a field assessment.	Jean Mamelona Émilien Pelletier	Université du Québec à Rimouski (ISMER)	Applied Organometallic Chemistry	2003	Écotoxicologie
Biosorption of heavy metals by red algae (palmaria palmata).	S.O. Prasher,M. Beaugeard,J. Hawari,P. Bera,R.M. Patel &S.H. Kim	Université McGill et CNRS	Environmental Technology	2010	Phycoremédiation
Evaluation of the in vitro biological activity of protein hydrolysates of the edible red alga, palmaria palmata (dulse) harvested from the gaspe coast and cultivated in tanks.	Lucie Beaulieu, Maude Sirois, Éric Tamigneaux	Université Laval	Applied Phycology	2016	Biostimulant (pour humains et agricutlture)
Bioremediation efficiency of palmaria palmata and ulva lactuca for use in a fully recirculated cold-seawater naturalistic exhibit: effect of high no3 and po4 concentrations and temperature on growth and nutrient uptake.	A. Tremblay-Gratton, J.-C. Boussin, É. Tamigneaux, G. W. Vandenberg, Nathalie R. Le François	Biodôme de Montréal et Université Laval	Journal of Applied Phycology	2017	Phycoremédiation
Insights into the regulation of algal proteins and bioactive peptides using proteomic and transcriptomic approaches.	Lucie Beaulieu	Université Laval	Molecules	2019	Molécules actives

ANNEXE D

PROJETS DE RECHERCHE EN LIEN AVEC LES MACROALGUES À L'ÉCHELLE DU QUÉBEC

Tableau 25. Liste des projets financés par le CRIBIQ

Titre :
Valorisation de coproduits de la transformation d'algues brunes comme prébiotiques

Chercheur principal :
Yvan Boutin, Transbiotech

Résumé :
Un intérêt croissant s'est manifesté au cours des dernières années pour les composés bioactifs présents dans les algues. InnoVactiv Inc. a mis récemment sur le marché un dérivé d'algues brunes, le InSea2. Ce produit nutraceutique, riche en polyphénols facilite le contrôle glycémique. La préparation de cet extrait d'algues génère un coproduit qui aurait avantage à être valorisé, notamment dans le domaine nutraceutique. Ce coproduit est riche entre autres en polysaccharides, dont les alginates. Certains polysaccharides d'origine algale sont connus également pour être une source potentielle de prébiotiques. Ces derniers sont généralement des oligosaccharides ou polysaccharides à courtes chaînes qui agissent comme substrat sélectif pour certaines souches bactériennes bénéfiques qui résident dans le côlon afin de stimuler leur croissance et métabolisme.
L'objectif principal de ce projet est de produire, par hydrolyse enzymatique, des oligosaccharides à partir du coproduit issu de la préparation de l'InSea2. Une méthode d'hydrolyse enzymatique sera mise au point par l'équipe de Merinov. Les hydrolysats ainsi générés seront évalués pour leur potentiel prébiotique par l'équipe de TransBIOTech. Les hydrolysats démontrant un effet positif sur la croissance et le métabolisme fermenteur de souches bactériennes bénéfiques, sans favoriser le développement de bactéries « nuisibles », seront sélectionnés pour une démonstration de leur effets biologiques dans des modèles animaux. Une production à l'échelle pilote chez Merinov permettra de valider le processus d'hydrolyse et de produire des quantités suffisantes de matériel pour les essais d'efficacité.
L'hydrolysat le plus prometteur sera ajouté à l'alimentation de poulets et de porcs afin de vérifier l'effet de la consommation de ce supplément sur les performances zootechniques comme le gain de poids, la consommation de nourriture ou la composition corporelle. Ces essais seront effectués aux installations de Jefo Inc. Une autre étude d'efficacité se déroulera en parallèle à celle effectuée chez les animaux d'élevage. Celle-ci aura pour objectif de démontrer l'effet d'hydrolysats administrés seuls ou en combinaison avec des probiotiques de BioK +, sur les paramètres du désordre métabolique. Le modèle de hamster démontrant de l'hyperlipidémie et de l'hyperglycémie suite à une consommation d'une diète riche en calories sera utilisé pour cette preuve de concept. Ces travaux seront effectués par l'équipe de TransBIOTech en collaboration avec Bio K+.
Le succès du projet permettra la valorisation d'un coproduit issu de la transformation d'algues brune et de développer une collaboration entre le producteur et des entreprises de nutrition animale et de santé humaine. Les produits obtenus viseront des marchés à très haute valeur ajoutée.

Programme :
PSO-Bioalimentaire

Titre :
Culture intensive d'algues à haute valeur calorifique et valorisation de la biomasse à des fins industrielles

Chercheur principal :
Simon Barnabé, Université du Québec à trois Rivières

Résumé :
Ce projet de R-D vise à produire une source de bioénergie à partir de biomasse algale comme alternative durable aux carburants fossiles et à intégrer le procédé dans une industrie. Typiquement, les effluents aqueux, les résidus et la chaleur perdue de l'industrie en question, sont autant d'éléments permettant de rendre rentable un projet de production sur place de biomasse algale à des fins énergétiques. Par ailleurs, la valorisation de la biomasse algale en bioénergie (biogaz ou autre) est un moyen de rendre cette industrie autonome vis-à-vis des combustibles fossiles (taxe CO2, rareté et cherté anticipées). Ce projet permettra d'utiliser puis de développer des compétences de pointes au Canada sur les bioénergies à base de biomasse algale. C'est un moyen de placer l'industrie canadienne des biotechnologies dans une position avantageuse face aux concurrents mondiaux. Les trois années du projet permettront de valider les hypothèses techniques, de bilan de masses, et économiques, avant d'envisager une preuve de concept à grande échelle au sein de l'industrie ciblée. Le programme de recherche proposé permettra de développer éventuellement un procédé viable économiquement de culture en masse d'algues, intégré à l'industrie ciblée, qui mènera à l'obtention d'un biocarburant remplaçant les combustibles fossiles consommés par cette même aluminerie, tout en valorisant ses rejets. Ce programme fait appel à une collaboration université-collège ainsi que des chercheurs industriels pour relever les défis de la production de masse de microalgues, de leur récolte efficace, et de la valorisation subséquente de la biomasse récoltée en énergie, biogaz, biodiésel et autres produits à valeur ajoutée qui sont utilisables sur place. Ce programme bénéficiera spécialement des connaissances et des technologies papetières pour trouver des solutions technologiques et économiques aux défis connus de la récolte et la déshydratation de la biomasse algale.

Programme :
PSO-Bioproduits industriels

Titre :
Development of a new bio-economy in the quebec lower north shore : novel coproducts from seaweed (Plan Basse Côte-Nord – volet 2)

Chercheur principal :
Simon Barnabé, Université du Québec à trois Rivières

Résumé :
Les municipalités, intervenants économiques, entreprises et associations de la région de la Basse Côte-Nord se réunissent pour trouver des solutions durables à la relance de leur économie. Plusieurs initiatives ont mené à la création de la Coopérative de solidarité des bioproduits de la Basse Côte-Nord et à la construction d'une usine de transformation de petits fruits. Désireuse de diversifier les produits issus de la biomasse locale et pénétrer les nombreux marchés de la bio-économie émergente, la Coop et l'UQTR ont à leur tour réuni plusieurs joueurs pour développer de nouveaux bioingrédients biosourcés et couvrir l'ensemble de la chaîne de valeur. Des extraits d'algues brunes marines pour les marchés des cosmétiques et des composés promoteurs de croissance microbienne et algale sont ciblés. Le projet compte aussi contribuer au développement et aux applications d'une technologie d'extraction assistée aux micro-ondes.

Programme :
PSO-Bioproduits industriels

Titre: Création d’une symbiose moléculaire commercialisable à partir d’extraits d’algues marines. **Entreprise :** Silicycle **Résumé :** **Programme:** BTM-Propulsion phase I
Titre: Amélioration d'un procédé d'hydrolyse pour l'enrichissement d'un fertilisant à base d'algues marines. **Entreprise :** Pro-Algue marine **Résumé :** Pro-Algue Marine inc. est une entreprise québécoise qui s'intéresse à la transformation des algues marines pour la production d'engrais biologique (liquides et solides) pour les secteurs de l'agriculture et de l'horticulture. Des utilisateurs (Jiffy Group Inc.,) et de potentiels acheteurs (Les Tourbières Berger ltée) de notre fertilisant se montrent souvent réticents à l'exploitation de notre formulation à base d'algue liquide pour des problèmes de qualité liés sa concentration en principe actif (composition biochimique et minérale) et sa rhéologie (viscosité). Ce projet est initié dans le but d'apporter une amélioration à notre procédé d'hydrolyse des algues marines (Ascophillum nodosum, fucus et laminaires) dans le but d'obtenir un extrait qui satisfasse les attentes du marché. Il s'agit à travers ce projet de (1) rendre les extraits plus riches en substances organiques (polysaccharides) et minérales (azote, potassium et phosphate), (2) d'évaluer des voies pour l'amélioration des performances biostimulantes de l'extrait par l'ajout microorganismes (3) d'améliorer les propriétés physiques de l'extrait comme le demande les clients (viscosité et taux matière sèche) (4) de démontrer les performances des nouvelles formulations par des tests en situation réelle chez les clients (5) de faire la mise à l'échelle industrielle d'un nouveau procédé de fabrication. Le volet scientifique du projet sera supervisé par les chercheurs du Centre de transfert collégial Merinov. **Programme:** BTM-Propulsion phase I
Titre: Développement de préservatifs alimentaires antimicrobiens à partir de biomasse algale. **Entreprise :** innoVactiv **Résumé :** **Programme:** BTM-Propulsion phase I

Tableau 28. Liste des projets financés par le FRQNT

Titre :
La biodiversité marine côtière est sous pression. Des écosystèmes fragiles souffrent de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques.

Chercheur principal :
Mathieu Cusson, Université du Québec à Rimouski

Résumé :
Selon Mathieu Cusson, chercheur au Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi, le réchauffement des températures affectera la dynamique du couvert de glace. Plus mince à bien des endroits, il risque de moins isoler les espèces aquatiques du froid. De plus, les morceaux de glace en dérive raclent les macroalgues, ces grandes algues qui fournissent nourriture et structure à l'écosystème, réduisent l'action des vagues, atténuent l'effet étouffant du soleil à marée basse, et captent le carbone atmosphérique. Que se passera-t-il si leur abondance diminue?
Le biologiste a effectué un peu de jardinage sur les côtes de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, près de Rimouski, pour simuler un raclage sévère de ces algues importantes. Mais une perturbation arrive rarement seule, s'est-il dit. Dans une partie de son laboratoire naturel, le chercheur a ainsi retiré plusieurs espèces de mollusques friands de macroalgues. Et question de pousser le réalisme plus loin, il a ajouté des nutriments pour imiter une détérioration de l'eau liée à la pollution.
Résultat : deux ans après le « jardinage », les milieux ont bien récupéré, mais la biodiversité tarde à retrouver son état d'origine. Selon Mathieu Cusson, c'est l'effet additif des perturbations qui retarde la capacité de retour à la normale. Ce phénomène rarement observé deviendra un outil important pour mieux comprendre et gérer les bouleversements environnementaux.

Titre :
Caractérisation des protéines et bioaccessibilité des peptides bioactifs issus de macroalgues marines nordiques récoltées en milieu naturel et cultivées.

Chercheur principal :
Lucie Beaulieu, Université Laval

Résumé :
Les extraits naturels et les bioressources, comme source de composés bioactifs et alimentaires, suscitent un vif intérêt auprès de la communauté scientifique ainsi qu'un nouvel engouement de l'industrie et des consommateurs. Les macroalgues marines présentent des métabolites structurellement uniques et biologiquement actifs, réponse adaptative à leur environnement naturel. Parmi les composés naturels, les protéines et les peptides présentent un intérêt commercial pour le secteur bioalimentaire, à cause de leur haute valeur nutritionnelle, de leurs excellentes propriétés fonctionnelles et de leur fort potentiel d'activités biologiques. Dans ce contexte, notre recherche vise la caractérisation des protéines et peptides bioactifs contenus dans les macroalgues récoltées dans les herbiers marins et cultivées sur des fermes marines ainsi que l'étude de leur bioaccessibilité pendant la digestion gastro-intestinale. Les résultats permettront une meilleure compréhension de leur activité biologique et de leur cible santé gastro-intestinale en vue de fournir des connaissances scientifiques rigoureuses à l'industrie pour l'intégration de ces molécules dans des aliments-santé ou comme bio-ingrédients.
Dans le cadre de ce projet, nos travaux comporteront plusieurs objectifs : 1) Étude de l'effet des saisons et des sites de récolte sur le contenu et le profil protéiques des macroalgues récoltées en milieu naturel et cultivées, 2) Mise en évidence des peptides bioactifs à partir des échantillons sélectionnés, selon leur profil protéique et la teneur en protéines obtenues, 3) Étude de la bioaccessibilité des protéines et peptides issus des macroalgues sous forme de paillettes et d'extraits (protéines solubles et coproduits) et suivi de leur bioactivité in vitro.

Titre :
Optimisation des méthodes de culture de l'algue rouge Palmaria palmata en bassin et en mer.

Chercheur principal :
Eric Tamigneaux, Cégep de la Gaspésie et des Îles

Résumé :
L'algue rouge Palmaria palmata ou Dulse, possède un potentiel commercial élevé. Pour le moment, le marché est alimenté par la cueillette, mais les zones de récolte ont atteint leur niveau maximum d'exploitation. La culture de la Dulse n'est pas encore maîtrisée et fait l'objet de nombreux efforts de recherche.
Étant donné la forte demande et le prix élevé qu'elle atteint sur le marché alimentaire, une écloserie marine privée a demandé au Cégep de la Gaspésie et des Îles de développer un protocole pour la culture de cette espèce. Par conséquent, le principal objectif de ce projet consistera à progresser dans la maîtrise des méthodes de culture de P. palmata en concentrant notre attention sur les principaux verrous technologiques et en utilisant une approche méthodologique compatible avec les contraintes de l'industrie.
Deux stratégies de culture seront explorées, soient la culture végétative des frondes en bassins et la culture sur corde, en mer. La période de fertilité naturelle des sporophytes au Québec devra être déterminée et des méthodes de conditionnement artificiel seront développées. Les différents paramètres de la culture en écloserie seront optimisés et deux sites de culture en mer différents seront testés en Gaspésie. Finalement, des tests organoleptiques seront réalisés par un jury d'évaluation sensorielle pour évaluer la qualité alimentaire des frondes cultivées.
Ce projet sera réalisé par des enseignants, des techniciens et des étudiants du Cégep GIM. Outre les retombées sur la formation collégiale, il permettra la production d'un manuel de culture et un transfert de savoir-faire à l'industrie. Ce projet devrait permettre d'élargir le portefeuille d'espèces de macroalgues dont la culture est maîtrisée au Québec.

Titre :
Amélioration des rendements de culture de la laminaire Saccharina longicruris : caractérisation génétique des algues provenant de 4 régions côtières du Québec, mise en élevage des meilleurs croisements et ajustement de la densité d'élevage

Chercheur principal :
Marie-Hélène Fournier, Cégep de la Gaspésie et des Îles

Résumé :
Depuis 2004, Halieutec appuie le développement de la culture et de la transformation des laminaires. Le programme de travail que nous proposons vise à améliorer les rendements de culture de la laminaire à long stipe (Saccharina longicruris) en utilisant plusieurs approches complémentaires.
Tout d'abord, les variations génétiques de quatre populations de S. longicruris seront examinées pour vérifier s'il s'agit de souches distinctes. Ensuite, à partir des cultures de gamétophytes mâles et femelles issus des populations étudiées, il sera possible de réaliser des croisements et de sélectionner les cultivars possédant les caractéristiques optimales pour la culture. La seconde année, les sporophytes issus des croisements les plus performants seront cultivés pendant huit mois en mer, l'objectif étant de comparer les rendements de récolte et les caractéristiques biochimiques de ces différents cultivars. Lors de la troisième année, des travaux seront réalisés pour ajuster la densité des plants sur les cordes de culture en vue d'optimiser les rendements à la récolte. Il est prévu de tester différentes densités d'ensemencement des cordes de culture et de vérifier l'effet de la densité à la fois sur le taux de fertilisation des gamètes, la vitesse de croissance relative des plants et la biomasse finale à la récolte.
L'implication d'un enseignant collégial de l'ÉPAQ dans ces activités de recherche appliquée représente un atout important pour la formation dispensée aux étudiants. De plus, l'algoculture représente un nouvel axe de recherche dans lequel le Cégep de la Gaspésie et des Iles se positionne comme instigateur.

Titre :
Fonctionnalité de polysaccharides d'origine marine comme adjuvants vétérinaires.

Chercheur principal :
Yvan Boutin, Cégep de Lévis-Lauzon

Résumé :
Le contrôle des épidémies dans les élevages d'animaux domestiques (épizooties) est une préoccupation constante des producteurs et des gouvernements provinciaux et fédéral. Le Québec n'y échappe pas. On assiste régulièrement à des épidémies dans les élevages bovins, porcins et de volailles, entraînant de lourdes pertes, sans compter que certaines de ces infections peuvent être problématiques pour l'humain. Parmi les mesures mises de l'avant pour favoriser un contrôle des épizooties, la vaccination demeure une approche de choix. Dans bien des cas, bien qu'un vaccin soit disponible pour prévenir une infection, il s'avère peu efficace. L'une des façons d'augmenter son efficacité est d'utiliser un adjuvant approprié. Ce dernier, lorsque coadministré avec le vaccin, favorise la réponse immunitaire contre l'agent infectieux. Bien que des efforts considérables ont été mis au cours des dernières années pour développer des adjuvants, peu sont encore disponibles pour usage vétérinaire. De nouvelles stratégies émergent afin de proposer d'autres approches qui pourraient être gagnantes. Parmi celles-ci, l'utilisation de polysaccharides d'origine végétale comme adjuvants offre une perspective intéressante pour le développement de nouveaux adjuvants.
Les algues regorgent de polysaccharides qui leur sont propres et plusieurs bioactivités, dont immunomodulatrice, leur sont associées. Ce projet propose d'évaluer le potentiel adjuvant de polysaccharides isolés de diverses espèces d'algues brunes que l'on rencontre dans le golfe du Saint-Laurent. S'il s'avère que l'un ou plusieurs de ces polysaccharides possèdent une telle bioactivité, cela pourrait représenter un débouché intéressant afin de valoriser cette biomasse largement disponible. Le projet est divisé en trois étapes. Tout d'abord, différentes préparations de polysaccharides divers seront dépistées pour leur potentiel immunomodulateur en utilisant un essai in vitro. Les préparations démontrant les meilleures activités seront par la suite évaluées pour leur capacité à activer et favoriser la maturation des cellules dendritiques. Ces dernières sont des actrices primordiales de la réponse immune. Une activation adéquate de ces cellules favorisera la réponse immune contre un vaccin coadministré avec l'adjuvant. L'activité adjuvant d'une de ces préparations sera évaluée par la suite chez la souris en mesurant la réponse spécifique contre un antigène. Tout d'abord, l'ovalbumine de poulet sera choisie comme antigène. Cette molécule est une référence dans ce genre d'étude. Finalement, comme le projet vise la vaccination vétérinaire, l'efficacité de l'adjuvant sélectionné sera aussi évaluée dans un modèle semblable, mais en utilisant l'antigène principal du virus de la diarrhée épidémique du porc. Aux termes du projet, il est espéré d'avoir identifié au moins une préparation de polysaccharides d'algues brunes démontrant la bioactivité recherchée. Ces travaux pourront ouvrir la voie à des collaborations futures avec d'autres institutions de recherche afin de démontrer l'efficacité de ce nouvel adjuvant dans des modèles d'animaux d'élevage.

Titre :
Nanocapteur pour mesures de carbone organique dissous de faible poids moléculaire en conditions océanographiques.

Chercheur principal :
Jean-François Masson, Université de Montréal

Résumé :
Les océans couvrent une vaste partie de notre planète et contribuent significativement à l'équilibre de la vie sur Terre. Les océans restent cependant peu cartographiés et leurs écosystèmes sont relativement peu étudiés bien que ceux-ci soient fortement influencés par les facteurs environnementaux, dont les changements climatiques. Les techniques analytiques contemporaines ne permettent que la mesure de paramètres physiques tels la température, la salinité, le taux d'oxygénation et le pH. Notre compréhension des équilibres chimiques en milieu océanographique demeure donc très limitée. En particulier, une classe de molécules, les carbones organiques dissous de faibles poids moléculaires (COD-FPM), est essentielle à l'activité biologique d'une multitude d'espèces marines.
Malheureusement, il n'existe pas de méthode analytique pour identifier et mesurer la concentration de cette classe d'espèces chimiques dans l'océan. Pour répondre à ce besoin, nous développerons une nouvelle technique analytique pour mesurer ces espèces chimiques dans des conditions océanographiques. Notre équipe multidisciplinaire développera la technique reposant sur la spectroscopie Raman exaltée, reconnue pour sa sensibilité et sa sélectivité, pour effectuer les mesures directement dans des conditions océanographiques que nous recréerons en laboratoire pour étudier la dynamique des COD-FPM dans des cultures d'algues arctiques. Ce modèle biologique est de haute importance due au rôle central des algues dans l'écosystème arctique, à la nécessité grandissante d'une meilleure compréhension de l'écosystème de l'océan arctique et, finalement, de l'importance de mieux définir l'impact de cet écosystème dans le contexte des changements climatiques.

Tableau 29. Liste des projets financés par le MAPAQ

Titre :
Développement d'un fromage fonctionnel renfermant des peptides bioactifs de macroalgues

Chercheur principal :
Lucie Beaulieu, Université Laval

Résumé :
Le Québec produit un peu plus de la moitié du fromage canadien, ce qui représente environ 220 000 tonnes de fromage par année. Le fromage est une excellente source de protéines, de calcium, de phosphore et de vitamine B12 et plusieurs bienfaits santé lui sont associés. Cependant, quelques problématiques associées aux fromages demeurent actuelles, incluant la teneur en gras et en sodium élevée de certaines variétés, mais également des problèmes de conservation puisque 5-15 % des lots de fromage de spécialité souffrent de contamination fongique. Ainsi, des recherches sont nécessaires afin d'optimiser et d'améliorer les qualités nutritionnelles et la salubrité de cet aliment pour ainsi procurer un impact positif sur la santé des consommateurs. D'autre part, les algues ont le potentiel de corriger certaines de ces problématiques. Entre autres, les algues, ou leurs extraits, pourraient remplacer, en tout ou en partie, le sel ajouté lors de la transformation fromagère et/ou conférer une protection antifongique. Aussi, en plus des fonctions nutritionnelles de base attribuées aux algues, des effets physiologiques ont été démontrés (antioxydants; réducteurs de la pression artérielle), associés à divers composés, dont notamment les protéines et les peptides. De plus, leur potentiel antimicrobien a tout dernièrement été mis en évidence, ce qui suppose que leur incorporation à la matrice fromagère contribuerait à l'amélioration de la salubrité de cet aliment.
Les objectifs visent à développer un fromage fonctionnel renfermant des peptides bioactifs de macroalgues. Ils incluent : [1] Évaluer les propriétés bioactives in vitro (antioxydantes, inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE), antifongiques) des peptides de macroalgues à l'intérieur de caillés modèles. [2] Étudier l'impact des macroalgues sur la microflore fromagère et en contexte de réduction de sodium, en modèle et en production fromagère.
Compte tenu du potentiel d'applications des macroalgues marines, notre hypothèse générale est que l'ajout d'algues, ou de leurs extraits, au fromage permettra d'améliorer leur salubrité et leur qualité nutritionnelle. L'identification d'extrait de macroalgues ayant un effet positif sur la santé des consommateurs sera aussi privilégiée. Afin de répondre à cette hypothèse, les deux objectifs principaux mentionnés seront menés comme suit : Objectif 1) Il sera confirmé si les activités biologiques des peptides détectées sont conservées à l'intérieur de caillés modèles. (Obj.1.1) La mise en évidence des activités biologiques des extraits peptidiques d'algues sera réalisée in vitro (antioxydantes, inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE)). (Obj. 1.2) L'évaluation des activités antioxydantes et d'inhibition de l'ACE des extraits peptidiques d'algues sera effectuée en milieu modèle fromager. Objectif 2) Il sera vérifié si l'ajout de macroalgues, ou d'extraits, a des conséquences sur la microflore indésirable (moisissures contaminantes), mais également sur la microflore désirable (ferment et flore d'affinage). (Obj. 2.1) L'évaluation du potentiel antifongique des algues et des extraits sera vérifiée en milieu modèle fromager. (Obj. 2.2) L'effet sur les ferments et les flores d'affinage sera déterminé en condition de réduction du sodium en milieu modèle. (Obj. 2.3) Les effets observés seront validés en production fromagère.

Titre :
Étude de la composition totale et en composés à potentiel d'activité biologiques de deux algues brunes du Québec: Ascophyllum nodosum et Fucus vesiculosus.

Chercheur principal :
Sylvie L. Turgeon, Université Laval

Résumé :
Cette étude a permis de caractériser la composition en protéines, lipides, sucres totaux, cendres, fucanes et composés phénoliques de deux algues et leur variation en fonction de la période de récolte. Les protéines et les cendres diminuent graduellement du printemps à l'automne alors que les sucres totaux ont tendance à augmenter pendant la même période.
La meilleure période pour obtenir des quantités plus importantes de fucoïdan est le printemps alors que l'automne permet d'avoir plus de composés phénoliques. Le fucoïdan n'a pas démontré d'effet anti-inflammatoire important et les activités hypoglycémiques représentent un potentiel intéressant et seront investiguées sous peu. L'objectif de la recherche était l'extraction et la caractérisation de molécules biologiquement actives présentes dans les macroalgues brunes abondantes au Québec, notamment les espèces Ascophyllum nodosum et Fucus vesiculosis. À cette fin, les objectifs spécifiques suivants étaient proposés :
• Caractériser la composition globale des algues en fonction de la période de l'année;
• Établir les conditions d'extraction et de purification des molécules d'intérêt;
• Analyse structurale des composés actifs;
• Évaluation de l'activité biologique par des biotests.
Des algues ont été récoltées pendant trois ans. Vu la grande quantité d'échantillons à analyser, l'analyse structurale s'est limitée au contenu en acides uroniques et en sulfates des fucanes et à l'analyse du pouvoir antioxydant global.

ANNEXE E

PROJETS DE RECHERCHE EN LIEN AVEC LES MACROALGUES

FINANCÉS PAR LE CRSNG À L'ÉCHELLE CANADIENNE

Chercheur principal	Affiliation du chercheur principal	Province	Titre	Montant total
Jonathan Gagnon	Université du Québec à Rimouski	Québec	Valorisation de macroalgues marines	25 000 $
Eric Tamigneaux	Cégep de la Gaspésie et des Îles	Québec	Chaire de recherche industrielle dans les collèges du CRSNG en valorisation des macroalgues marines	911 000 $
Françoise Leblanc-Perreault	Cégep de la Gaspésie et des Îles	Québec	Développement d'un extrait biologique de phytohormones de macroalgues	24,7 000 $
David Garbary	L'Université Saint-Francis-Xavier	Nouvelle-Écosse	Cell walls and symbioses of the economically important brown seaweed Ascophyllum nodosum	24 000 $
Thierry Chopin	Université du Nouveau-Brunswick	Nouveau-Brunswick	Developing the seaweed and plant components of integrated multi-trophic aquaculture and aquaponics and their applications within a biorefinery approach	140 000 $
Collins Kamunde	Université de l'Île-du-Prince-Édouard	Île-du-Prince-Édouard	Seaweed meal as a high value nutrient supplement in aquafeeds	25 000 $
Ken Oakes	Université du Cap Breton	Nouvelle-Écosse	Fermentative manipulations of cell wall polysaccharides to enhance seaweed extract by-product value	25 000 $
Karen Samis	Université de l'Île-du-Prince-Édouard	Île-du-Prince-Édouard	Analysis of cold-pressed seaweed and seagrass extract for plant growth promoting capabilities	25 000 $
Balakrishnan Prithiviraj	Université Dalhousie	Nouvelle-Écosse	Indexing and enhancing bioactivities of seaweed and seaweed products for use in agriculture	80 990 $
Pramod Kumar Rathor	Université Dalhousie	Nouvelle-Écosse	Understanding the Stress Response Genes in Brown Seaweed using Functional	45 000$

Chercheur principal	Affiliation du chercheur principal	Province	Titre	Montant total
David Coates	Maple Leaf Foods Inc		Investigating the use of seaweed flour and potato fibre in ham made with natural ingredients	4 500 $
Ladd Erik Johnson	Université Laval	Québec	Ecological subsidies and ecosystem function: the role of dislodged seaweeds in the energy flow between coastal habitats	140 000 $
Wayne St-Amour	Nova Scotia Community College	Nouvelle-Écosse	Quantification of Harvestable Seaweed using a Topographic-bathymetric Lidar System	225 000 $
Leluo Guan	Université de Alberta	Alberta	Effect of TASCO, a seaweed extract on rumen functions of ruminants	25 000 $
Leluo Guan	Université de Alberta	Alberta	Effect of TASCO, a seaweed extract on rumen functions of ruminants: microbial diversity and activities in sheep	70 000 $
Ahmed Zein	OCEANS Ltd		Bio-assay guided fractionation of selected newfoundland and labrador seaweeds to standardize bioactivity in natural health product	60 000 $
Peter Sykes	Aquaculture Association of Nova Scotia	Nouvelle-Écosse	Farming the forest of the sea - seaweed cultivation workhop	3 140 $

RÉALISÉ PAR

SIÈGE SOCIAL
Édifice Le Delta 1
2875 boul. Laurier, bureau 1320
Québec (Québec) G1V 2M2
T (418) 914-1608
cribiq@cribiq.qc.ca

PARTENAIRES

Centre de recherche sur les biotechnologies marines
Créneau Accord Ressources, Sciences et Technologies marines
Université du Québec à Rimouski - Gestion des ressources maritimes

PARTENAIRE FINANCIER :